



PROYECTO FIPA N° 2024-27:

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIAS DE MANEJO UTILIZANDO PLATAFORMA OPENMSE, EN LA PESQUERÍA DE JUREL

Informe Final

Requirente : Subsecretaría de Pesca y Acuicultura
Mandante : Fondo de Investigación Pesquera y de Acuicultura
Ejecutor : Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Jefe de proyecto : Cristian Canales Ramírez

Agosto, 2026



INFORMACION DEL PROYECTO

Requirente	:	Subsecretaría de Pesca y Acuicultura
Mandante	:	Fondo de Investigación Pesquera y de Acuicultura
Supervisión	:	Consejo de Investigación Pesquera y de Acuicultura
Ejecutor	:	Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Jefe(a) de proyecto	:	Cristian Canales Ramírez
Autores	:	Cristian Canales Ramírez Ignacio Payá Contreras José Zenteno Loredó Fernando Espíndola Rebolledo Nazareth Sánchez Espinoza Juan Carlos Quiroz Espinosa
Colaboradores	:	Roberto Licandeo Robyn Forrest Carl Walters Jorge Quezada Olivares Jesús Curiel Pérez

Citar como: Canales, C., Payá, I., Zenteno, J., Espíndola, F., Sánchez, N., Quiroz, J., Licandeo, R., Forrest, R., Walters, C., Quezada, J., Curiel, J. 2026. Diseño e implementación de estrategias de manejo utilizando plataforma openMSE, en la pesquería de jurel. Informe final FIPA 2024-27. 242 pp.

Resumen Ejecutivo

El presente estudio integró componentes participativos, metodológicos y computacionales para el diseño, evaluación y optimización de procedimientos de manejo en la pesquería del jurel, combinando el conocimiento experto de los usuarios con herramientas avanzadas de simulación bajo el marco de Evaluación de Estrategias de Manejo (MSE) en la plataforma OpenMSE.

Sobre la base de las instancias participativas desarrolladas con el Comité de Manejo, las encuestas en línea dirigidas a otros actores relevantes de la pesquería y el juicio experto del equipo de trabajo, se definieron 12 indicadores de desempeño orientados principalmente a evaluar la sostenibilidad del recurso y el desempeño de la pesquería. Asimismo, se evaluaron 10 MP que consideraron distintas combinaciones de estabilizadores de captura, capturas objetivo, mecanismos de Banking & Borrowing y reglas de control de captura. Estos procedimientos fueron evaluados bajo tres modelos operativos que representaron distintos niveles de productividad del recurso.

La implementación de la plataforma OpenMSE permitió el desarrollo de MO que integraron múltiples flotas y fuentes de información, facilitando la evaluación sistemática del desempeño de distintas RCC. La utilización del enfoque MSE abreviado (shortcut) permitió realizar evaluaciones eficientes en términos computacionales, manteniendo niveles adecuados de representación del error y sesgo, y constituyendo una alternativa válida frente a la complejidad y costo computacional de los enfoques full MSE. Este enfoque simplificado permitió explorar un mayor número de combinaciones de MO y procedimientos de manejo, mejorando la cobertura analítica del estudio.

Con el objetivo de mejorar la eficiencia y estabilidad de los procesos de estimación, se desarrolló un modelo alternativo simplificado (*JJM_simple*), el cual logró reproducir adecuadamente la dinámica histórica del stock, reduciendo significativamente los tiempos de cómputo y mejorando la convergencia respecto del modelo original. La incorporación de este modelo en esquemas full MSE permitió capturar de manera explícita distintas fuentes de incertidumbre, incluyendo errores de observación, variabilidad del reclutamiento y desviaciones en la implementación de las capturas.

La identificación de los procedimientos de manejo (MP) con mejor desempeño se realizó mediante la aplicación complementaria de distintos métodos de evaluación, incluyendo comparaciones gráficas, análisis de indicadores en escala original y relativa, integración de métricas de desempeño y análisis de compensaciones entre objetivos de manejo. Los resultados obtenidos evidencian que el desempeño de los procedimientos de manejo difiere significativamente en función del balance entre objetivos de conservación, rendimiento pesquero

y estabilidad de las capturas. No obstante, el procedimiento MP4 (regla de control tipo rampa, captura mínima de 270 mil t y CBA máxima de referencia de 1,5 millones de t) emerge como la alternativa más equilibrada, al presentar simultáneamente altos niveles de protección biológica y estabilidad pesquera, con resultados productivos adecuados. Por otro lado, procedimientos más conservadores, como MP8, mostraron un alto desempeño biológico y buenas capturas de largo plazo, mientras que reglas más intensivas, como MP7, incrementaron el riesgo de deterioro del recurso pese a generar mayores capturas en el corto plazo.

Adicionalmente, la evaluación de RCC empíricas basadas en indicadores acústicos mostró que incorporar límites superiores de captura mejora significativamente el desempeño global de las estrategias. En contraste, aquellas RCC que incrementan las capturas proporcionalmente a la biomasa sin restricciones presentaron efectos adversos sobre la biomasa desovante en el corto plazo, evidenciando la importancia de incorporar salvaguardas biológicas en el diseño de MP.

Finalmente, la aplicación de métodos de optimización estocástica en el espacio de decisiones permitió identificar configuraciones específicas de parámetros que satisfacen simultáneamente múltiples criterios de precaución. Los resultados indicaron que solo un subconjunto reducido de combinaciones cumple con las restricciones biológicas establecidas, destacando la importancia de procesos sistemáticos de optimización para el diseño de reglas robustas y seguras.

En conjunto, los resultados obtenidos demuestran que la integración de enfoques participativos, modelamiento cuantitativo avanzado y análisis sistemático de incertidumbre constituye una estrategia efectiva para el desarrollo de procedimientos robustos y adaptativos. Asimismo, se destaca la importancia de continuar avanzando en la incorporación de nuevos escenarios de incertidumbre y modelos alternativos, con el fin de fortalecer la base científica que sustenta las decisiones de manejo en la pesquería del jurel y contribuir a su sostenibilidad a largo plazo.

Executive Summary

This study integrated participatory, methodological, and computational components for the design, evaluation, and optimization of management procedures for the jack mackerel fishery, combining stakeholder knowledge with advanced simulation tools under the Management Strategy Evaluation (MSE) framework implemented in OpenMSE.

Based on participatory workshops conducted with the Management Committee (MC), online surveys directed at other relevant fishery stakeholders, and the expert judgment of the project team, 12 performance indicators were defined, primarily aimed at evaluating stock sustainability and fishery performance. In addition, 10 management procedures (MPs) were evaluated, considering different combinations of catch stabilizers, target catches, Banking & Borrowing mechanisms, and harvest control rules (HCRs). These procedures were tested under three operating models representing different levels of stock productivity.

The implementation of the OpenMSE platform enabled the development of operating models that integrated multiple fleets and data sources, facilitating the systematic evaluation of alternative HCRs. The use of the shortcut MSE approach provided a computationally efficient framework while maintaining an adequate representation of uncertainty and estimation bias, constituting a practical alternative to the complexity and computational demands of full MSE approaches. This simplified framework enabled the exploration of a broader range of operating model and management procedure combinations, improving the analytical coverage of the study.

To improve the efficiency and stability of the estimation process, an alternative simplified assessment model (JJM_simple) was developed. This model successfully reproduced the historical dynamics of the stock while substantially reducing computational time and improving convergence relative to the original model. Its incorporation into full MSE frameworks allowed the explicit representation of multiple sources of uncertainty, including observation error, recruitment variability, and implementation error in catch limits.

The identification of the best-performing management procedures was based on a complementary set of evaluation methods, including graphical comparisons, analyses of performance indicators on both absolute and relative scales, integrated performance metrics, and trade-off analyses among management objectives. The results demonstrated that management procedure performance differed substantially depending on the balance among conservation objectives, fishery yield, and catch stability. Nevertheless, MP4 (ramp-type harvest control rule, minimum catch of 270 thousand tonnes, and a maximum target CBA of 1.5 million tonnes) emerged as the most balanced alternative, simultaneously achieving high levels of biological protection, fishery stability, and satisfactory production outcomes. In contrast, more

conservative procedures such as MP8 exhibited strong biological performance and favorable long-term catches, whereas more intensive strategies such as MP7 increased the risk of stock deterioration despite generating higher catches in the short term.

Furthermore, the evaluation of empirical HCRs based on acoustic survey indicators showed that incorporating upper catch limits significantly improved overall strategy performance. In contrast, HCRs that increased catches proportionally to biomass without constraints produced adverse effects on spawning biomass in the short term, highlighting the importance of incorporating biological safeguards into management procedure design.

Finally, the application of stochastic optimization methods in decision space enabled the identification of specific parameter configurations capable of simultaneously satisfying multiple precautionary criteria. The results indicated that only a limited subset of parameter combinations met the established biological constraints, emphasizing the importance of systematic optimization processes for the development of robust and precautionary management rules.

Overall, the results demonstrate that the integration of participatory approaches, advanced quantitative modeling, and systematic uncertainty analysis constitutes an effective strategy for the development of robust and adaptive management procedures. The study also highlights the importance of continuing to incorporate additional uncertainty scenarios and alternative models in order to strengthen the scientific basis supporting management decisions in the jack mackerel fishery and contributing to its long-term sustainability.

Índice General

1.	Objetivo General	15
2.	Objetivos Específicos	15
3.	Introducción	16
4.	Antecedentes.....	17
4.1.	Distribución y hábitat.....	17
4.2.	Aspectos biológicos	19
4.3.	Pesquería.....	19
4.4.	Estado de explotación.....	20
4.5.	Modelo de evaluación e indicadores de manejo.....	22
4.6.	Regla de Control de Captura (RCC).....	23
5.	Metodología	25
5.1.	Marco metodológico	25
5.2.	Objetivo específico 1	26
5.2.1.	Objetivos operacionales y variables de desempeño.....	26
5.2.2.	Procedimientos de Manejo	29
5.2.3.	Identificación de fuentes de incertidumbre.....	31
5.3.	Objetivo específico 2.	32
5.4.	Objetivo específico 3.	34
5.4.1.	Fuentes de incertidumbre consideradas.....	34
5.4.2.	Modelos operativos (MO) implementados	36
5.4.3.	Condicionamiento de los modelos operativos	41
5.4.4.	Modelo de condicionamiento rápido (RCM)	44
5.4.5.	Taller técnico para la implementación de OpenMSE.....	49
5.5.	Objetivo específico 4.	50
5.5.1.	Procedimientos de Manejo (MP) modelo basado	50
5.5.2.	Procedimientos de Manejo (MP) empíricos.....	53
5.5.3.	Evaluación de Estrategias de Manejo mediante ciclo simulación estimación (full MSE)....	55
5.5.4.	RCC mediante optimización estocástica en el espacio de las decisiones (SOPS)	62
5.6.	Objetivo específico 5	64
5.6.1.	Indicadores de desempeño	64
5.6.2.	Priorización de Procedimientos de Manejo	65
5.6.3.	Puntos Biológicos de Referencia (PBR)	66
5.6.4.	Visualización de resultados de la EEM mediante la plataforma Slick	66
5.7.	Objetivo específico 6.	67
6.	Resultados	68
6.1.	Objetivo específico 1	68
6.1.1.	Objetivos operacionales y variables de desempeño.....	69
6.1.2.	Procedimientos de Manejo	73
6.1.3.	Fuentes de incertidumbre	81
6.1.4.	Síntesis del objetivo específico 1	83

6.2. Objetivo específico 2.	84
6.2.1. Información nacional	84
6.2.2. Información internacional	92
6.2.3. Síntesis del objetivo específico 2	99
6.3. Objetivo específico 3.	100
6.3.1. Modelos Operativos (MO)	100
6.3.2. Implementación del modelo de condicionamiento rápido (RCM)	101
6.3.3. Taller técnico para la implementación de OpenMSE	114
6.3.4. Síntesis del objetivo específico 3	120
6.4. Objetivo específico 4	121
6.4.1. Desempeño general de los procedimientos de manejo (MP) modelo basado bajo condiciones promedio de reclutamiento (MO2)	121
6.4.2. Efecto de los estabilizadores	123
6.4.3. Efecto de incluir el mecanismo de Banking and Borrowing (B&B)	124
6.4.4. Comparaciones mediante Diagrama de Fase ("Kobe plot")	125
6.4.5. Implementación de procedimientos de manejo (MP) empíricos	127
6.4.6. Modelo de estimación <i>JJM_simple</i>	130
6.4.7. Evaluación de estrategias de manejo mediante full MSE	141
6.4.8. Comparación full vs. shortcut MSE	150
6.4.9. Reglas de control de captura mediante optimización estocástica en el espacio de las decisiones (SOPS)	157
6.4.10. Síntesis del objetivo específico 4	162
6.5. Objetivo específico 5.	163
6.5.1. Indicadores de desempeño entre procedimiento de manejo y modelos operativos	163
6.5.2. Análisis multicriterio	171
6.5.3. Síntesis objetivo específico 5	173
6.6. Objetivo específico 6.	174
6.6.1. Capacidades instaladas	175
6.6.2. Síntesis del objetivo específico 6	176
7. Discusión	177
8. Conclusiones	187
9. Referencias	189
Glosario de Términos	193
10. Anexos	196

Índice de Tablas

Tabla 1. Nuevos parámetros de crecimiento y rango de mortalidad natural.....	19
Tabla 2. RCC para el jurel, modificada durante el taller de referencia de 2022.	24
Tabla 3. Matriz de trazabilidad y justificación técnica de las fuentes de incertidumbre en la configuración de los Modelos Operativos (MO).....	34
Tabla 4. Configuración de los MO utilizados en la EEM.....	36
Tabla 5. Agenda de trabajo del taller técnico para la implementación de la plataforma OpenMSE.	49
Tabla 6. Configuración de 10 MP basados en 4 RCC para la evaluación de la pesquería de jurel.	51
Tabla 7. Códigos en R para la implementación de las cuatro RCC para la pesquería del jurel.	51
Tabla 8. Configuración de 6 procedimientos de manejo (MP) empíricos basados en 3 RCC	53
Tabla 9. Resumen de los principales supuestos del modelo de evaluación.	59
Tabla 10. Modelo de observación con información en edad.....	59
Tabla 11. Modelo de los errores con información en tallas.....	60
Tabla 12. Número de parámetros estimados por el modelo y distribuciones a priori.....	60
Tabla 13. Indicadores de desempeño utilizados para la evaluación de la efectividad de los MP.....	64
Tabla 14. Métodos y criterios utilizados para la priorización de los procedimientos de manejo.....	65
Tabla 15. Actores convocados y asistentes por sector e instancia de participación, indicando la tasa de respuesta y la representatividad de los asistentes.....	68
Tabla 16. Porcentaje de respuestas por nivel de importancia (alto, medio y bajo) asignado a los objetivos operacionales por los encuestados.	70
Tabla 17. Rangos de respuesta consensuados en preguntas abiertas de la encuesta técnica.	70
Tabla 18. Número de respuestas por nivel de importancia (alto, medio y bajo) asignado a los objetivos operacionales por los asistentes al taller	72
Tabla 19. Objetivos operacionales priorizados por los asistentes al taller mediante la selección individual de los cinco objetivos considerados más importantes	72
Tabla 20. Distribución porcentual de las respuestas obtenidas en las cinco preguntas cerradas de la encuesta aplicada a los participantes	74
Tabla 21. Resultados obtenidos a partir de las cinco preguntas cerradas de la encuesta, en el marco del segundo taller teórico-práctico.	77
Tabla 22. Fuentes de incertidumbre identificadas por el Comité de Manejo.....	82
Tabla 23. Estadísticas de desempeño para evaluar la efectividad de los PM candidatos.	86
Tabla 24. Diseño experimental de los modelos operativos (OM) y los procedimientos de manejo (MP).	91
Tabla 25. Estadísticos de desempeño.....	92
Tabla 26. Resumen de los MO identificados en el Taller de Implementación para la EEM de jurel.	115
Tabla 27. Riesgo de reducir la biomasa desovante por debajo de B_{MSY} considerando los 5 últimos años de la proyección, para diferentes combinaciones de MO y MP.....	145
Tabla 28. Riesgo de exceder F_{msy} considerando los 5 últimos años de la proyección, para diferentes combinaciones de MO y MP.....	147
Tabla 29. Indicadores de desempeño por MP y MO.	168
Tabla 30. Indicadores de desempeño relativos de corto y largo plazo por MP.	169
Tabla 31. Puntuación promedio considerando distintos niveles de ponderación a los índices de conservación en el largo plazo por MP.....	171
Tabla 32. Puntuación promedio considerando distintos niveles de ponderación a los índices de conservación en el largo plazo por MP.	172
Tabla 33. Cronograma de reuniones periódicas y temas abordados.	174
Tabla 34. Cronograma de talleres teórico-práctico y del taller técnico de implementación	174

Índice de Figuras

Figura 1. Descripción de la distribución espacial del jurel chileno basada en datos de capturas.....	17
Figura 2. Modelo conceptual de la distribución espacial de la población de jurel frente a Chile.....	18
Figura 3. Evolución de las capturas de jurel por flota pesquera.	20
Figura 4. Estado de explotación de jurel en el Pacífico Sur.....	21
Figura 5. Estimaciones de mortalidad por pesca y biomasa desovante en relación con los puntos de referencia anuales estimados para el jurel, basadas en la hipótesis H1	23
Figura 6. Esquema metodológico general para el desarrollo de la EEM mediante la plataforma OpenMSE en la pesquería de jurel.....	25
Figura 7. Serie logarítmica de las desviaciones de reclutamiento, función de autocorrelación y simulaciones de las desviaciones en su escala natural para los 30 años de proyección.	37
Figura 8. Relación histórica entre la biomasa desovante y los reclutas y la proyección determinista (sin desviaciones del modelo stock-recluta de Beverton-Holt) de los reclutamientos futuros	37
Figura 9. Reclutamiento del período histórico y de la proyección, mostrando el comportamiento bajo los supuestos de reclutamiento: a) período histórico, b) bajos y c) altos.....	38
Figura 10. Ojiva de madurez empleada en las proyecciones para los diferentes modelos operativos condicionados a partir del actual modelo base de evaluación de stock para el jurel.	39
Figura 11. Pesos a la edad empleados en las proyecciones para los diferentes modelos operativos condicionados a partir del actual modelo base de evaluación de stock para el jurel.	39
Figura 12. Implementación de la selectividad variable en el tiempo a través de una caminata aleatoria para cada una de las cuatro flotas durante el período de la proyección del stock.	40
Figura 13. Componentes estructurales de un modelo operativo que requieren condicionamiento para desplegar simulaciones.	41
Figura 14. Comparación de la biomasa desovante estimada por el modelo operativo actualizado hasta el 2025 (MOM) y el modelo de evaluación de stock del jurel (JJM).	42
Figura 15. Comparación de las abundancias por grupo de edad estimadas por el modelo operativo actualizado con datos hasta el 2025 (MOM) y el modelo de evaluación de stock del jurel (JJM).	43
Figura 16. Ajuste del modelo stock-recluta de Beverton-Holt a las estimaciones de biomasa desovante y reclutamiento del período 2000-2022 generadas por el modelo operativo actualizado con datos hasta el 2025 (MOM).	43
Figura 17. Representación gráfica de las RCC consideradas para la pesquería de jurel.....	52
Figura 18. Relación entre la captura biológicamente aceptable (CBA) y el índice de abundancia basado en el crucero acústico de la zona norte de Chile para tres formas funcionales de relación y dos niveles de captura de referencia (Cref) de 1,5 y 2,0 millones de toneladas.	54
Figura 19. Relación entre la biomasa desovante estimada por el modelo de evaluación de stock (JJM) y la biomasa estimada por el crucero acústico de la zona norte de Chile (2000-2024).....	54
Figura 20. Esquema comparativo de la aproximación full y shortcut MSE (método abreviado).	55
Figura 21. BMSY y FMSY históricos y sus valores de referencia (BMSY_ref y FMSY_ref), utilizados en las proyecciones y en la evaluación de los indicadores de desempeño.	66
Figura 22. Área de identificación de los encuestados (respuestas múltiples).	69
Figura 23. Registro fotográfico del primer taller teórico-práctico sobre objetivos operacionales y variables de desempeño.	71
Figura 24. Área de identificación de los encuestados (respuestas múltiples).	73
Figura 25. Registro fotográfico del segundo taller teórico-práctico sobre Procedimientos de Manejo	76
Figura 26. RCC propuestas por el Comité de Manejo para su evaluación.	78
Figura 27. Registro fotográfico del tercer taller teórico-práctico sobre fuentes de incertidumbre	81
Figura 28. Reclutamiento (Rec), biomasa del stock reproductor (SB), captura total (C) y mortalidad por	

pesca (F) para el PM basado en “shortcut”, ajustado a probabilidades de 50%, 60% y 70% de caer en el área verde del “Kobe plot” en el período 2027-2036.....	87
Figura 29. Distribución de valores para un rango de estadísticas de rendimiento calculadas para los PM basados en “shortcut”, ajustados a probabilidades del 50%, 60% y 70% de caer en el área verde del “Kobe plot” en el período 2027-2036	88
Figura 30. Reclutamientos y biomasa desovantes, históricos y proyectados sin pesca (MP0).	100
Figura 31. Biomasa relativa B/BMSY y capturas históricas y proyectadas para el MP2 bajo tres niveles de reclutamiento.....	101
Figura 32. Serie temporal de la mortalidad por pesca y selectividad del año terminal del modelo simplificado de una flota.....	102
Figura 33. Composición del índice del crucero acústico de Chile a la edad por año, con observaciones y predicciones del modelo.....	103
Figura 34. Serie temporal de la composición media a la edad de la flota simplificada, con observaciones y predicciones del modelo	103
Figura 35. Composición de la flota simplificada a la edad por año, con observaciones y predicciones del modelo	104
Figura 36. Series temporales de la biomasa desovante, de la depleción de la biomasa desovante y de la BD virgen dinámica (población reconstruida sin mortalidad por pesca).	105
Figura 37. Biomasa observada y predicha para el índice del crucero acústico del norte de Chile.	107
Figura 38. CPUE observada y predicha para la flota centro-sur de Chile.	107
Figura 39. Biomasa observada y predicha para el índice del crucero acústico de Perú.	107
Figura 40. CPUE observada y predicha para la flota de Perú.....	108
Figura 41. CPUE observada y predicha para la flota offshore.....	108
Figura 42. Composición a la edad observada y predicha para la flota del norte de Chile.....	109
Figura 43. Composición a la edad observada y predicha de la flota de Perú.	109
Figura 44. Composición a la edad observada y predicha del crucero acústico del norte de Chile	110
Figura 45. Selectividad a la edad por flota, para el último año.....	111
Figura 46. Serie temporal de mortalidad por pesca por flota, estimada por el RCM.....	111
Figura 47. Registro fotográfico del taller de implementación de OpenMSE.	114
Figura 48. Reclutamientos históricos y proyectados con Frms (manejo perfecto) y sin captura. MO con niveles de reclutamientos medios.....	116
Figura 49. Capturas proyectadas con Frms (manejo perfecto) y sin captura. MO con niveles de reclutamientos medios.....	116
Figura 50. Biomasa desovantes históricas y proyectadas con Frms (manejo perfecto) y sin captura. MO con niveles de reclutamientos medios.	117
Figura 51. Las razones F/Frms históricas y proyectadas con Frms (manejo perfecto) y sin captura. MO con niveles de reclutamientos medios.....	117
Figura 52. Probabilidades de estar en los diferentes cuadrantes del “kobe plot” con Frms (manejo perfecto) y sin captura. MO con niveles de reclutamientos bajos.	118
Figura 53. Probabilidades de estar en los diferentes cuadrantes del “kobe plot” con Frms (manejo perfecto) y sin captura. MO con niveles de reclutamientos medios.	118
Figura 54. Comparación entre los estimados con el RCM y el modelo JJM.....	119
Figura 55. Biomasa relativa (B/BMSY) histórica y proyectada para cada MP, bajo un escenario de reclutamiento futuro promedio (MO2).	121
Figura 56. Mortalidad por pesca relativa (F/FMSY) histórica y proyectada para cada MP, bajo un escenario de reclutamiento futuro promedio (MO2).....	122
Figura 57. Capturas históricas y proyectadas para cada MP, bajo un escenario de reclutamiento futuro promedio (MO2).....	122

Figura 58. Biomasa relativa (B/B_{MSY}), capturas y mortalidad por pesca relativa (F/F_{MSY}), bajo un escenario de reclutamiento promedio (MO_2) y 2 tipos de estabilizadores de captura: $MP_1= 25-15$ y $MP_2= 15-15$.	123
Figura 59. Biomasa relativa (B/B_{MSY}), capturas y mortalidad por pesca relativa (F/F_{MSY}), bajo un escenario de reclutamiento promedio (MO_2) y el efecto de Banking and Borrowing (MP_3).	124
Figura 60. Comparación del desempeño de los MP mediante “Kobe plot”.	125
Figura 61. Comparación del desempeño de los MP mediante “Kobe plot” para el escenario de reclutamiento promedio (MO_2).	126
Figura 62. Series de la razón de la biomasa desovante (BD) respecto de la biomasa en el rendimiento máximo sostenible (BD_{RMS}) para cada MO y los diferentes MP empíricos.	127
Figura 63. Series de la razón de la mortalidad por pesca (F) respecto de la mortalidad por pesca en el rendimiento máximo sostenible (F_{RMS}) para cada MO y los diferentes MP empíricos.	128
Figura 64. Probabilidad de no sobrepesca de acuerdo con al diagrama de fase o Kobe plot temporal, con la proporción de las simulaciones en donde la mortalidad por pesca se encontró por debajo de F_{RMS} para cada año de la proyección y procedimiento de manejo.	129
Figura 65. Series de captura en miles de toneladas por MO y procedimiento de manejo.	129
Figura 66. Diagrama de Kobe plot temporal con la proporción de las simulaciones de la condición del stock con respecto a su biomasa para cada año durante el periodo proyectado y para los diferentes PM.	130
Figura 67. Modelo <i>JJM_simple</i> ajustado a diferentes series de datos e índices.	131
Figura 68. Modelo <i>JJM_simple</i> ajustado a las composiciones de edades anuales de la flota comercial.	132
Figura 69. Modelo <i>JJM_simple</i> ajustado a las composiciones de edades obtenidas durante los cruceros acústicos.	133
Figura 70. Residuales estandarizados por fuente de información y raíz del error cuadrático medio RMSE del modelo <i>JJM_simple</i> .	134
Figura 71. Mapa de calor de las selectividades de la flota comercial y de los cruceros acústicos obtenidas por el modelo <i>JJM_simple</i> .	135
Figura 72. Mapa de calor de las selectividades de las flotas chilenas obtenidas por el modelo <i>JJM</i> de SPRFMO.	136
Figura 73. Estimaciones de la biomasa desovante y de la proporción de biomasa desovante que se habría producido en ausencia de pesca, a partir de 1970.	137
Figura 74. Estimaciones de la biomasa explotable y la biomasa total, a partir de 1970.	137
Figura 75. Reclutamiento y biomasa desovante estimados por los modelos <i>JJM</i> original y <i>JJM_simple</i> .	138
Figura 76. Estimaciones de reclutamientos y sus desvíos anuales, a partir de 1970.	139
Figura 77. Análisis retrospectivo de biomasa, reducción poblacional y mortalidad por pesca del jurel, estimadas mediante <i>JJM_simple</i> . Procedimiento de manejo actual MP_2 . Versión FULL MSE .	139
Figura 78. Ejemplos de simulación-estimación de biomasa del jurel mediante <i>JJM_simple</i> .	140
Figura 79. Relación entre la biomasa verdadera y la biomasa estimada por el modelo <i>JJM_simple</i> .	141
Figura 80. Frecuencia relativa y boxplot de las estimaciones de biomasa de largo plazo del jurel generadas mediante el modelo <i>JJM_simple</i> para dos tamaños de muestra ($n=100$, $n=200$ y $n=300$).	142
Figura 81. Proyección de la biomasa desovante por MP y MO a 30 años.	143
Figura 82. Biomasa desovante al MSY según la combinación de MP y MO.	144
Figura 83. Biomasa desovante relativa a la biomasa en el rendimiento máximo sostenible (B_{MSY}).	144
Figura 84. Riesgo de reducir la biomasa desovante por debajo de B_{msy} al final del periodo de proyección (últimos 5 años), para diferentes combinaciones de MP y MO.	145
Figura 85. Mortalidad por pesca respecto de F_{MSY} para diferentes combinaciones de MP y MO.	146
Figura 86. Riesgo de exceder F_{msy} al final del periodo de proyección (últimos 5 años) para diferentes combinaciones de MP y MO.	147
Figura 87. Capturas posibles bajo la combinación de MP y MO.	148

Figura 88. Promedio de la variabilidad interanual de la captura entre dos años consecutivos respecto de la captura promedio.	149
Figura 89. Compensación entre los indicadores de desempeño de la biomasa desovante ($B < B_{msy}$) y la mortalidad por pesca ($F > F_{msy}$) para las diferentes combinaciones de MP y MO.	150
Figura 90. Biomasa, captura y mortalidad por pesca relativa para distintos procedimientos de manejo (PM) y dos métodos de simulación-estimación en MSE (1= full, 2= shortcut)	152
Figura 91. Biomasa, captura y mortalidad por pesca relativa en el largo plazo para el procedimiento de manejo actual y dos aproximaciones de MSE (full y shortcut).	154
Figura 92. Diagrama de Kobe comparativo del desempeño de distintos PM y dos métodos de simulación-estimación en MSE (1= full, 2= shortcut) para los últimos 5 años de proyección.	155
Figura 93. Diagrama de dispersión de valores de indicadores de desempeño promedio para distintos PM y dos métodos de simulación-estimación en MSE (full y shortcut)..	156
Figura 94. Captura media realizada (t/año) según la RCC durante una proyección de 50 años.	157
Figura 95. Probabilidad de que la biomasa del stock reproductor caiga por debajo de B_{msy}	158
Figura 96. Probabilidad de que la mortalidad por pesca supere la mortalidad por pesca.	159
Figura 97. Probabilidad de que la captura realizada exceda el RMS.	160
Figura 98. Variabilidad de la captura	161
Figura 99. Comparación del desempeño de los MP mediante boxplots para el escenario de baja productividad (MO1), basada en distintos indicadores.	164
Figura 100. Comparación del desempeño de los MP mediante boxplots para el escenario de productividad promedio (MO2), basada en distintos indicadores.	164
Figura 101. Comparación del desempeño de los MP mediante boxplots para el escenario de alta productividad (MO3), basada en distintos indicadores.	165
Figura 102. Desempeño relativo de los MP basado en indicadores de largo plazo.	166
Figura 103. Desempeño relativo de los MP basado en indicadores de largo plazo.	166
Figura 104. Desempeño relativo de los MP basado en indicadores de largo plazo.	167
Figura 105. Compensaciones (“trade-off”) entre la captura promedio de largo y corto plazo, y la probabilidad de estar en la zona verde, para los diferentes MP considerando productividad promedio (MO2).	170
Figura 106. Compensaciones (“trade-off”) entre la captura promedio de largo y corto plazo, y la probabilidad de una baja variación de la captura ($<10\%$), para los diferentes MP considerando productividad promedio (MO2).	170
Figura 107. Relación entre indicadores de conservación e indicadores pesqueros en base a MO2	171
Figura 108. Relación entre indicadores de conservación e indicadores pesqueros en base a MO1.....	172

Índice de Anexos

Anexo 1: Reuniones.....	196
Anexo 2: Objetivo específico 1.....	205
Anexo 3: Objetivo específico 2.....	226
Anexo 4: Objetivo específico 3.....	228
Anexo 5: Taller de difusión de resultados.....	238
Anexo 6: Personal participante por actividad.....	241

Lista de abreviaturas, acrónimos y siglas

B_{RMS}	Biomasa asociada al Rendimiento Máximo Sostenible
CBA	Captura Biológicamente Aceptable
CC	Comité Científico de la OROP-PS
CCT-J	Comité Científico Técnico de Pesquería Pelágica de Jurel de Chile
CM	Comité de Manejo
CPUE	Captura por Unidad de Esfuerzo
DAP	División de Administración Pesquera
EEM	Evaluación de Estrategias de Manejo
F_{RMS}	Mortalidad por pesca asociada al Rendimiento Máximo Sostenible
FIPA	Fondo de Investigación Pesquera y de Acuicultura
FLR	Fisheries Library in R
GLMM	Modelo Lineal Generalizado Mixto
JJM	Joint Jack Mackerel Model
LGPA	Ley General de Pesca y Acuicultura
MCMC	Monte Carlo de la cadena de Markov
MO	Modelo Operativo
MSEWG	Grupo de Trabajo sobre Evaluación de Estrategias de Manejo de la OROP-PS
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
OROP-PS	Organización Regional de Ordenación Pesquera del Pacífico Sur
MP	Procedimiento de Manejo
PS	Pacífico Sur
RCC	Reglas de Control de Captura
RMS	Rendimiento Máximo Sostenible
SEAPODYM	Spatial Ecosystem And Population Dynamics Model
SGW	Grupo de Trabajo de Pequeños Pelágicos de la OROP-PS
SRR	Relación stock–reclutamiento
SSB	Biomasa del stock desovante
TSM	Temperatura Superficial del Mar
ZEE	Zona Económica Exclusiva

1. Objetivo General

Implementar la metodología de Evaluación de Estrategias de Manejo (EEM) para la pesquería de jurel (*Trachurus murphyi*) a través de la plataforma OpenMSE, fortaleciendo el trabajo desarrollado en el contexto de la Organización Regional de Pesca del Pacífico Sur (OROP-PS) y el diálogo con los principales actores nacionales involucrados.

2. Objetivos Específicos

- 2.1. Recopilar, priorizar y evaluar explícitamente los intereses del sector pesquero nacional y órganos asesores involucrados, para el desarrollo de herramienta de Evaluación de Estrategias de Manejo.
- 2.2. Identificar, representar y evaluar explícitamente escenarios estratégicos alternativos de interés sectorial, fortaleciendo la posición nacional en el marco de la OROP-PS.
- 2.3. Implementar modelo(s) operativo(s) alternativo(s) incorporando las fuentes de incertidumbre identificadas en el marco de la OROP-PS y aquellos de interés nacional, a través de la plataforma OpenMSE.
- 2.4. Testear la robustez de estrategias de manejo alternativas a la actualmente vigente, utilizando Procedimientos de Manejo empíricos y modelo-basado para la pesquería del jurel.
- 2.5. Evaluar la efectividad de los procedimientos de manejo desarrollados, para alcanzar los objetivos de manejo establecidos en el marco legal vigente (LGPA), los tratados internacionales vinculantes (e.g. OCDE, OROP-PS u otros) y órganos asesores respectivos.
- 2.6. Fortalecer el desarrollo de capacidades internas para el alcance de compromisos nacionales asociados a EEM en el marco de la OROP-PS.

3. Introducción

El jurel (*Trachurus murphyi*) es una especie pelágica de carácter transzonal y transfronterizo, cuya gestión en el Pacífico Sur (PS) se lleva a cabo en el marco de la Organización Regional de Ordenación Pesquera del Pacífico Sur (OROP-PS). A través de la asesoría del Comité Científico (CC) de esta organización, se determina anualmente el estado del recurso y, en función de ello, se propone la Captura Biológicamente Aceptable (CBA).

La evaluación de stock del CC de la OROP-PS en 2022 indicó que la biomasa del jurel superaba el nivel necesario para generar el Rendimiento Máximo Sostenible (RMS), mientras que la mortalidad por pesca (F) estaba por debajo del nivel asociado al RMS. Conforme al Plan de Reconstrucción Aceptado ("Annex K adjusted"), se recomendó un aumento precautorio del 15% en la cuota de captura para 2022 (900 mil t). En 2023, al mantenerse la biomasa significativamente sobre el RMS, se amplió el límite superior del estabilizador de capturas al 20%, estableciendo un máximo de 1.080.000 t en el área total de distribución del jurel, y 981.830 t en el área de la OROP-PS. Al haberse alcanzado el principal objetivo del procedimiento "Annex K adjusted", reconstruir la población por encima del nivel provisional de la biomasa al RMS (5,5 millones de t), se hace necesario ajustar las decisiones de manejo conforme al estado actual del stock.

Para apoyar las decisiones de manejo, en su reunión N° 8 de 2020, la Comisión solicitó actualizar el Procedimiento de Manejo (MP) vigente mediante la implementación de la Evaluación de Estrategias de Manejo (EEM). Esta herramienta permite analizar de manera integrada diversas incertidumbres clave, como las hipótesis sobre la estructura del stock, los parámetros de crecimiento, la mortalidad natural, la productividad del stock en relación con los regímenes, la relación stock-recluta, los patrones de distribución de la pesquería y la robustez del procedimiento de recomendación de capturas ante estas incertidumbres (COMM 8, 2020; report annex 8b). Así, la EEM no solo fortalece la transparencia en la toma de decisiones, sino que también permite evaluar su efectividad a través de simulaciones que integran múltiples escenarios, con el fin de asegurar el cumplimiento de los objetivos de manejo (Punt et al., 2016a).

En el marco de la OROP-PS, se desarrolla actualmente un análisis de EEM, liderado por la Comunidad Económica Europea (EU), que integra la opinión experta de los principales actores internacionales vinculados. En este contexto, Chile es el país más relevante de la OROP-PS, tanto por su volumen de desembarque como por su aporte en datos, información y conocimientos orientados a promover un manejo sostenible de la pesquería de jurel en el PS. Por ello, el presente estudio busca avanzar y fortalecer los análisis que surjan de su desarrollo, así como robustecer la posición nacional frente a la OROP-PS y las competencias nacionales internas, en un proceso que incorpore los intereses y el conocimiento experto de los principales actores nacionales involucrados, incluidos los organismos asesores como el Comité de Manejo (CM) y el Comité Científico Técnico de la Pesquería de jurel (CCT-J).

4. Antecedentes

4.1. Distribución y hábitat

El jurel (*Trachurus murphyi*) es una especie pelágica migratoria con una amplia distribución en el Océano Pacífico Sur (Núñez et al., 2004). Se concentra principalmente a lo largo de la plataforma continental y en aguas oceánicas adyacentes a Ecuador, Perú y Chile, alcanzando también la Zona de Convergencia Subtropical (**Figura 1**). Esta región forma parte de lo que se conoce como el “cinturón del jurel”, una extensa franja de distribución que abarca desde las costas de Chile hasta Nueva Zelanda y Tasmania dentro de un rango latitudinal que varía entre los 35°S y 50°S a lo largo del Pacífico (Elizarov et al., 1993; Grechina, 1998; Cárdenas et al., 2009).

Las especies de este género manifiestan migraciones verticales diurno-nocturnas. Sin embargo, a diferencia de la mayoría de las especies de *Trachurus*, el jurel en el sistema de la corriente de Humboldt se localiza a mayores profundidades durante el día, entre 150-300 m, formando pequeños cardúmenes (Aksnes & Giske, 1990; Hancock et al., 1995; Bertrand et al., 2004). Durante la noche, en cambio, asciende hacia la superficie (0-50 m), formando densas agregaciones asociadas a un comportamiento de alimentación activa (Barbieri et al., 1998).

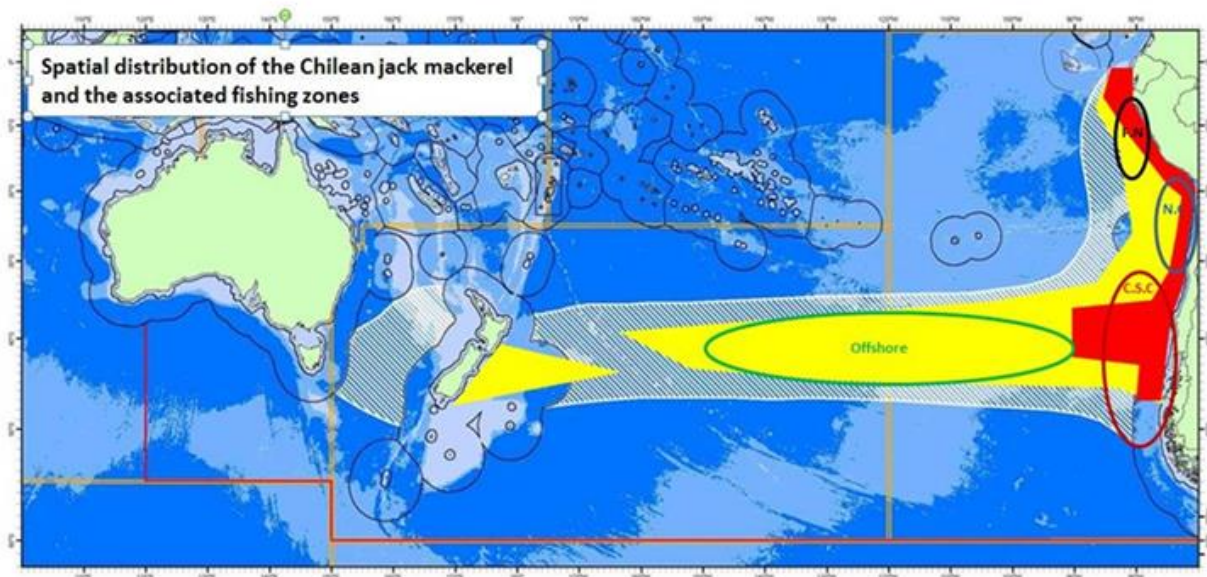


Figura 1. Descripción de la distribución espacial del jurel chileno basada en datos de capturas (en amarillo) e índices de prospección (en rojo), junto con las cuatro zonas de pesca: (i) extremo norte (círculo negro), (ii) norte de Chile (círculo azul), (iii) centro-sur de Chile (círculo rojo), y (iv) alta mar (círculo verde). La franja blanca representa el “cinturón del jurel” (Elizarov et al., 1993; Gerlotto et al., 2012) (Fuente: Extraído de Guele et al., 2014).

T. murphyi presenta un marcado patrón migratorio estacional, asociado principalmente a procesos reproductivos y de alimentación (Serra, 1991) (**Figura 2**). En este contexto, la población de jurel frente a Chile se estructura en tres hábitats diferenciados (Arcos et al., 2001):

- I. Hábitat de desove: Ubicado en aguas oceánicas entre los 35°S y 40°S, extendiéndose hasta aproximadamente los 90°O. Durante la primavera, los individuos adultos migran hacia esta zona para efectuar el desove (concentrado entre los meses de octubre y noviembre).
- II. Hábitat costero de alimentación: Se localiza en la región centro-sur de Chile (33°S-40°S), donde se produce una migración de retorno en los meses de verano y otoño. En este sector se lleva a cabo el proceso de reclutamiento, observándose ejemplares de entre 2 y 3 años.
- III. Hábitat de crianza: Compuesto por aguas cálidas, tanto costeras como oceánicas, situadas al norte de los 30°S. En este hábitat predominan los ejemplares juveniles, con tallas inferiores a 25 cm de longitud.

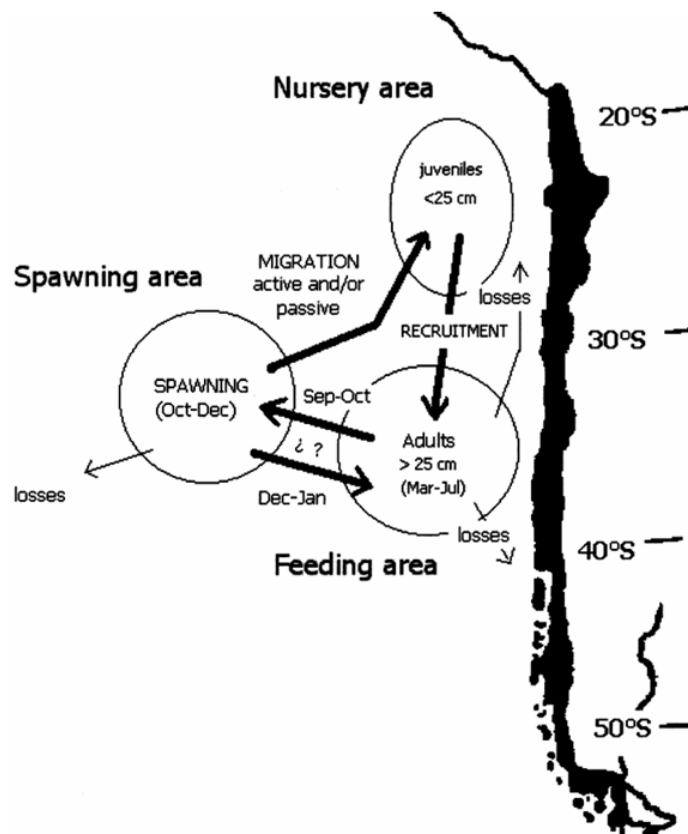


Figura 2. Modelo conceptual de la distribución espacial de la población de jurel frente a Chile (Fuente: Extraído de Arcos et al., 2001).

4.2. Aspectos biológicos

Las especies del género *Trachurus* se caracterizan por presentar una longevidad media a alta, con una esperanza de vida que puede alcanzar entre los 15 y 30 años de edad. En el caso de *T. murphyi*, la edad máxima registrada en las capturas no supera los 15 años (Payá & Zenteno, 2024). Estudios recientes han determinado que el primer y tercer anillo observados en los otolitos corresponden a anillos falsos, lo que ha llevado a una corrección en la estimación de la edad, reduciendo la longevidad en dos años (Cerna, 2022). Los nuevos parámetros de crecimiento y rango de mortalidad natural conforme al modelo de estimación actualmente en uso se muestran en la **Tabla 1**.

El jurel es una especie de desove parcial y asincrónico (Leal et al., 2013), con una frecuencia media de desove de aproximadamente 7 días y una fecundidad parcial superior a 50.000 ovocitos por evento reproductivo (Perea et al., 2013). La madurez sexual se alcanza alrededor del primer año de vida (Payá & Zenteno, 2024), habiéndose reportado una madurez más temprana en machos que en hembras, lo que se ha asociado a diferencias en los costos energéticos relativos entre los procesos de reproducción y crecimiento (Ferrada et al., 2023).

Tabla 1. Nuevos parámetros de crecimiento y rango de mortalidad natural (Payá & Zenteno, 2024).

Parámetro	Símbolo	Valor
Talla asintótica	L _∞	68,96 cm
Tasa de crecimiento	k	0,088
Edad teórica en que la longitud sería 0	t ₀	-3,18
Mortalidad natural	M	0,25 - 0,95

4.3. Pesquería

La pesquería de *T. murphyi* ha sido una de las más relevantes a nivel mundial. La actividad industrial se inició en la década de 1970, con la participación de flotas pesqueras provenientes principalmente de América del Sur, Rusia y Europa. En 1995, esta pesquería alcanzó su máximo histórico, registrando capturas cercanas a 5 millones de toneladas (Gerlotto et al., 2012). Producto de la alta tasa de explotación ejercida sobre el recurso, la captura comenzó a disminuir considerablemente hasta 2010 (SPRFMO, 2010). Algunos estudios sugieren que una combinación de bajo reclutamiento, sobrepesca y factores climáticos podría explicar el colapso del stock (Arcos et al., 2001; Gang et al., 2013; Quiroz, 2019). A partir de 2013, y en el marco de la implementación de medidas de conservación establecidas por la OROP-PS, se ha observado una relativa estabilización y una recuperación paulatina de las capturas, alcanzando niveles cercanos a 1 millón de toneladas en los años más recientes.

La **Figura 3** presenta la evolución de las capturas comerciales de jurel, separadas por las cuatro flotas identificadas por la OROP-PS: (1) FarNorth: Ecuador-Perú dentro de su Zona Económica Exclusiva (ZEE), (2) N_Chile: Norte de Chile dentro de la ZEE, (3) CS_Chile_PS: Centro-sur de Chile dentro y fuera de la ZEE, y (4) Offshore_Trawl: Flota internacional frente a Chile, pero fuera de la ZEE. Todas estas flotas operan con redes de cerco, con excepción de la flota offshore, que emplea redes de arrastre de media agua (Payá & Zenteno, 2024).

En Chile, la pesquería del jurel representa una de las más importantes del país, con operaciones concentradas en tres áreas de pesca: (i) zona norte ($18^{\circ}21'S$ - $24^{\circ}S$), (ii) zona centro-norte ($24^{\circ}01'S$ - $32^{\circ}S$) y (iii) zona centro-sur ($32^{\circ}S$ - $43^{\circ}30'S$) (Barría et al., 2003). En esta última área, pero fuera de la ZEE, el recurso también ha sido explotado por flotas extranjeras compuestas por embarcaciones con bandera de Rusia, China, la Unión Europea, Corea y Vanuatu. Asimismo, Perú y Ecuador también capturan esta especie dentro de sus respectivas ZEE (Canales et al., 2013).

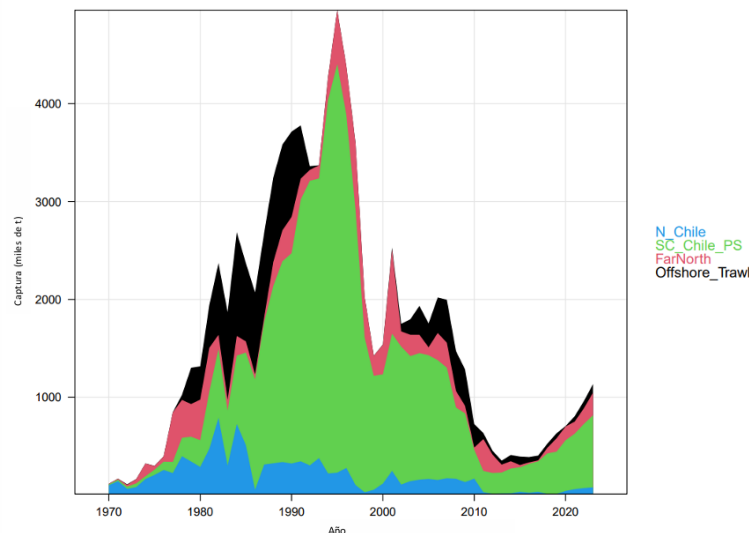


Figura 3. Evolución de las capturas de jurel por flota pesquera (Fuente: Extraído de Payá & Zenteno, 2024).

4.4. Estado de explotación

La población de jurel es evaluada considerando dos hipótesis sobre la estructura poblacional. La hipótesis predominante (H1), respaldada por la evidencia pesquera y biológica disponible, plantea la existencia de un único stock en las costas del océano Pacífico Sur. En contraste, la segunda hipótesis (H2) propone que la población de jurel está conformada por dos unidades poblacionales distintas, con procesos de reclutamiento y reproducción independientes. Bajo esta última hipótesis, el primer stock se distribuye en aguas oceánicas y frente a la costa de Chile, mientras que el segundo stock se restringe a las aguas costeras de Perú y el sur de Ecuador.

La evaluación poblacional realizada por la OROP-PS durante el año 2023 mostró que la biomasa desovante de jurel se estima en alrededor de 16,4 millones de toneladas, muy por encima del valor de B_{RMS} (8,09 millones de toneladas), la biomasa promedio capaz de producir el RMS. La mortalidad por pesca en 2023 se estima en 0,13, muy por debajo de las estimaciones a largo plazo de F_{RMS} . Aunque el reclutamiento ha disminuido en comparación con años anteriores que tuvieron clases muy numerosas, todavía se encuentra significativamente por encima del nivel de baja productividad que se registró alrededor de 2010 (**Figura 4**).

Las más recientes evaluaciones llevadas a cabo por la OROP-PS han revelado un incremento en las estimaciones de biomasa desovante, principalmente debido a las actualizaciones en los índices de abundancia. Las estimaciones de mortalidad por pesca (F) y reclutamiento han permanecido mayormente inalteradas, lo que sugiere que, bajo un enfoque de EEM, la evaluación debe centrarse en las estrategias de captura que permitan evaluar los impactos de cambios o reducciones en los niveles poblacionales.

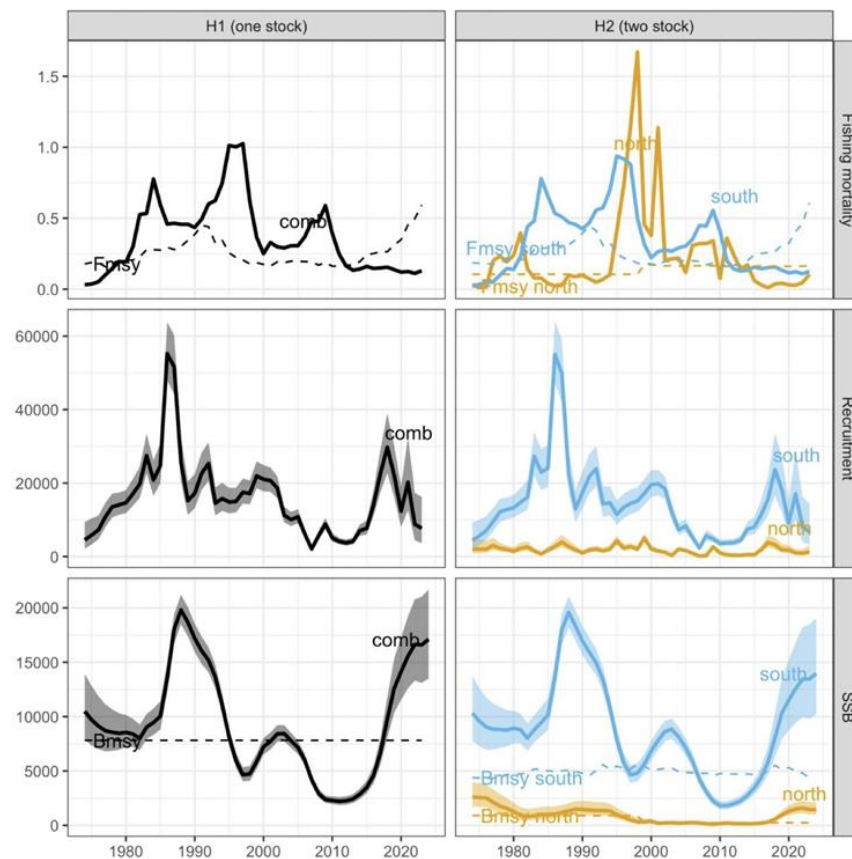


Figura 4. Estado de explotación de jurel en el Pacífico Sur. Evolución temporal de la mortalidad por pesca (como una tasa instantánea por año; arriba), reclutamiento a la edad 1 (en millones; centro), y la biomasa desovante (en miles de toneladas; abajo). Las columnas muestran resultados para la hipótesis de un solo stock (H1, izquierda) y la hipótesis de dos stocks (H2, derecha, stock norte en amarillo y stock sur en celeste). Las áreas sombreadas representan la incertidumbre (Fuente: Extraído de SPRFMO, 2022).

4.5. Modelo de evaluación e indicadores de manejo

La OROP-PS emplea el modelo de evaluación JJM (Joint Jack Mackerel Model) para estimar variables de estado, como la biomasa desovante, reclutamiento, selectividades y mortalidad por pesca, a través de la progresión temporal de la captura por edad. JJM es un modelo estadístico estructurado por edades implementado en AD Model Builder (ADMB) (Fournier et al., 2012), que utiliza proyección hacia adelante y estimación de máxima verosimilitud para resolver sus parámetros, permitiendo ajustarse a diferentes tipos de datos estructurales (e.g. composiciones de tamaños y edades) y series de tiempo (e.g. índices de abundancia). Las evaluaciones recientes de jurel con JJM han utilizado datos de la pesquería desde 1970 hasta la fecha actual, asumiendo que la dinámica poblacional de jurel se modela mediante la ecuación estándar de captura y algunas de sus derivaciones (McAllister & Ianelli, 1997; Schnute, 1977; Kimura & Tagart, 1982).

Los indicadores de manejo y los puntos de referencia asociados con el RMS se estiman internamente en JJM, junto con los parámetros del modelo. El modelo calcula los valores de RMS y E_{RMS} mediante una rutina de minimización de Newton-Raphson (Saab & Saab, 2016) que estima la mortalidad por pesca, basándose en el año final de capturas relativas por flota (y selectividades por edad), así como los pesos por edades del año final para cada flota, con el objetivo de maximizar la captura. Dado que los pesos por edad y la selectividad cambian cada año, estos valores pueden variar. Por lo tanto, el RMS se define como la cantidad máxima de captura que permite la generación de reclutamiento suficiente para mantener la población en el mismo nivel. Bajo este proceso, B_{RMS} se asume como el promedio a largo plazo de la biomasa explotada bajo el RMS.

Previo al año 2021, el punto de referencia B_{RMS} se definió en 5,5 millones de toneladas, como una medida precautoria hasta lograr la total recuperación de la población de jurel. Desde el año 2022, este punto de referencia se asume como el promedio de B_{RMS} estimado por el modelo JJM para los últimos diez años (**Figura 5**). También se adoptó un punto de referencia límite, B_{LIM} (únicamente para la hipótesis de un stock, H1), calculado con base en la proporción más baja de la biomasa desovante histórica en comparación con la biomasa desovante no explotada (i.e. sin pesca, aproximadamente el 8% de la biomasa desovante no explotada). B_{LIM} se define como el umbral de biomasa desovante por debajo del cual es probable que el reclutamiento se vea comprometido; por lo tanto, se recomendó no realizar pesca cuando la biomasa desovante se encuentre por debajo de este nivel.

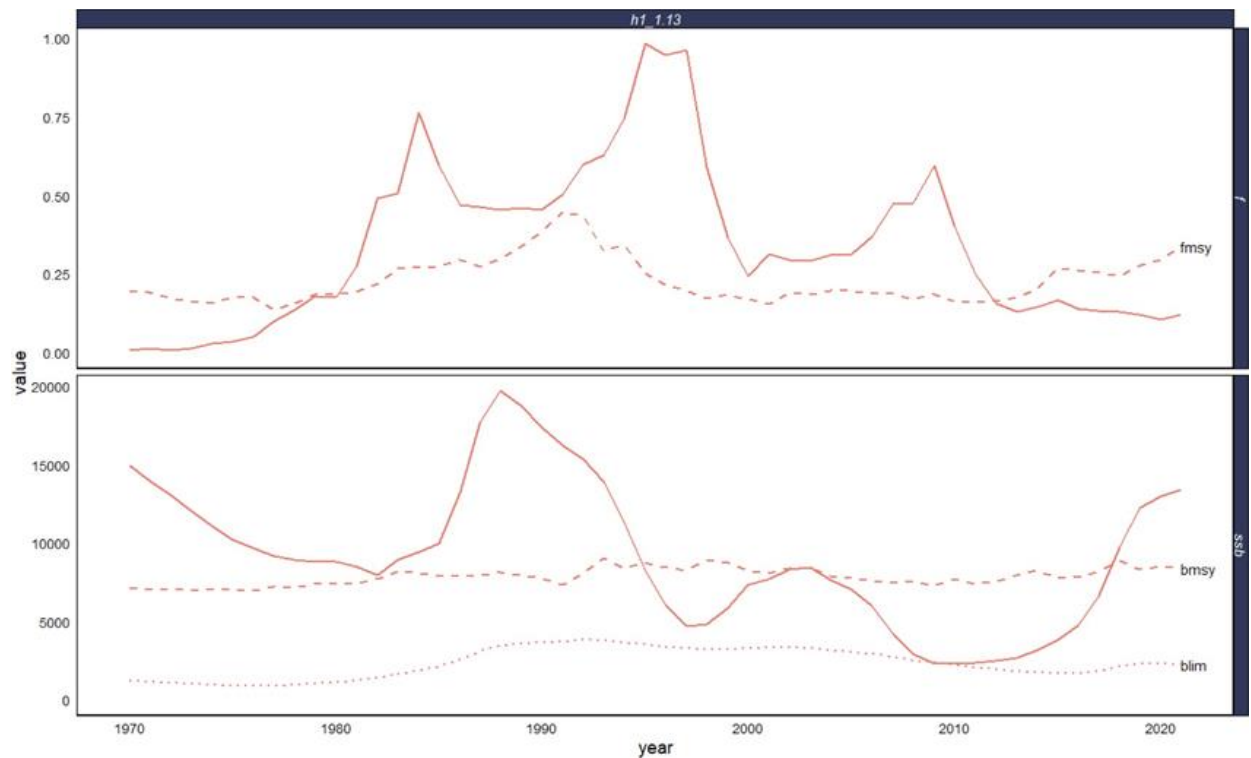


Figura 5. Estimaciones de mortalidad por pesca y biomasa desovante en relación con los puntos de referencia anuales estimados para el jurel, basadas en la hipótesis H1 (Fuente: Extraído de SPRFMO, 2022).

4.6. Regla de Control de Captura (RCC)

La OROP-PS implementó de forma provisional en 2022 una Regla de Control de Captura (RCC) basada en la biomasa desovante, utilizando B_{LIM} , 80% de B_{RMS} y B_{RMS} como puntos de referencia que definen cuatro niveles de acciones (ver **Tabla 2**).

El actual tamaño de la población de jurel sitúa a la biomasa desovante en el tercer nivel de la RCC ($80\% B_{RMS} \leq B_{actual} \leq B_{RMS}$). Dentro del tercer nivel, las capturas deben estar limitadas a una mortalidad por pesca de F_{RMS} , resultando en capturas que podrían alcanzar los 4,9 millones de toneladas. Sin embargo, la Comisión de la OROP-PS adoptó que las capturas asociadas con el RMS no se implementen, y en su lugar, se utilice un cambio máximo en el límite de captura del 15% en relación con la cuota de captura del año en curso (SPRFMO, 2015).

La Comisión tomó esta decisión basándose en las recomendaciones del Comité Científico de la OROP-PS, el cual señaló que las capturas bajo el RMS son más de 4 veces los niveles actuales y posiblemente se deban a sobreestimaciones de F_{RMS} debido a la alta vulnerabilidad de los peces longevos.

Tabla 2. Regla de Control de Captura para el jurel, modificada durante el taller de referencia de 2022 (Fuente: Extraído de SPRFMO, 2022).



Jack Mackerel Harvest Control Rule 2022

Harvest Control Rule

Stock status	TAC calculation method
$B_{t+1} < B_{lim}$	Set TAC to zero; directed jack mackerel fishing prohibited
$B_{t+1} \leq 80\%$ of B_{MSY} (or proxy)	1) Compute trial catch (C_{trial}) at estimated F_t or F_{MSY} (whichever is smaller) If $C_{trial} < C_{replacement}$ Set catch at or below C_{trial} (the stock will increase) Else if $C_{trial} > C_{replacement}$ Set catch at or below $C_{replacement}$ (the stock remains stable)
$B_{t+1} > 80\%$ of B_{MSY} (or proxy) and $B_{t+1} \leq B_{MSY}$ (or proxy)	2) Compute trial catch (C_{trial}) at estimated F_{MSY} (or proxy) If $C_{trial} < C_{replacement}$ Set catch at or below C_{trial} Else if $C_{trial} > C_{replacement}$ Use method 1). The TAC will not be allowed to vary by more than 15% between years
$B_{t+1} > B_{MSY}$ (or proxy)	3) Set catch at or below value based on F_{MSY} The TAC will not be allowed to vary by more than 15% between years

Table 1: Harvest control rule for jack mackerel, as adjusted during the 2022 benchmark workshop (SCW14).

5. Metodología

5.1. Marco metodológico

La **Figura 6** presenta una visión general de la metodología implementada para el desarrollo del proyecto. En términos generales, el trabajo se estructuró en seis objetivos específicos interrelacionados. Inicialmente, mediante encuestas, talleres participativos y revisión bibliográfica, se identificaron los principales intereses del sector pesquero, así como los escenarios estratégicos y fuentes de incertidumbre relevantes para la pesquería de jurel. Estos antecedentes sirvieron de base para la definición e implementación de modelos operativos y el diseño de procedimientos de manejo alternativos, considerando enfoques tanto modelo-basados como empíricos. Posteriormente, la efectividad de los procedimientos de manejo fue evaluada mediante indicadores de desempeño previamente definidos. De manera transversal, durante toda la ejecución del proyecto se realizaron actividades orientadas al fortalecimiento de capacidades técnicas para la implementación de procesos de Evaluación de Estrategias de Manejo.



Figura 6. Esquema metodológico general para el desarrollo de la EEM mediante la plataforma OpenMSE en la pesquería de jurel (Fuente: Elaboración propia).

5.2. Objetivo específico 1: Recopilar, priorizar y evaluar explícitamente los intereses del sector pesquero nacional y órganos asesores involucrados, para el desarrollo de herramienta de Evaluación de Estrategias de Manejo.

El presente objetivo contempló la realización de tres talleres teóricos-prácticos dirigidos a los principales actores vinculados a la pesquería, orientados a recoger insumos para la definición de elementos clave de la Evaluación de Estrategias de Manejo. Las actividades desarrolladas fueron las siguientes:

- **Taller 1:** Definición de objetivos operacionales y variables de desempeño
- **Taller 2:** Definición de Procedimientos de Manejo
- **Taller 3:** Identificación de fuentes de incertidumbre

Para reforzar la comprensión de los alcances y la importancia de la EEM y promover una participación informada en las instancias de diálogo, se elaboró y distribuyó un material audiovisual de carácter explicativo. Cabe señalar que, para el primer y segundo taller, se diseñaron y aplicaron previamente encuestas semiestructuradas a través de la plataforma *Google Forms* (**Anexo 2.a** y **Anexo 2.b**), con el objetivo de identificar las prioridades, percepciones y expectativas de los distintos actores vinculados a la pesquería de jurel respecto a su manejo. Las encuestas fueron enviadas por correo electrónico a un total de 40 personas. La participación fue anónima y se solicitó únicamente que los encuestados indicaran su área de desempeño (primera sección), eligiendo entre las siguientes categorías: (i) usuario de la pesquería sector artesanal, (ii) usuario de la pesquería sector industrial, (iii) miembro del Comité de Manejo de Jurel, (iv) miembro del Comité Científico Técnico de Jurel, (v) delegación chilena en la OROP-PS, (vi) administrador, (vii) científico y/o académico, y (viii) otros.

En el caso del tercer taller, orientado a la identificación de fuentes de incertidumbre, no se aplicó encuesta previa, dada la complejidad técnica del tema y la necesidad de abordar los contenidos con mayor profundidad durante la sesión presencial, a fin de facilitar una comprensión adecuada y una discusión sustantiva.

5.2.1. *Objetivos operacionales y variables de desempeño*

- **Primera encuesta de opinión técnica**

En la segunda sección de la encuesta (**Anexo 2.a**), se solicitó a los participantes clasificar el nivel de importancia (alta, media o baja) de 9 objetivos:

1. Maximizar las capturas
2. Minimizar el número de viajes
3. Evitar grandes cambios en las capturas de un año a otro (factor de estabilización)
4. Evitar episodios de sobrepesca (mortalidad por pesca excesiva)
5. Evitar episodios de sobreexplotación (biomasa por debajo del objetivo)
6. Maximizar la biomasa poblacional
7. En caso de sobreexplotación, obtener una rápida recuperación del recurso
8. Que la captura esté compuesta principalmente por ejemplares de mayor tamaño
9. Completar la Cuota Global de Captura Anual de Chile

Adicionalmente, con el propósito de profundizar en algunos de los objetivos planteados anteriormente, la encuesta incluyó una tercera sección conformada por cuatro preguntas abiertas, cuya respuesta fue de carácter voluntario:

1. ¿Qué porcentaje de variación en las capturas entre años considera adecuado? (p.ej., un 15% de aumento y disminución).
2. ¿Qué rango de capturas anuales totales considera adecuado? Indique el valor mínimo y máximo en mil t/año.
3. Respecto de la cuota nacional anual asignada por la OROP-PS, ¿qué porcentaje mínimo de captura debería ser alcanzado?
4. Además de los objetivos mencionados anteriormente, ¿tiene algún otro objetivo o expectativa en la pesquería? Si es así, por favor especifíquelo.

- **Primer taller teórico-práctico**

La actividad tuvo como propósito recoger la opinión de los integrantes del Comité de Manejo para la definición de los objetivos operacionales de la pesquería de jurel. Para ello, el taller se estructuró en dos bloques principales, orientados a facilitar la discusión y priorización de dichos objetivos:

1. Introducción: Se expusieron los alcances del proyecto y la base conceptual de la EEM (**Anexo 2.c**), con el fin de establecer un marco común de comprensión entre los participantes. Esta instancia fue clave para homogeneizar los conceptos técnicos a abordar, considerando que los asistentes provenían de distintos sectores de la pesquería, lo que implicaba una diversidad de experiencias, enfoques y niveles de conocimiento. Una vez alcanzada una comprensión compartida respecto de la definición y el rol de los objetivos operacionales, se procedió a la presentación y análisis de los resultados

obtenidos a partir de la encuesta técnica, considerando las respuestas recibidas hasta la fecha de realización del taller, ya que posteriormente se continuaron recibiendo respuestas.

2. Focus group: Posterior a la exposición introductoria, se llevó a cabo una sesión de discusión guiada bajo la modalidad de focus group, liderada por el moderador Sr. Jorge Quezada (**Anexo 2.f**). La actividad se inició con el planteamiento de tres preguntas diseñadas para promover la presentación de los participantes y estimular su participación activa en el taller:

- ¿Cuál cree usted que es el punto más fuerte y más débil de la pesquería?
- Si se incrementara la captura, ¿qué efectos tendría en la pesquería?
- ¿Qué explicaría el estado actual de la pesquería?

Para incentivar la participación activa de todos los asistentes, se entregaron tarjetas individuales a cada participante, con el propósito de que registraran sus respuestas a las preguntas planteadas durante la sesión. Una vez completadas, las tarjetas fueron dispuestas en un panel, lo que permitió visualizar las distintas perspectivas y facilitar una discusión grupal en torno a los principales puntos de coincidencia y disenso.

Posterior a la discusión de las tres preguntas iniciales, el moderador presentó en un panel los nueve objetivos consultados en la encuesta de opinión técnica y solicitó a los participantes que volvieran a clasificar su nivel de importancia (alta, media o baja). Esta actividad tuvo como finalidad ratificar, complementar o contrastar los resultados obtenidos previamente a través de la encuesta. Adicionalmente, para establecer un criterio de priorización, se solicitó a los asistentes seleccionar únicamente cinco de los nueve objetivos, identificando aquellos que consideraban más relevantes para el manejo de la pesquería.

El taller concluyó con una segunda ronda de preguntas, con el propósito de recoger percepciones adicionales, identificar posibles vacíos en los temas abordados y aportar insumos relevantes para el diseño de una estrategia de manejo:

- ¿Qué objetivos importantes cree usted que no fueron considerados en la encuesta?
- ¿Qué asuntos o temas quedaron pendientes en este taller?
- ¿Qué debería ser considerado en una estrategia de manejo?

5.2.2. *Procedimientos de Manejo*

- **Segunda encuesta de opinión técnica**

La segunda sección de la encuesta estuvo conformada por cinco preguntas cerradas, cada una acompañada de un conjunto de alternativas. Estas preguntas fueron diseñadas con el objetivo de aportar insumos para el diseño de la Regla de Control de Captura e identificar componentes específicos del manejo. El cuestionario completo, incluyendo todas las alternativas, se presenta en el **Anexo 2.b**. A continuación, se detallan las preguntas:

1. En caso que el recurso se encuentre en estado de plena explotación (es decir, con la biomasa cercana al nivel objetivo), ¿cuál considera usted que debería ser el límite máximo de disminución de la cuota total de captura entre un año y otro?
2. En caso que el recurso se encuentre en estado de plena explotación (es decir, con la biomasa cercana al nivel objetivo), ¿cuál considera usted que debería ser el límite máximo de aumento de la cuota total de captura entre un año y otro?
3. En caso que el recurso llegue al estado de colapso o agotamiento (menor a la biomasa límite), ¿cuál de las siguientes medidas de captura considera usted más adecuada?
4. En caso que el recurso llegue al estado de subexplotación (es decir, se encuentra abundante por sobre la biomasa de referencia), ¿cuál de las siguientes medidas de captura considera usted más adecuada?
5. En caso que el recurso se encuentre en estado de plena explotación (es decir, con la biomasa cercana al nivel objetivo) ¿está usted de acuerdo con implementar el sistema de “Banking and Borrowing”? (este sistema permite guardar (banking) o adelantar (borrowing) parte de la cuota de un año para utilizarla en otro).

Con el propósito de complementar la información obtenida a partir de las preguntas cerradas, la encuesta incluyó una tercera sección integrada por dos preguntas abiertas de carácter voluntario. Estas fueron diseñadas para recolectar percepciones, sugerencias y consideraciones adicionales de los participantes en relación con los Procedimientos de Manejo:

1. ¿Qué aspectos o situaciones limitan o dificultan su actividad en la pesquería?
2. ¿Qué elemento considera usted relevante incorporar en el diseño de un Procedimiento de Manejo para la pesquería de jurel?

- **Segundo taller teórico-práctico**

El objetivo de la actividad consistió en recoger las preferencias y prioridades de manejo de los participantes. Para ello, el taller se organizó en dos bloques, orientados a promover el análisis colectivo, el intercambio de perspectivas y la formulación colaborativa de distintos Procedimientos de Manejo:

1. Introducción: La sesión comenzó con la proyección de un video explicativo desarrollado en el marco del proyecto, cuyo propósito fue homogeneizar el nivel de comprensión técnica entre los participantes respecto a los conceptos clave abordados en el taller (**Anexo 2.d**). A partir de este material, se abordaron en profundidad las Reglas de Control de Captura y los componentes que estructuran los Procedimientos de Manejo. Posteriormente, se presentó y explicó la RCC vigente adoptada por la OROP-PS. Para finalizar, se expusieron los resultados preliminares de la encuesta técnica, analizando las respuestas disponibles hasta la fecha de realización del taller, considerando que algunas fueron recibidas con posterioridad.
2. Focus group: Posterior a la exposición introductoria, se llevó a cabo una sesión de discusión guiada bajo la modalidad de focus group, liderada por el moderador Sr. Jorge Quezada (**Anexo 2.g**). La actividad inició con el planteamiento de tres preguntas diseñadas para promover la presentación de los participantes y estimular su participación activa en el taller:
 - ¿Qué explica que la biomasa actual sea similar a la observada en un sistema sin control en el pasado?
 - ¿Se repetirá la historia del jurel?
 - ¿Cómo aprovecho el momento actual sin alterar el estado de la pesquería?

Con el fin de promover la participación activa de todos los asistentes, se entregaron tarjetas individuales a cada participante para registrar sus respuestas a las preguntas planteadas durante la sesión. Posteriormente, las tarjetas fueron dispuestas en un panel, lo que permitió visualizar de manera conjunta las distintas perspectivas y facilitar una discusión grupal en torno a los principales puntos de acuerdo y desacuerdo. Bajo esta misma dinámica, el moderador presentó en un panel las siete preguntas de la segunda encuesta de opinión técnica, solicitando a los participantes responderlas individualmente con el propósito de ratificar, complementar o contrastar los resultados obtenidos previamente a través de la encuesta. Finalmente, el taller concluyó con una discusión plenaria orientada a sintetizar los aportes de los participantes, poniendo especial énfasis en las expectativas y proyecciones respecto al manejo futuro de la pesquería.

5.2.3. *Identificación de fuentes de incertidumbre*

- **Tercer taller teórico-práctico**

La actividad tuvo como propósito identificar las principales fuentes de incertidumbre presentes en el sistema biológico-pesquero, considerando que estas constituyen un componente fundamental para la definición y contraste de los modelos operativos a emplear. Este proceso permite garantizar que los procedimientos de manejo sean evaluados bajo un rango realista de escenarios, fortaleciendo la robustez de las recomendaciones de manejo. Para ello, el taller se estructuró en dos bloques:

1. Introducción: La sesión se inició con la presentación del programa del proyecto, con el fin de informar los plazos, las actividades y la entrega de resultados (**Anexo 2.e**). Al tratarse de la última instancia presencial, y considerando la baja convocatoria registrada en el taller anterior, se presentaron los principales resultados obtenidos en las sesiones previas, con el propósito de que los asistentes pudieran ratificar, corregir o complementar dichos avances. Posteriormente, se expusieron los objetivos de la sesión y se presentó un esquema ilustrativo con ejemplos de distintas fuentes de incertidumbre para seis ámbitos: (i) pesquería, (ii) datos, (iii) manejo, (iv) biología, (v) evaluación de stock y (vi) ambiente.
2. Focus group: Posterior a la exposición introductoria, se llevó a cabo una sesión de discusión guiada bajo la modalidad de focus group, liderada por el moderador Sr. Jorge Quezada (**Anexo 2.h**). La actividad se inició con el planteamiento de tres preguntas diseñadas para promover la presentación de los participantes y estimular su participación:
 - Indicar nombre, asociación o institución a la que pertenece y cuánto tiempo se encuentra vinculado al sector pesquero.
 - ¿Cuál es el principal reto o desafío para la competitividad sostenible de la pesquería?
 - ¿Cuál es el factor más incierto para alcanzar el reto o desafío?

Cada participante pasó al frente para responder las preguntas planteadas. Posteriormente, se dispusieron en un panel seis tarjetas correspondientes a los ámbitos definidos previamente, las cuales sirvieron de base para organizar y clasificar las posibles fuentes de incertidumbre. En este ejercicio, el moderador fue registrando las respuestas de los participantes en nuevas tarjetas, que incorporaba al panel para su visualización colectiva. Asimismo, todas las consultas que surgieron en la actividad fueron atendidas por el equipo del proyecto. Finalmente, el taller concluyó con una discusión orientada a sintetizar los aportes obtenidos, poniendo especial énfasis en aquellas fuentes de incertidumbre adicionales que no habían sido abordadas en los ámbitos iniciales.

5.3. Objetivo específico 2: Identificar, representar y evaluar explícitamente escenarios estratégicos alternativos de interés sectorial, fortaleciendo la posición nacional en el marco de la OROP-PS.

Este objetivo se abordó principalmente a partir de los acuerdos alcanzados en los talleres teóricos-prácticos con los distintos actores vinculados a la pesquería, cuyos aportes constituyeron la base para el diseño de las estrategias de manejo evaluadas en este estudio. Como referencia inicial, se consideraron además los avances desarrollados en el marco de la OROP-PS, particularmente en lo relativo a la identificación de fuentes de incertidumbre, dado que representan un componente clave en la definición y formulación de los modelos operativos (MO). En este sentido, se llevó a cabo una revisión bibliográfica de literatura científica nacional e internacional, incluyendo informes técnicos y documentos de trabajo presentados en el marco de las reuniones de la OROP-PS. Esta recopilación permitió elaborar un listado preliminar de fuentes de incertidumbre, el cual fue posteriormente complementado con los resultados obtenidos en el tercer taller teórico-práctico.

A nivel nacional, se revisaron los reportes finales de los proyectos ejecutados por IFOP (Payá et al., 2023; Payá & Zenteno, 2024), en los cuales se informó al CCT-J sobre los avances del grupo de Evaluación de Estrategias de Manejo de la OROP-PS. Este proceso se realizó mediante presentaciones en reuniones habituales del CCT-J y en dos talleres específicos sobre EEM. Para la revisión de antecedentes correspondientes a 2023, se consultó el Anexo F de Payá et al. (2023) y los Anexos 3, 4, 5, 6, 9 y 10 de Payá & Zenteno (2024). En cuanto a la información de 2024, se revisaron las siguientes presentaciones en el CCT-J:

- Payá. 2024: Resultados de la reunión anual de la Comisión-SPRFMO, realizada entre el 23 y el 26 de enero en Manta, Ecuador. CCT-J. Junio 2024.
- Payá. 2024: Avances en la Evaluación de Estrategias de Manejo (EEM) y análisis de las hipótesis asociadas a tasas de conectividad para la construcción de modelos operativos. CCT-J. Agosto 2024.
- Zenteno J. 2024. Avances en el desarrollo y primera aplicación de la EEM en la OROP-PS. Noviembre 2024.

Para recopilar información sobre el Grupo de trabajo de Evaluación de Estrategias de Manejo de la OROP-PS, se revisaron los reportes de distintas reuniones y talleres de inducción realizados por dicho grupo. A continuación, se indican los documentos considerados en la revisión:

- SC11-JM16: Conditioning of OMs and exploratory evaluation of candidate management procedures for SPRFMO JM (JMWG-MSE)
- SPRFMO SC10: 10th Scientific Committee meeting report. 86 p. Wellington, New Zealand 2022
- Report on SPRFMO Management Strategy Evaluation Workshop for Jack Mackerel
- SPRFMO, 2014: Stock neozelandés-australiano, transzonal con respecto a alta mar y a las ZEE de Nueva Zelanda y Australia.
- OROP-PS, en su 11ª Sesión (SWG-11)
- SC11 – JM06_rev1: Effort Creep in the JM south central fleet in Chile
- ANEXO K (COMM02-Report), 2014 Ecuador
- Jack Mackerel MSE Workshop – REPORT
- 3.er Taller de EEM de jurel en la OROP-PS (Santiago, Chile, febrero de 2025)

5.4. Objetivo específico 3: Implementar modelo(s) operativo(s) alternativo(s) incorporando las fuentes de incertidumbre identificadas en el marco de la OROP-PS y aquellos de interés nacional, a través de la plataforma OpenMSE.

5.4.1. Fuentes de incertidumbre consideradas

A partir del conjunto amplio de fuentes de incertidumbre identificadas en el tercer taller teórico-práctico (ver sección 6.1.3) y en la revisión de antecedentes (ver sección 6.2), la **Tabla 3** resume la clasificación de aquellas variables que fueron explícitamente incorporadas en el diseño experimental de los MO frente a las que quedaron diferidas para etapas posteriores de desarrollo:

Tabla 3. Matriz de trazabilidad y justificación técnica de las fuentes de incertidumbre en la configuración de los Modelos Operativos (MO).

Fuente de Incertidumbre	Estado de Implementación	Nivel / Configuración en OpenMSE	Justificación / Criterio Técnico
Nivel de Reclutamiento (R0)	Implementada	3 MO alternativos (MO1 = 0.5 R0, MO2 = 1.0 R0, MO3 = 1.5 R0) con autocorrelación (AC = 0.67).	Constituye el principal motor biológico de las fluctuaciones históricas de biomasa de jurel en el Pacífico Sur.
Variabilidad en Selectividad	Implementada	Caminata aleatoria anual (<i>random walk</i>) en los parámetros de selectividad de las 4 flotas durante la proyección.	Captura cambios operacionales en las flotas e inestabilidades de disponibilidad a corto y mediano plazo.
Incertidumbre de Observación	Implementada	CV = 15% en índices de abundancia (lognormal) y tamaño muestral efectivo $n = 100$ en datos de composición de edad.	Simula el ruido de muestreo realista de los cruceros acústicos y la información de desembarques comerciales.
Estructura de Stock (H1 vs. H2)	No Implementada (<i>Pendiente</i>)	Se supuso un stock único en el Pacífico Sur (Hipótesis H1 de la OROP-PS).	La arquitectura base de RCM en OpenMSE opera prioritariamente bajo un esquema mono-área. La hipótesis de dos stocks (H2) requiere acoplamiento espacial multicapa diferido para la Fase 2.
Productividad/ Steepness (h)	No Implementada (<i>Fija</i>)	Valor fijo de $h = 0.65$ (alineado con la evaluación oficial de la OROP-PS).	Se prefirió mantener fija la inclinación de la relación stock-recluta para no confundir su efecto con las variaciones explícitas impuestas en R0.

Tabla 3. Continuación.

Fuente de Incertidumbre	Estado de Implementación	Nivel / Configuración en OpenMSE	Justificación / Criterio Técnico
Mortalidad Natural (M)	No Implementada (<i>Fija</i>)	Valor constante de $M = 0,28 \text{ año}^{-1}$ para todas las edades.	Evaluaciones exploratorias mostraron alta sensibilidad al variar M conjuntamente con R_0 , por lo que se priorizó la estabilidad numérica del acondicionamiento.
Efectos Ambientales Directos	No Implementada (<i>Indirecta</i>)	Representados indirectamente mediante las desviaciones de reclutamiento interanual.	Falta de series predictivas validadas de índices oceanográficos a largo plazo para forzar directamente la ecuación de supervivencia.

La decisión metodológica de focalizar el acondicionamiento final de los MO en un eje tridimensional de reclutamiento, frente al abanico más amplio de incertidumbres identificadas, se sustenta en tres pilares biológicos, pesqueros y de modelación:

- Dominancia histórica de los cambios de régimen de reclutamiento: La evidencia biológica acumulada en las evaluaciones de stock del Comité Científico de la OROP-PS (SPRFMO, 2022–2025) muestra consistentemente que la dinámica poblacional del jurel en el Pacífico Sur está gobernada por periodos o regímenes alternados de productividad de reclutamiento. Las grandes fluctuaciones en la biomasa de la pesquería, como el colapso de la biomasa en la década de 2000 y su posterior e intensa recuperación a partir del año 2015, han sido impulsadas fundamentalmente por el surgimiento de cohortes fuertes o por periodos prolongados de bajo reclutamiento, más que por variaciones en la mortalidad natural o cambios en los parámetros de crecimiento.
- Evaluación del desempeño y robustez de las Reglas de Control de Captura (RCC): Desde la perspectiva de una EEM, el objetivo principal es probar la capacidad de los MP para responder oportunamente ante periodos de bajo reclutamiento (MO1) o para evitar sobrepesca de oportunidad en ciclos de alta abundancia (MO3). Aislar la variabilidad en R_0 permitió testear directamente si los algoritmos de los MP (modelo-basados y empíricos) son capaces de ajustar las CTP resguardando la sustentabilidad de la biomasa desovante.
- Factibilidad computacional y estabilidad numérica en OpenMSE: Construir una matriz factorial completa incorporando simultáneamente incertidumbre en estructura de stocks (H_1 vs. H_2), gradientes de mortalidad natural (M), variabilidad de h y parámetros de

crecimiento habría generado una grilla de más de 108 modelos operativos. En la etapa actual del RCM en OpenMSE, combinaciones de alta complejidad derivan en severos problemas de estimación de la matriz hessiana y fallas de convergencia. Por lo tanto, se optó por un diseño ortogonal enfocado en la mayor fuente de incertidumbre biológica (R_0), dejando las estructuras espaciales complejas (H2) como trabajo prioritario para las fases subsiguientes del proyecto.

5.4.2. Modelos operativos (MO) implementados

Se definieron tres modelos operativos, correspondientes a niveles de reclutamiento bajo (MO1), medio (MO2) y alto (MO3), en relación con el modelo stock-recluta de Beverton-Holt ajustado para el período 2000-2022 (**Tabla 4**). El nivel medio se generó mediante un remuestreo paramétrico desde una distribución lognormal con media, desviación estándar y coeficiente de autocorrelación con un año de desfase ($AC=0.67$), estimados a partir del logaritmo de las desviaciones del período 1980 a 2025 (**Figura 7**). Para representar escenarios de menor y mayor productividad, las desviaciones fueron multiplicadas por 0.5 y 1.5, respectivamente.

La verificación de las proyecciones bajo un esquema determinista (sin desviaciones de reclutamiento) y en ausencia de pesca mostró que los niveles recientes de reclutamiento se encuentran próximos al reclutamiento máximo, lo que se traduce en trayectorias proyectadas prácticamente constantes (**Figura 8**).

Tabla 4. Configuración de los modelos operativos (MO) utilizados en la EEM, considerando distintos niveles de reclutamiento.

Modelo	Nivel	Factor sobre R_0	Supuesto
MO1	Bajo	0.5	Menor productividad
MO2	Medio	1.0	Productividad base (promedio histórico)
MO3	Alto	1.5	Mayor productividad

- **Variabilidad y sesgo**

Se utilizó la función “Shortcut” del paquete SAMtool, que se describe como una función (clase Assessment) que emula una evaluación de stock mediante el muestreo de la biomasa, abundancia y mortalidad por pesca del modelo operativo (con error de observación, autocorrelación y sesgo) en lugar de ajustar un modelo. Para el jurel se utilizó la biomasa con un error de observación con un $CV=0,15$, una autocorrelación= 0.7 y sin sesgo (=1).

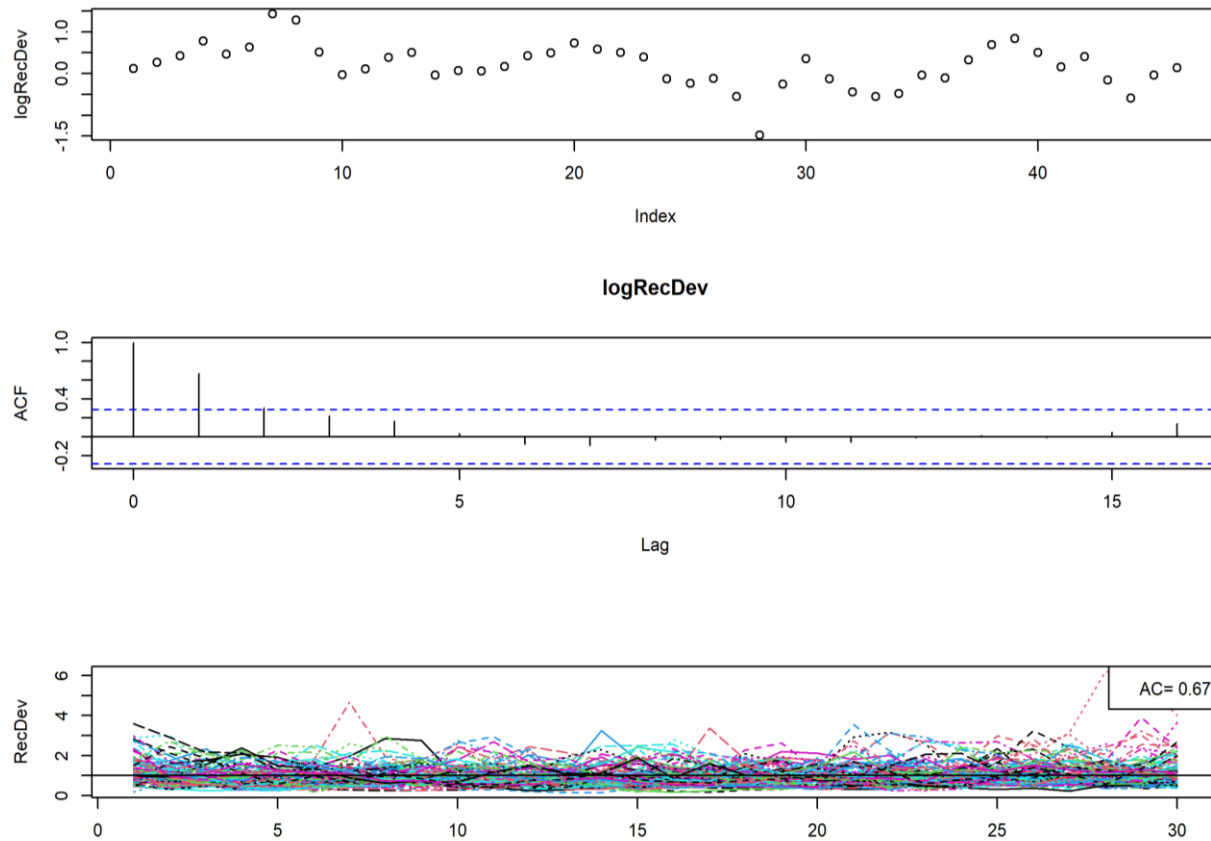


Figura 7. Serie logarítmica de las desviaciones de reclutamiento (arriba), función de autocorrelación (centro) y simulaciones de las desviaciones en su escala natural para los 30 años de proyección (abajo).

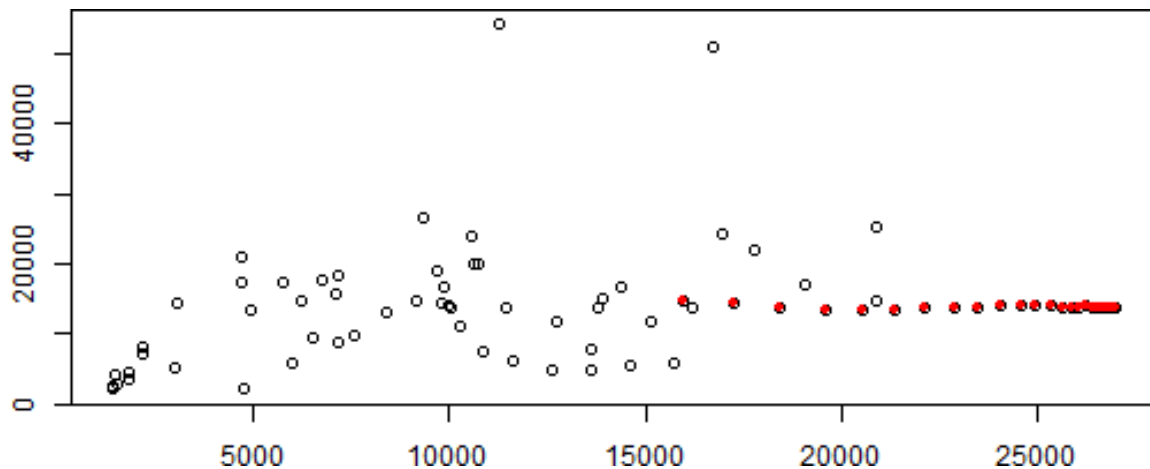


Figura 8. Relación histórica entre la biomasa desovante (eje horizontal) y los reclutas (eje vertical) y la proyección determinista (sin desviaciones del modelo stock-recluta de Beverton-Holt) de los reclutamientos futuros (puntos rojos).

- **Supuestos de la dinámica en los MO**

- Error de proceso de reclutamiento: Durante el taller técnico se discutió la necesidad de modelar cohortes de mayor tamaño en comparación con la media del período histórico, y también de menor tamaño, debido a que durante el período histórico es posible distinguir diferentes niveles poblacionales producto de la entrada de importantes cohortes, como las registradas durante los años 1986-87 y 2018-19.

El error del proceso del reclutamiento, definido como la desviación estándar de las desviaciones de reclutamiento en el espacio logarítmico. Para cada simulación, se extrae un único valor de una distribución uniforme, especificada por los límites superior e inferior y se agrega el nivel de autocorrelación con retraso de menos uno a las desviaciones del logarítmico del reclutamiento. En la **Figura 9** se observan los diferentes escenarios configurados con respecto al error de proceso del reclutamiento.

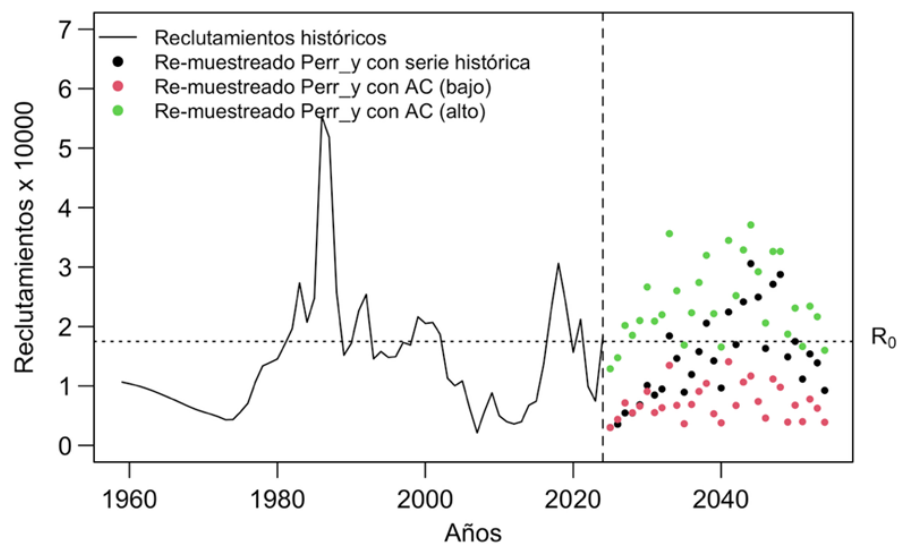


Figura 9. Reclutamiento del período histórico y de la proyección, mostrando el comportamiento bajo los supuestos de reclutamiento: a) período histórico (puntos negros), b) bajos (puntos rojos) y c) altos (puntos verdes).

- Parámetros de historia de vida: En todas las proyecciones de los diferentes modelos operativos (MO1, MO2 y MO3) la ojiva de madurez fue la misma que la utilizada en el modelo base de la evaluación de stock (**Figura 10**). Los pesos a la edad correspondieron a los empleados en dicho modelo base (**Figura 11**). Se consideró una mortalidad natural (M) constante en el tiempo y la edad con un valor de $0,28 \text{ año}^{-1}$.

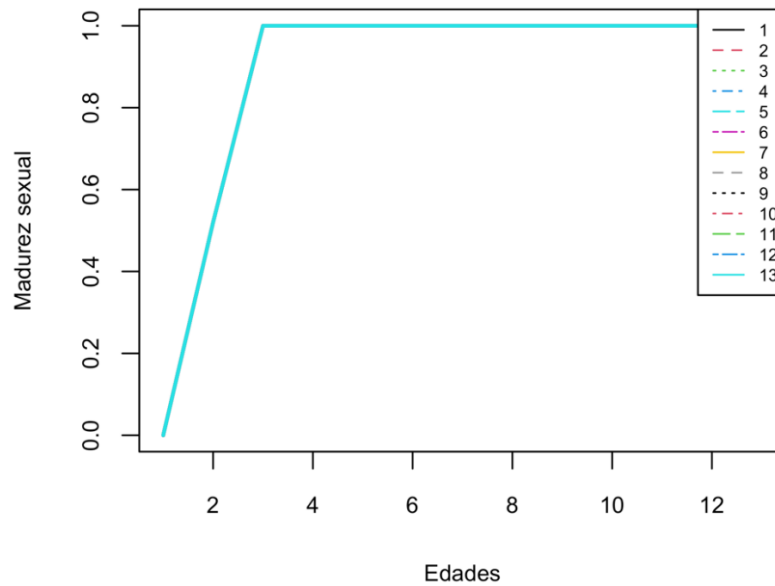


Figura 10. Ojiva de madurez empleada en las proyecciones para los diferentes modelos operativos condicionados a partir del actual modelo base de evaluación de stock para el jurel.

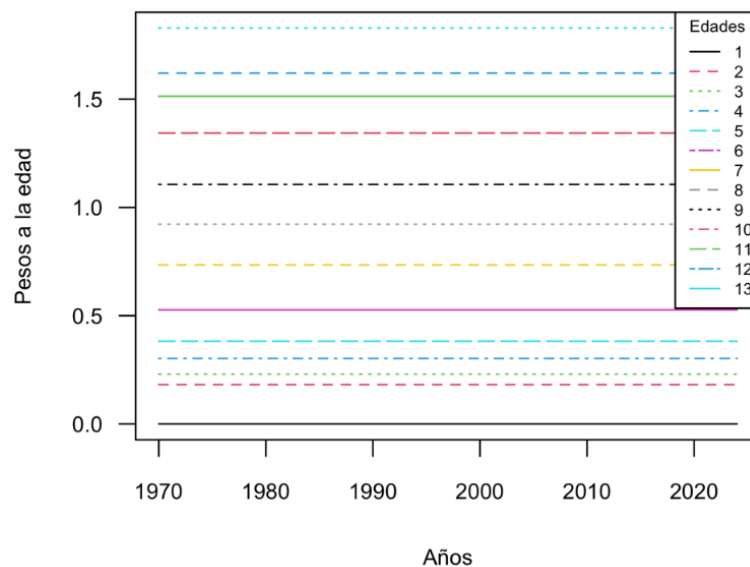


Figura 11. Pesos a la edad empleados en las proyecciones para los diferentes modelos operativos condicionados a partir del actual modelo base de evaluación de stock para el jurel.

- iii. Selectividad: Durante la proyección del stock, para todos los modelos operativos, se considera la selectividad por flota (4) del último año, que es estimada por el actual modelo de evaluación. Para cada selectividad, correspondiente a cada flota en particular, se incluye una caminata aleatoria durante la proyección del stock (**Figura 12**).

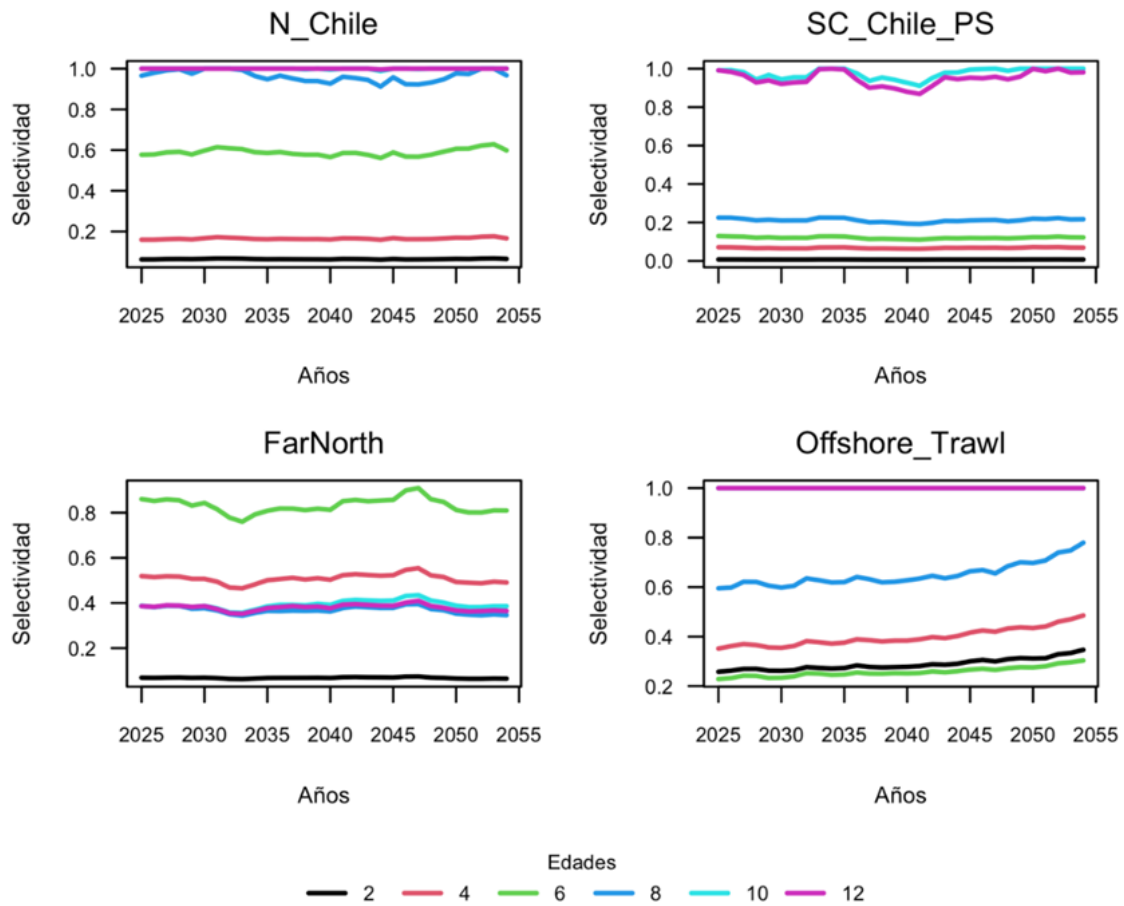


Figura 12. Implementación de la selectividad variable en el tiempo a través de una caminata aleatoria para cada una de las cuatro flotas durante el período de proyección del stock. Se muestran las selectividades por edades y por flota para la primera simulación.

- iv. Error de implementación: Durante el taller técnico, se acordó no incluir el error de implementación debido a su aparente baja magnitud informada en la OROP-PS.
- v. Error de observación: El error de observación en los datos de captura de las 4 flotas y los 7 índices de abundancia se obtiene a partir de los residuales del condicionamiento de los diferentes modelos operativos. Los tamaños muestrales para simular los datos de composición de edades de las capturas de las 4 flotas y de los índices de abundancia provenientes de los cruceros acústicos corresponden a 100 para representar un nivel de muestreo consistente con el programa de monitoreo.

5.4.3. Condicionamiento de los modelos operativos

El primer paso consistió en codificar funciones específicas para generar MO compatibles con OpenMSE, respetando la estructura de clases y objetos de MSEtool, SAMtool y DLMtool. Estos paquetes forman parte de OpenMSE, desarrollado en la plataforma R (R Core Team, 2023):

- *MSEtool*: Corresponde al núcleo de OpenMSE y permite construir modelos operativos y simular la dinámica de una pesquería (Hordyk et al., 2023).
- *SAMtool*: Permite condicionar modelos operativos con datos y aplicar métodos de evaluación intensivos en datos (Huynh et al., 2023).
- *DLMtool*: Permite aplicar estrategias de manejo en contextos con limitaciones de datos (Carruthers & Hordyk, 2018).

El flujo de trabajo de OpenMSE requiere integrar la biología del jurel (Stock), las características operativas de las flotas (Fleet), el proceso observacional de datos o su generación (Obs), y la implementación de las recomendaciones de manejo (Imp), como se detalla en el subflujo destacado en la **Figura 13**.

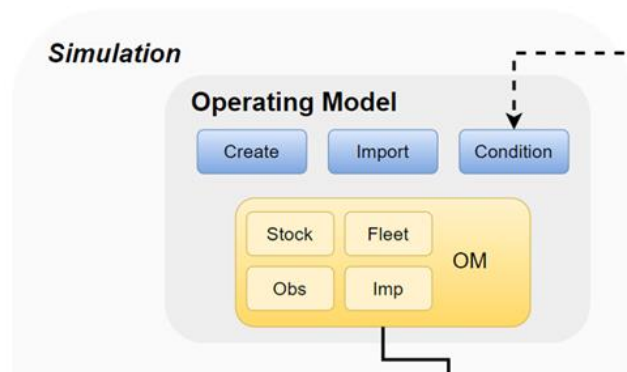


Figura 13. Componentes estructurales de un modelo operativo que requieren condicionamiento para desplegar simulaciones (Fuente: OpenMSE; <https://openmse.com>).

En este contexto, el condicionamiento de los modelos operativos constituye una etapa clave para asegurar la coherencia entre la dinámica poblacional simulada y la información empírica disponible. Para ello, se emplearon la configuración del modelo, los datos y los resultados de la última evaluación de stock realizada por el SC13, con datos hasta el 2025 (modelo h1_1.14 de JJM). Esta evaluación incorporó modificaciones relevantes orientadas a obtener una estimación más precautoria, entre las que destacan: i) mayor flexibilidad en la selectividad, ii) reducción de la ponderación de las estructuras del último año, iii) inclusión explícita de un período de baja productividad (2000–2022) en la relación stock–reclutamiento, iv) correcciones al índice de la flota offshore, y v) eliminación de los primeros años del crucero acústico del norte de Chile.

Para acceder a esta información, se programó en R Markdown la rutina “Get_Var_MO_OpenMSE.Rmd”, la cual se presenta documentada en el **Anexo 4.a**. Los principales pasos de esta rutina son los siguientes:

- Configuración del directorio de trabajo y de los subdirectorios que contienen la información (archivos de datos, configuración y resultados) de la última evaluación realizada en 2025
- Uso del paquete `jjmR` para la lectura y verificación de la información
- Generación del objeto “`mod_current`”, en el cual se almacena la información
- Ejemplos de lectura de datos biológicos y pesqueros, así como de los principales estimadores y resultados del modelo
- Lectura mediante funciones del paquete `jjmR`, por ejemplo, la función `tidy_JJM`

El modelo operativo (MO) reprodujo adecuadamente las biomazas desovantes y abundancias a la edad estimadas por el modelo de evaluación JJM (**Figura 14** y **Figura 15**). Asimismo, ajustó adecuadamente el modelo stock-recluta de Beverton-Holt para el período 2000-2022, replicando los estimados de $h=0,65$ y $\log(R_0)= 9,7$ del modelo `h1_1.14` de JJM (**Figura 16**). Se destaca que los códigos en R de OpenMSE fueron modificados y adaptados para su aplicación en la pesquería de jurel. Como base se utilizaron los códigos implementados por el Dr. Quang Huynh (Bluematter) en la EEM de merluza del sur (Contreras et al., 2025), así como los códigos desarrollados por la Dra. Robyn Forrest durante el taller técnico.

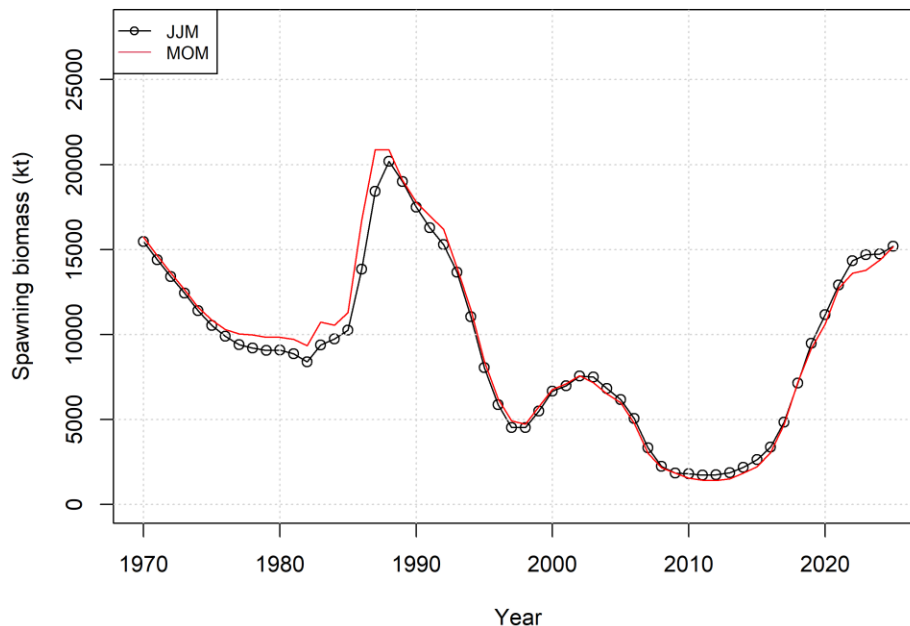


Figura 14. Comparación de la biomasa desovante estimada por el modelo operativo actualizado hasta el 2025 (MOM) y el modelo de evaluación de stock del jurel (JJM).

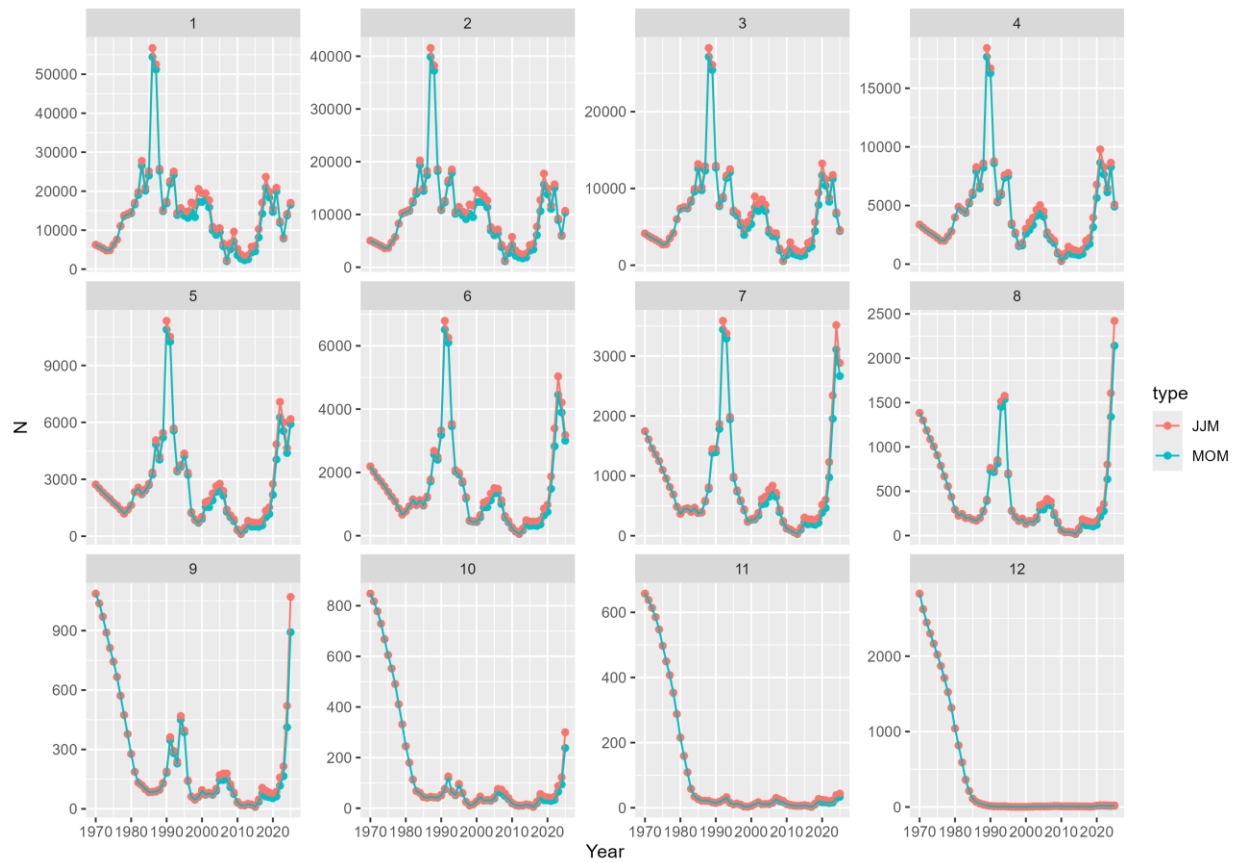


Figura 15. Comparación de las abundancias por grupo de edad estimadas por el modelo operativo actualizado con datos hasta el 2025 (MOM) y el modelo de evaluación de stock del jurel (JJM).

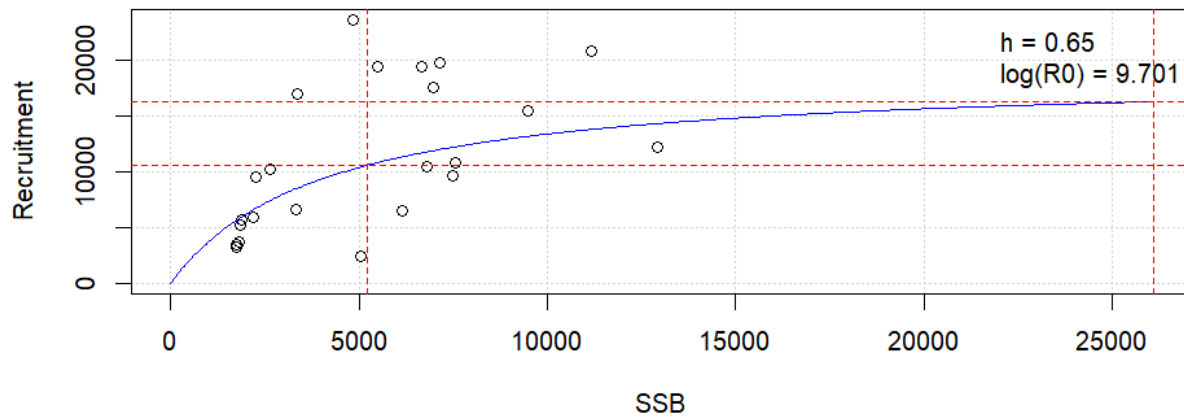


Figura 16. Ajuste del modelo stock-recluta de Beverton-Holt a las estimaciones de biomasa desovante y reclutamiento del período 2000-2022 generadas por el modelo operativo actualizado con datos hasta el 2025 (MOM).

5.4.4. Modelo de condicionamiento rápido (RCM)

a) Implementación de rutinas para la creación de modelos operativos (MO) en OpenMSE

Se desarrolló un conjunto de rutinas integradas en un script único, el cual permite regenerar el MO a partir de “mod_current” y de los archivos de entrada del JJM, garantizando una trazabilidad completa.

- i. Inician un objeto MO vacío: Se asigna la estructura de edades, los años históricos, las unidades, los parámetros por flota y los parámetros biológicos. Esto incluyó:
 - número máximo de edades (Amax),
 - años históricos (nyears),
 - edad de reclutamiento,
 - edad de madurez,
 - parámetros de crecimiento de von Bertalanffy,
 - relación talla–peso,
 - mortalidad natural (M), fija o con rango de incertidumbre,
 - parámetros de reclutamiento (α , β o h),
 - unidades de biomasa y captura (t).
- ii. Asignan la estructura de flotas y cruceros: En este caso, se consideraron dos configuraciones:
 - MO de una flota, utilizado para pruebas iniciales y para evaluar la estabilidad numérica del RCM.
 - MO de cuatro flotas, alineado con la estructura del JJM utilizado por la OROP-PS, que diferencia: flota norte de Chile, flota centro-sur de Chile, flota de Perú y flota Offshore (internacional).
- iii. Incorporan la estructura de bloques de selectividad: Se replica la configuración del modelo de evaluación. Para esto, se generaron matrices de selectividad por edad–año para cada flota e índice, respetando las transiciones definidas en el JJM (p. ej., cambios en 2005 para acústica SC, cambios en 2012 y 2016 para acústica norte, etc.).
- iv. Definen las relaciones funcionales del MO: Estas incluyen la mortalidad por pesca, el esfuerzo, la probabilidad de captura por edad, la mortalidad natural y la dinámica poblacional. Estas funciones representan la base del comportamiento del MO en modo de simulación.

b) Estandarización e integración de datos del modelo JJM

El modelo JJM utilizado por la OROP-PS constituye una fuente completa de información histórica sobre capturas, selectividad, parámetros biológicos e índices de abundancia. Sin embargo, su estructura interna difiere sustancialmente del marco de OpenMSE. Por ello, fue necesario implementar un proceso sistemático de mapeo y transformación de los datos, incluyendo:

i. Historial de capturas:

- Se extrajeron las capturas por flota desde: `mod_current[[1]]$data$Fcaton[,1:4]`
- Se asignaron a: `RCMdata@Chist[,1:4]`
- Se integraron además los errores estándar de las capturas para la verosimilitud: `RCMdata@C_sd`

ii. Pesos a la edad:

- Se procesaron los arreglos: `mod_current[[1]]$data$Fwtatage` y `mod_current[[1]]$data$Iwtatage`
- Se reestructuraron todas las flotas e índices en: `RCMdata@C_wt` y `RCMdata@I_wt`
- Se extendió el último año para cumplir la convención de OpenMSE de incluir un año adicional de proyección inmediata.

iii. Índices de abundancia y sus errores: Se integraron 7 índices: acústica centro-sur, acústica norte, CPUE Chile, DEPM, acústica Perú, CPUE Perú y CPUE offshore. En el caso de la implementación del RCM y MO simplificado con una flota, solo se consideraron los índices del crucero acústico del norte de Chile y la CPUE de Chile. Cada serie fue reorganizada según sus bloques de selectividad y parámetros de capturabilidad (q). El resultado fue una matriz expandida (hasta 11 columnas) que reproduce los bloques definidos en el JJM.

iv. Composición por edad: Se procesaron y alinearon las composiciones por edad de las flotas y los cruceros. El mapeo se realizó hacia los siguientes objetos:

- `RCMdata@CAA`
- `RCMdata@IAA`
- `RCMdata@CAA_nsamp`
- `RCMdata@IAA_nsamp`

v. Parámetros biológicos y de proceso: Parámetros provenientes del JJM (crecimiento, talla-peso y madurez), complementados con rangos de incertidumbre para: la mortalidad natural, la productividad (h) y la dispersión del reclutamiento. Estos parámetros se integraron en `StockPars`, el cual es leído automáticamente por el RCM.

c) Configuración del modelo de condicionamiento rápido (RCM)

- i. Definición del modo de condicionamiento: Se optó por condicionar sobre capturas históricas, aplicando el enfoque Stock Reduction Analysis (SRA), el cual fuerza al modelo a reproducir las trayectorias de captura observada. Este enfoque permite: reconstruir la mortalidad por pesca por flota, estimar trayectorias de biomasa históricas verosímiles y compatibilizar la selectividad, la capturabilidad y los índices de abundancia con un único historial.
- ii. Compilación del objeto RCMdata: Se creó un objeto S4 que contiene todas las matrices y parámetros requeridos: Chist, C_sd, Index, I_sd, CAA, IAA, C_wt, I_wt, t (años históricos), maxage, n_fleets y n_indices.
- iii. Ejecución del RCM: El RCM ejecuta iterativamente el ajuste del MO utilizando las estructuras definidas. Con el MO y los datos establecidos, se ejecuta la función RCM, por ejemplo:

```
Fi<- fit<- RCM(
  StockPars,
  RCMdata,
  selectivity = selectivity,
  s_selectivity = s_selectivity,
  map = map,
  start = start,
  prior = list(q = q_prior),
  maxF = 5,
  control = list(iter.max = 2e+06, eval.max = 4e+06),
  pbc_recdev = rep(0, nyears)
)
```

El RCM muestrea valores de los parámetros biológicos inciertos (p.ej., h , M , parámetros de crecimiento) y ajusta un modelo estadístico de captura a la edad (“catch-at-age”) en cada simulación, forzando que la captura pronosticada coincida con la observada. Es decir, extrae al azar un conjunto de parámetros iniciales de las distribuciones a priori y luego estima las mortalidades históricas que reconstruyen las series de captura. Así, se genera un conjunto de escenarios de agotamiento histórico (depleciones) compatibles con los datos y la incertidumbre biológica.

El enfoque RCM no busca un solo valor puntual, sino restringir el espacio de parámetros plausibles. En contraste con un ajuste puntual, se explora una distribución de posibles MO. Como

señalan Walters et al. (2006) para el análisis de reducción de stock (“stock reduction analysis” o SRA), se estudia qué combinaciones de mortalidad histórica y reclutamiento explicarían los datos observados. Por ejemplo, si se muestrea n_{sim} valores de la steepness h en el MO (p.ej., de una distribución uniforme entre 0.6–0.9), el RCM ajusta el modelo n_{sim} veces, cada vez condicionado al valor muestreado de h . Esto produce n_{sim} réplicas de parámetros y trayectorias de biomasa compatibles, enriqueciendo el MO con incertidumbre incorporada. En el ejemplo de jurel, podrían usarse distribuciones previas basadas en estudios regionales. Taylor et al. (2024) incorporan los parámetros de crecimiento y h como parámetros a priori multivariados en RCM, generando así un espectro de posibilidades para R_0 , biomasa final, entre otros.

- iv. Criterios de convergencia: Para la evaluación del proceso de condicionamiento rápido (RCM) en la plataforma OpenMSE, se establecieron criterios estrictos de convergencia orientados a garantizar la validez matemática de los parámetros estimados y la estabilidad de los modelos operativos resultantes. Se definió como criterio primario de convergencia que la matriz de información de Fisher (Hessiano) fuera positiva definida y que el gradiente máximo de la función de log-verosimilitud total fuera inferior a 10^{-4} .
- v. Parámetros actualizados por el MO: La salida de RCM es un MO actualizado con parámetros recalibrados. Entre los más importantes están el reclutamiento virgen R_0 (si se usó captura histórica), la depleción final D y las series de mortalidad por pesca históricas. El slot $OM@D$ guarda la depleción estimada, definida como la razón de biomasa desovante terminal virgen.

También se ajustan las desviaciones de reclutamiento anuales ($OM@cparsPerry$) y su autocorrelación ($OM@AC$), de forma que la edad y la biomasa iniciales concuerden con la depleción estimada. Además, el RCM estima los parámetros de selectividad efectivos. Dado que en el jurel se dispone de composiciones por edad, el RCM estima los parámetros de selectividad, y ya que se cuenta con información de múltiples flotas, calcula una selectividad agregada por edad basada en las proporciones de mortalidad entre flotas.

En resumen, los outputs clave del RCM incluyen el nivel histórico de captura (o esfuerzo) estimado para cada año ($OM@EffLower/Upper$ y $OM@cpars$Find$), la nueva estimación de R_0 (si aplica) y la distribución de reclutamientos pasados. Si sólo se condicionó a esfuerzo sin series de captura, el modelo es independiente de escala y $OM@R_0$ permanece fijo, indicando que no hay información para estimar el tamaño absoluto inicial del stock. Con los nuevos parámetros en el MO se puede comprobar la calidad del ajuste. Por ejemplo, `plot(output, compare = TRUE)` grafica la serie histórica reconstruida frente a los datos proporcionados, mostrando casi identidades si la modelación fue consistente. El

paquete también genera un informe “Markdown” con histogramas de los parámetros ajustados, ajustes del modelo a los datos, reclutamientos predichos y comparaciones entre MO y RCM. Por ejemplo, se obtienen gráficos de los desvíos de reclutamiento, curvas de crecimiento estimadas, y trayectorias de biomasa y captura ajustadas. Este diagnóstico facilita ver si existen parámetros extremos o escenarios no plausibles (por ejemplo, tasas de pesca históricas muy altas que no se traducen en crisis poblacional alguna, o viceversa).

Nota: El RCM es un modelo de área única, sin modelar descartes ni dinámicas espaciales. Se asume que las capturas históricas incluyen todos los retiros (captura desembarcada más descartes) y que el stock es homogéneo. Si se requiere más complejidad (estructuras espaciales, inmigración, descartes específicos), estas se pueden introducir luego manualmente en el MO final antes de las simulaciones de manejo, replicando esas dinámicas bajo un esquema de dos áreas bien mezcladas.

- vi. Indicadores del stock generados por el RCM: El modelo generado con el RCM se puede visualizar usando la función `plot(RCM, ...)`, de la siguiente forma:

```
plot(fit, dir = "RCM", s_name = s_name, f_name = c("NChile", "ChileCS",
"FarNorth", "Offshore"))
```

Esta función devuelve un reporte en formato Markdown que incluye:

- Histogramas de los parámetros actualizados en el objeto MO.
- Ajustes del RCM a los datos entregados.
- Resultados del RCM, por ejemplo, el reclutamiento predicho.
- Ajustes de una corrida adicional del modelo RCM a los valores promedio de los parámetros de historia de vida entre simulaciones (solo cuando se ejecuta `RCM(..., mean_fit = TRUE)`).
- Comparaciones entre el período histórico del MO actualizado y el estimado por el RCM.

El proceso optimiza simultáneamente la mortalidad por pesca histórica, los niveles iniciales de agotamiento, los parámetros de capturabilidad y las desviaciones anuales de reclutamiento. El modelo resultante (`RCM_out$OM`) constituye el MO condicionado.

- vii. Validación preliminar del MO condicionado: Luego del ajuste, se procedió a evaluar la coincidencia entre la captura observada y la predicha por flota, el comportamiento de los índices (ajuste lognormal), el realismo en la estructura de edades (composiciones predichas) y la coherencia del nivel de biomasa actual con el modelo JJM.

5.4.5. Taller técnico para la implementación de OpenMSE

La actividad fue programada para desarrollarse en el transcurso de una semana, con el propósito de abordar, bajo el asesoramiento de la experta internacional Dra. Robyn Forrest, las siguientes etapas: (i) identificar y leer resultados del modelo JJM, (ii) identificar, desarrollar e implementar modelos operativos, (iii) implementar procedimientos de manejo, en la forma de proyecciones desde los modelos operativos, y (iv) ejecutar el procedimiento de condicionamiento rápido (RCM) incluido en el entorno OpenMSE. Para ello, se estableció previamente una agenda de trabajo (**Tabla 5**).

Como preparación para el taller técnico, el equipo de investigación PUCV-IFOP desarrolló una serie de actividades orientadas a facilitar el uso de los datos pesqueros empleados por el modelo de evaluación de jurel en la OROP-PS (JJM), así como la organización y estructuración de los resultados del modelo JJM para su utilización en la plataforma OpenMSE. Estas actividades incluyeron: (i) cuatro talleres internos de condicionamiento e inducción al uso de la plataforma OpenMSE, (ii) procesos de consulta con la experta internacional respecto de la utilización de resultados provenientes del modelo JJM y (iii) codificación de rutinas en R para el condicionamiento de los datos de la pesquería y resultados del modelo JJM.

Tabla 5. Agenda de trabajo del taller técnico para la implementación de la plataforma OpenMSE.

Día	Jornada	Tema	Presentaciones
Lunes 18 Agosto	10:00 am - 11:30 am	Preparativos Adopción Agenda	Equipo
	12:00 am - 03:00 pm	Ajustes en Condicionamiento Escenarios de MO	Equipo F Espíndola / J. Zenteno
Martes 19 Agosto	10:00 am - 11:30 am	Codificación y pruebas de MO Definición MO	Equipo
	12:00 am - 03:00 pm	Conjunto de MO Implementación de MO relevantes	Equipo / C Canales
Miercoles 20 Agosto	10:00 am - 11:30 am	PM Candidatos	
	12:00 am - 03:00 pm	Pruebas en Proyecciones (Pesos medios y selectividades)	Equipo / I Payá
Jueves 21 Agosto	10:00 am - 11:30 am	Codificación y pruebas de PM	Equipo
	12:00 am - 03:00 pm	PM e Indicadores de desempeño	Equipo / Robyn Forest
Viernes 29 Agosto	01:00 am - 03:00 pm	Discusión final	Equipo / Robyn Forest

5.5. Objetivo específico 4: Testear la robustez de estrategias de manejo alternativas a la actualmente vigente, utilizando Procedimientos de Manejo empíricos y modelo-basado para la pesquería del jurel.

5.5.1. Procedimientos de Manejo (MP) modelo basado

Se definieron 10 procedimientos de manejo (MP) basados en la combinación de reglas de control de captura (RCC), el uso de estabilizadores, niveles de captura objetivo/referencia y el mecanismo de Banking and Borrowing (B&B) (**Tabla 6**).

- **Reglas de control de captura (RCC)**

Se consideraron 4 RCC: i) RCC1, similar al procedimiento de manejo actual, pero con una captura mínima de 270 mil t; ii) RCC2, una regla tipo rampa; iii) RCC3, una regla lineal con mortalidad por pesca constante y iv) RCC4, una regla doble potencial (**Tabla 7** y **Figura 17**). Esta última recoge la idea de aumentos graduales de la cuota bajo condiciones de biomasa superiores al nivel objetivo, y reducciones aceleradas en condiciones de sobreexplotación, sujeta a una banda de estabilización.

Los MP finalmente evaluados se definieron en coherencia con las preferencias expresadas por los participantes en los talleres y encuestas. En particular, se priorizó evitar medidas extremas, como el cierre total de la pesquería ante escenarios de colapso, privilegiándose en su lugar el mantenimiento de una captura mínima, así como la implementación de ajustes interanuales graduales en la cuota. En consecuencia, se descartaron otras RCC que no representaban adecuadamente estas preferencias, como aquella del tipo escalonada y otra lineal 1:1 (ver punto 6.1.2; **Figura 26**).

- **Banking and Borrowing (B&B)**

El mecanismo de préstamo y ahorro se consideró como una opción en condiciones de plena explotación ($B > SSB_{msy}$), con un límite de hasta un 10% de anticipo de la cuota, valor que fue mayoritariamente respaldado por los participantes durante los talleres y encuestas. El script asociado a esta medida establece que la CBA actual está compuesta por un aumento del 10% de la CBA recomendada, menos la misma proporción de la CBA del año inmediatamente anterior. El código empleado es:

```
if (Best[t-1]/SSBmsy[t]>1) {CBA[t]=CBA[t]*1.1-0.1*CBA[t-1]}
```

Tabla 6. Configuración de 10 procedimientos de manejo (MP) basados en 4 reglas de control de captura (RCC) para la evaluación de la pesquería de jurel.

Procedimiento de manejo	RCC	% Estabilizador (subida-bajada)	Captura objetivo (miles t) CBAREf	B&B	Descripción
MP1	RCC1	25-15	-	no	MP2 + cambio de estabilizador
MP2	RCC1	15-15	-	no	Procedimiento actual + captura mínima de 270 mil t.
MP3	RCC1	15-15	-	10%	MP2 + Efecto del B&B
MP4	RCC2	20-15	1500	no	Cambio de RCC y CBAREf
MP5	RCC2	20-15	2000	no	MP4 + Cambio de CBAREf
MP6	RCC3	20-15	1500	no	Cambio de RCC y CBAREf
MP7	RCC3	20-15	2000	no	MP6 + Cambio de CBAREf
MP8	RCC4	20-15	1500	no	Cambio de RCC y CBAREf
MP9	RCC4	20-15	2000	no	MP8 + Cambio de CBAREf
MP10	-	-	1500	no	Captura constante

Tabla 7. Códigos en R para la implementación de las cuatro Reglas de Control de Capturas (RCC) para la pesquería del jurel. La función `Catch( )` devuelve dos estimaciones de CBA (`Fmsy` y `Factual`). La función `Estabiliza( )` corrige la CBA conforme a la banda de estabilización. `Cref` es el valor de `MSY`.

Regla (RCC)	Código (R)
RCC1 (Base)	<pre> if (Best[t-1]/B0<0.08) {CBA[t]=270} if (Best[t-1]>Blim && Best[t-1]/SSBmsy[t]<0.8) { CBA[t]=min(Catch(Np,Sel[t,],M,W,Fmsy[t],Fy[t-1]))} if (Best[t-1]/SSBmsy[t]>0.8 && Best[t-1]/SSBmsy[t]<1.0) { CBA[t]=min(Catch(Np,Sel[t,],M,W,Fmsy[t],Fy[t-1])) CBA[t]=Estabiliza(CBA[t-1],CBA[t],banda)} if (Best[t-1]/SSBmsy[t]>1.0) { CBA[t]=Catch(Np,Sel[t,],M,W,Fmsy[t],Fy[t-1])[1] CBA[t]=Estabiliza(CBA[t-1],CBA[t],banda)} </pre>
RCC2 (Rampa)	<pre> if (Best[t-1]/B0<0.08) {CBA[t]=270} if (Best[t-1]/B0>0.08 && Best[t-1]/SSBmsy[t]<1.0) { CBA[t]=Cref*Best[t-1]/SSBmsy[t] CBA[t]=Estabiliza(CBA[t-1],CBA[t],banda)} if (Best[t-1]/SSBmsy[t]>1) {CBA[t]=Cref} </pre>
RCC3 (F cte)	<pre> if (Best[t-1]/B0<0.08) {CBA[t]=270} else{CBA[t]=Cref*Best[t-1]/SSBmsy[t] CBA[t]=Estabiliza(CBA[t-1],CBA[t],banda)} </pre>
RCC4 (Potencial)	<pre> if (Best[t-1]/B0<0.08) {CBA[t]=270} if (Best[t-1]/B0>0.08 && Best[t-1]/SSBmsy[t]) {CBA[t]=Cref*(0.2+(Best[t-1]/SSBmsy[t]-0.1)^2.5) CBA[t]=Estabiliza(CBA[t-1], CBA[t],banda)} if (Best[t-1]>SSBmsy[t]) {CBA[t]=Cref*(Best[t-1]/SSBmsy[t])^0.6}} </pre>

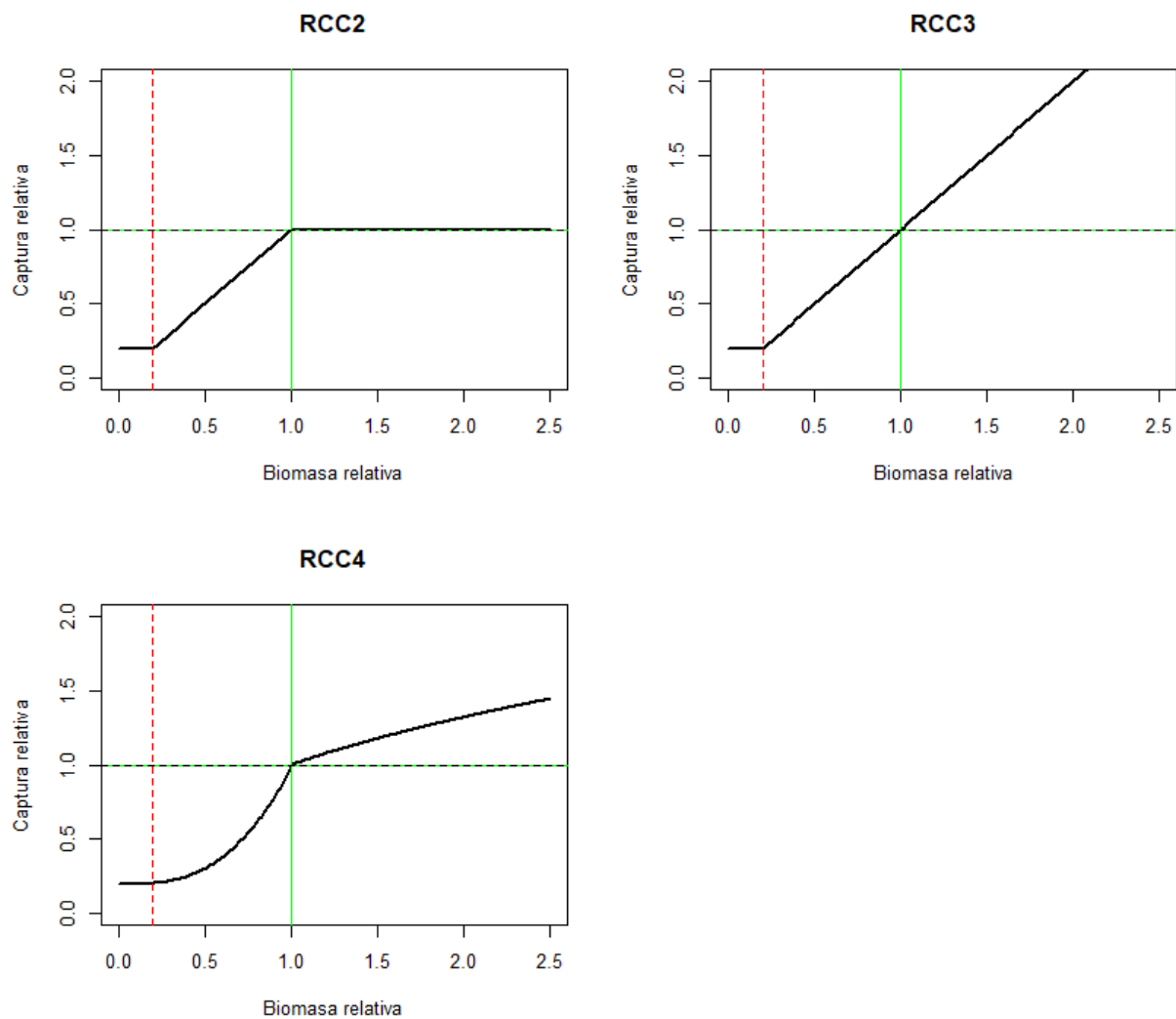


Figura 17. Representación gráfica de las reglas de control de captura (RCC) consideradas para la pesquería de jurel. La línea verde indica la biomasa objetivo, mientras que la línea roja representa el umbral límite de biomasa (BD_{lim}).

5.5.2. Procedimientos de Manejo (MP) empíricos

Se definieron 6 procedimientos de manejo (MP) basados en la combinación de reglas de control de captura (RCC), el uso de estabilizadores y niveles de captura objetivo (**Tabla 8**). Los MP consideran las mismas RCC anteriores (con excepción de la RCC1), en la cual la biomasa corresponde a la estimada en los cruceros acústicos de la zona norte de Chile.

- **Reglas de control de captura (RCC)**

Se consideraron 3 RCC, correspondientes a aquellas previamente definidas en los MP basados en modelo, excluyendo la RCC1. Estas corresponden a: i) RCC2, una regla tipo rampa; ii) RCC3, una regla lineal; y iii) RCC4, una regla doble potencial (**Figura 18**). Cada una de estas RCC tiene dos niveles o versiones asociadas a capturas de referencia de 1,5 y de 2,0 millones de toneladas.

En el diseño de las RCC se deben definir los puntos de inflexión que dan la forma funcional. En este sentido, y en consideración a lo sugerido en los talleres y encuestas, se consideró no aumentar la CBA más de un 20% y no bajarla más de un 10%. Para inferir el punto de inflexión superior de la RCC o índice de referencia (I_{ref}), se relacionó la biomasa total estimada por el crucero con la biomasa desovante estimada por el modelo de evaluación de stock, dado que la biomasa del crucero acústico contiene la fracción desovante del stock, que es la variable poblacional de interés para el manejo pesquero (PBR). En la **Figura 19** se muestra la relación ($r^2 = 0.88$) entre la biomasa desovante y la biomasa total del crucero acústico, se seleccionaron los registros posteriores al año 2000, ya que la serie histórica tiene un área de prospección acústica muy diferente a los de la serie de datos más reciente, y por eso en la evaluación de stock del año 2025 se excluyeron asignándole un coeficiente de variación muy alto. De esta forma, y considerando que la biomasa desovante objetivo al RMS (BD_{RMS}) es de 9.1 millones de t (promedio 2016-2024) (Anexo 7, SPRFMO SC12), por interpolación lineal se estimó una biomasa acústica de referencia (I_{ref}) cercana a 1.3 millones de t. El índice de referencia límite (I_{lim}) se fijó en 500 mil t.

Tabla 8. Configuración de 6 procedimientos de manejo (MP) empíricos basados en 3 reglas de control de captura (RCC).

Procedimiento de manejo	Descripción
Emp_RCC2_15mt	RCC2 con un nivel de referencia de 1,5 millones de toneladas.
Emp_RCC2_20mt	RCC2 con un nivel de referencia de 2,0 millones de toneladas.
Emp_RCC3_15mt	RCC3 pasando por el nivel de referencia de 1,5 millones de toneladas.
Emp_RCC3_20mt	RCC3 pasando por el nivel de referencia de 2,0 millones de toneladas.
Emp_RCC4_15mt	RCC4 con un cambio de forma en el nivel de referencia de 1,5 millones de toneladas.
Emp_RCC4_20mt	RCC4 con un cambio de forma en el nivel de referencia de 2,0 millones de toneladas.

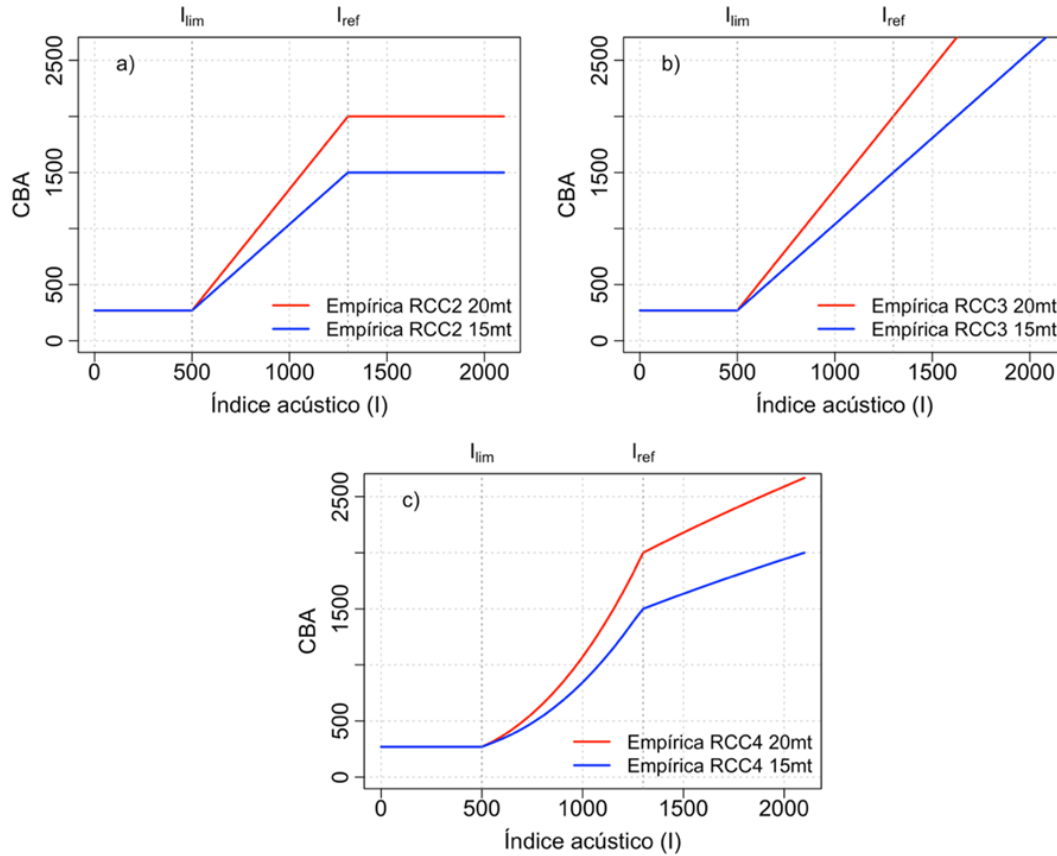


Figura 18. Relación entre la captura biológicamente aceptable (CBA) y el índice de abundancia basado en el crucero acústico de la zona norte de Chile para tres formas funcionales de relación y dos niveles de captura de referencia (C_{ref}) de 1,5 y 2,0 millones de toneladas. En el panel a) la RCC de tipo rampa, en b) la RCC de tipo lineal y en c) la RCC de tipo doble potencial. El índice de referencia (I_{ref}) fue fijado en 1,3 millones de toneladas y el índice límite (I_{lim}) en 500 mil toneladas.

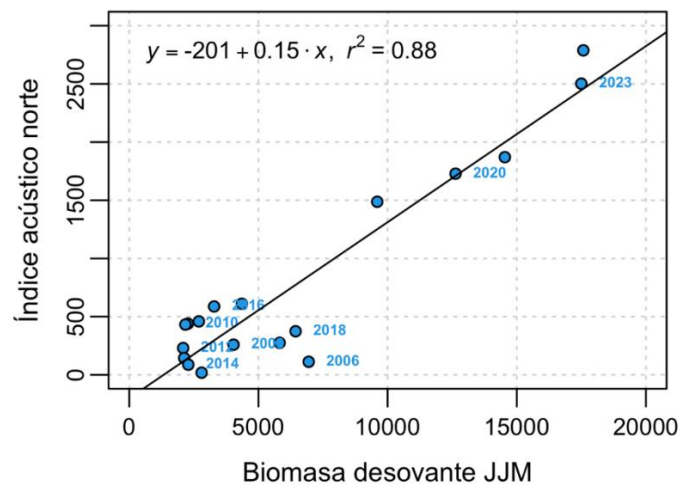


Figura 19. Relación entre la biomasa desovante estimada por el modelo de evaluación de stock (JJM) y la biomasa estimada por el crucero acústico de la zona norte de Chile (2000-2024). Se muestra la relación lineal entre las variables y el grado de ajuste.

5.5.3. Evaluación de Estrategias de Manejo mediante ciclo simulación estimación (full MSE)

Se realizó una evaluación comparativa del procedimiento full MSE respecto de la versión shortcut MSE implementada en OpenMSE. En el primero, la estimación de la biomasa es realizada por un modelo de evaluación previa generación/simulación de datos, mientras que en el segundo esta es reemplazada por un estimador simple, en el cual se supone que la evaluación de stock es una representación imperfecta de la biomasa “real”. En este sentido, la biomasa empleada para la decisión corresponde a una función lineal de la biomasa generada por el modelo operativo, sujeta a diversas fuentes de variación, tales como imprecisión y sesgo. El procedimiento consistió en implementar el full MSE y luego comparar las estimaciones con la biomasa “real” generada por el modelo operativo, con la finalidad de generar una relación lineal empírica entre la biomasa estimada y la biomasa “real” (**Figura 20**).



Figura 20. Esquema comparativo de la aproximación full y shortcut MSE (método abreviado).

i. **Modelo de estimación (*JJM_simple*)**

Se desarrolló un modelo poblacional de jurel basado en edad simplificado, denominado *JJM_simple*, que conserva las características fundamentales del modelo Joint Jack Mackerel (JJM) empleado por la SPRFMO, pero con una estructura menos compleja y una mayor parsimonia en la utilización de datos y parámetros. La principal ventaja es que sustituye la complejidad de modelar 4 flotas y sus índices de abundancia por una alta flexibilidad dinámica del patrón de explotación global.

El modelo *JJM_simple* utiliza funciones paramétricas de selectividad (doble normal) junto con datos agregados de CPUE y biomasa acústica, lo que reduce la complejidad paramétrica y permite replicar con precisión la dinámica de reclutamiento y biomasa desovante del stock de jurel. En contraste con el modelo JJM-SPRFMO, que no es fácil de integrar en OpenMSE como modelo de estimación o modelo operativo, el *JJM_simple* muestra una mayor eficiencia en la estimación de parámetros debido a su simplicidad paramétrica, permitiendo su uso como modelo operativo o de estimación en la plataforma OpenMSE.

a) **Características del modelo**

La implementación del modelo *JJM_simple* implicó diversas actividades, entre las cuales se destacan la revisión de datos biológicos y pesqueros para optimizar su agregación, el desarrollo y codificación de algoritmos basados en Automatic Differentiation Model Builder (ADMB), el análisis de los supuestos clave que afectan al modelo y, por último, la comparación de los resultados con el modelo JJM SPRFMO.

El modelo *JJM_simple* se basa en un análisis estadístico de la dinámica de estructuras de edades a nivel anual, incorporando información biológica y pesquera agregada en año calendario. La información que ingresa al modelo consiste en los desembarques totales reconstruidos desde varias fuentes reportadas en los informes técnicos del Comité Científico de SPRFMO. Los datos sobre la composición anual de edad y los pesos medios fueron reconstruidos por medio de la agregación de las composiciones de edades de las flotas de pesca informadas en el SC12 Report Annex 07. Las evaluaciones hidroacústicas proporcionaron información sobre la biomasa vulnerable en el área centro-norte de la costa chilena. Con base en esta información, el modelo estima las variables de estado representadas por la biomasa desovante (BD) y los niveles de mortalidad por pesca (F), que junto con los puntos de referencia biológicos (BD/BD_0), permiten determinar el estado de explotación y realizar comparaciones con el modelo JJM-SPRFMO.

b) Modelo conceptual

El marco conceptual que sustenta el *JJM_simple* se basa en la aplicación del método científico, empleando datos coherentes con los procesos dinámicos de poblaciones y pesquerías, y alineados con el conocimiento disponible, en concordancia con el enfoque precautorio para la pesca (Fischer, 2013). En este contexto, el modelo *JJM_simple* se desarrolló considerando los siguientes componentes de la dinámica poblacional del jurel:

- Estructura geográfica: Se asume que la población de jurel constituye una única unidad de stock en el Océano Pacífico Sur-Oriental. Bajo este supuesto, el stock es homogéneo, con individuos sujetos a las mismas probabilidades de crecimiento y mortalidad, sin procesos de migración relevantes.
- Reproducción: Se asume que los individuos del stock tienen un evento de desove discreto, representado a comienzos de la estación reproductiva, el cual, para propósitos prácticos, se asume en septiembre de cada año. Durante el periodo reproductivo (julio - octubre), el jurel se concentra en áreas de desove cercanas a la costa, donde las condiciones ambientales son favorables para su reproducción.
- Reclutamiento: Se manifiesta como un pulso de abundancia en enero de cada año, cuatro meses después del evento reproductivo.
- Tasa de mortalidad natural: Se asume tiempo-edad invariante, y se considera $M=0,28$ por año.
- Dinámica del crecimiento: El crecimiento se refleja implícitamente en las composiciones de edades, las cuales se elaboran a partir de matrices edad-talla empíricas, asumiendo un crecimiento modelado por la ecuación de von Bertalanffy.
- Interacción interespecífica: Se asume que la interacción ocurre durante los eventos de pesca, por lo que el modelo es de tipo monoespecífico.

Los peces escómbridos, como el jurel, tienen una mortalidad natural (M) moderada, experimentan un crecimiento rápido durante sus primeros años de vida y alcanzan la madurez más tarde en comparación con la edad a la que alcanzan su longitud máxima. El reclutamiento está moderadamente influenciado por el ambiente, siendo ciertos rasgos poblacionales los más determinantes para el éxito de las cohortes anuales. Con base en estas características, se modeló la dinámica poblacional en función de la edad y se estructuraron los datos según el crecimiento y la edad. Se considera una única flota comercial, con un patrón de selectividad de tipo doble normal variable por años, que permite asumir el desreclutamiento a partir de cierta edad.

c) Esquema de evaluación

El enfoque utilizado corresponde a un modelo con dinámica en edad, implementado para el período 1970 - 2024 utilizando como datos de entrada las capturas comerciales, los índices de biomasa desde cruceros hidroacústicos de la zona norte, la Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) y las composiciones de edades de la captura comercial. El modelo de evaluación de stock se compone de: i) un modelo de la dinámica poblacional estructurado a la edad, donde la mortalidad natural y por pesca actúan de manera conjunta sobre la abundancia, ii) un modelo de las observaciones, que describe los datos de entrada y iii) un proceso de estimación de parámetros a partir de una función objetivo, donde se contrastan estadísticamente las observaciones y estimaciones del modelo mediante máxima verosimilitud.

d) Enfoque de estimación de parámetros

El análisis utilizó una estimación bayesiana para evaluar las posibles consecuencias de la incertidumbre en los parámetros y modelos estructurales alternativos. Este método combina conocimiento previo proveniente de la SPRFMO sobre el crecimiento, la mortalidad natural, la pendiente de reclutamiento y otros parámetros, con las verosimilitudes de los índices de biomasa de cruceros, la CPUE y los datos de composición de edades. 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 del modelo inciertos y los pronósticos derivados de estos (Magnusson et al., 2012; Punt et al., 2014).

e) 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 entorno 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.

El modelado de la dinámica de jurel se realizó en base al año calendario (de enero a diciembre), por lo que el desove, al establecerse a mediados de septiembre, representa el 0.75 del año. Este método se utiliza bajo un enfoque de dinámica por edades, que incluye ciertos supuestos de modelación (**Tabla 9**) y se compone de los siguientes elementos:

- Modelo de dinámica poblacional estructurada por edades;
- Modelo de las observaciones y penalizaciones a priori que permiten relacionar el modelo de dinámica con las observaciones (**Tabla 10**);
- Identificación de la estructura del error a través de funciones de log-verosimilitud negativas (**Tabla 11**); y
- Estimación de los parámetros desconocidos mediante un algoritmo que minimiza la función objetivo total, comparando las observaciones con las estimaciones derivadas del modelo dinámico (**Tabla 12**).

Tabla 9. Resumen de los principales supuestos del modelo de evaluación anual con información en edad.

Datos observados	Símbolo	Supuestos
Desembarque total anual	Y_t	Representa la captura comercial y descartada del período anual. Se considera continua al interior del año. Coeficiente de variación supuesto como parte del error de observación $CV_{f(1970-2024)} = 0,05$
Biomasa vulnerable de crucero	B_t	Biomasa que ocurre en el mes del año en que se realiza el crucero ($dt^{cv} = variable$). Coeficiente de variación supuesto como parte del error de observación $CV_{B_t} = 0,3$
Índices de abundancia	$CPUE_t$	Coeficiente de variación supuesto como parte del error de observación $CV_{cpue_t} = variable$
Proporción de la abundancia a la edad de la flota	$p_{l,t}^f$	Representa el tamaño de muestra efectivo de los ejemplares presentes en la captura comercial por edad, supuesto como parte del error de observación $n^f = 65$
Proporción de la abundancia a la edad de los cruceros	$p_{l,t}^c$	Representa el tamaño de muestra efectivo de los ejemplares presentes en lances de identificación por edad, supuesto como parte del error de observación $n^c = 10$
Peso medio a la edad	w_a	Vector de pesos medios a la edad empleado para generar estimaciones de biomasa prospectada por cruceros, biomasa total y desovante

Tabla 10. Modelo de observación con información en edad. Los índices f y c representan las variables asociadas a la pesquería y a los cruceros, respectivamente.

Variable	Ecuación	Descripción
Captura en número a la edad	$\hat{C}_{a,t} = \frac{F_{a,t}}{Z_{a,t}} N_{a,t} (1 - S_{a,t})$	$\hat{C}_{a,t}$ Captura en número estimada a la edad y en el año
Desembarque en peso	$\hat{Y}_t = \sum_a \hat{C}_{a,t} w_a$	w_a es el peso medio a la edad
Proporción de captura a la talla	$\hat{p}_{a,t}^{f,c} = \frac{\hat{C}_{a,t}}{\sum_a \hat{C}_{a,t}}$	$\hat{C}_{a,t}$ Captura en número estimada a la edad
Abundancia a la edad en el stock	$\hat{N}_{a,t}^f = N_{a,t} e^{-dt^f Z_{a,t} S_{a,t}^f}$	dt^c es la fracción del año en la cual se realiza el crucero
Selectividad a la edad (ascendente y descendente)	$S_a^{f,c} = \left(1 + \exp \left[-\ln 19 \frac{(a - a_{50\%}^{f,c})}{\Delta^{f,c}} \right] \right)^{-1}$	$a_{50\%}^c$ edad al 50% y Δ^c rango entre la edad al 95% y 50%
Biomasa total del crucero	$\hat{B}_t^c = q^c \sum_a \hat{N}_{a,t}^c w_a$	w_a es el peso medio a la edad y q^c es la capturabilidad/disponibilidad del crucero
Captura por unidad de esfuerzo	$\widehat{CPUE}_t = q^f \left[\sum_a (S_{a,t} N_{a,t} \exp(-Z_{a,t}) w_a) \right]$	q es el coeficiente de capturabilidad

Tabla 11. Modelo de los errores con información en tallas. Variables estimadas representadas por $\hat{X}_t$.

Variable	Tipo error	Ecuación	Descripción
Desembarques	lognormal	$L = -\frac{0,5}{\sigma_y^2} \sum_t \left(\ln \frac{Y_t}{\hat{Y}_t} \right)^2$	σ_y desviación estándar
Biomasa crucero	lognormal	$L = -\frac{0,5}{\sigma_{Bc}^2} \sum_t \left(\ln \frac{B_{ct}}{\hat{B}_{ct}} \right)^2$	σ_{Bc} desviación estándar
CPUE	lognormal	$L = -n \sum_t \sum_l p_{l,t} * \ln(\hat{p}_{l,t})$	σ_{cpue} desviación estándar
Proporción talla	multinomial	$L = -n \sum_t \sum_l p_{l,t} * \ln(\hat{p}_{l,t})$	n tamaño muestra efectivo

Tabla 12. Número de parámetros (np) estimados por el modelo y distribuciones a priori. Para los parámetros de selectividad ($\alpha_{50\%}$ y Δ), se asume curva ascendente y descendente definida por $S_{\alpha}^{f,c}$.

Parámetro	np	Prior	Descripción
Mortalidad natural	1	$M = 0,28$	Constante en edad y años
Mortalidad por pesca	55	$\ln F \sim U[-20; +0,7]$	F_t efecto anual constante en edad y años
Selectividad 50% edad	8	$\ln \alpha_{50\%}^{f,c} \sim U[-\infty; \infty]$	No informativa en flota y cruceros
Pendiente selectividad	8	$\ln \Delta^{f,c} \sim U[-\infty; \infty]$	No informativa en flota y cruceros
Reclutamiento medio	1	$\ln R_0 \sim N[8,8; 0,6]$	R_0 corresponde al reclutamiento medio para el periodo 1970 - 2024
Desvíos anuales ε_t	54	$\ln \varepsilon_t \sim U[-10; +10]$	Agregados a R_0 para definir la fuerza de la clase anual R_t
Desvíos edad inicial ε_a	12	$\ln \varepsilon_a \sim U[-10; +10]$	Agregados a R_0 para definir la estructura de edad inicial $t = 1970$
Capturabilidad CPUE	1	$\ln q^f \sim U[-\infty; \infty]$	No informativa
Capturabilidad crucero	1	$\ln q^c \sim U[-\infty; \infty]$	No informativa

ii. Modelo operativo base

Con base en las características del modelo de estimación *JJM_simple*, se formularon las condiciones de partida del modelo operativo (MO) como *proxy* a las obtenidas en el marco del Comité Científico de la OROP-PS. Las principales fuentes de variabilidad correspondieron al error de proceso en los reclutamientos ($\sigma_R=0.64$), al error de implementación en las capturas ($\sigma_Y=0.10$) y a la incertidumbre generada por la selectividad de la pesquería. Esta última ha mostrado grandes variaciones a lo largo de la historia y, para efectos de simulación, se consideraron muestras aleatorias del tipo bootstrap no paramétrico tomadas para los últimos 16 años. Por su parte, los reclutamientos fueron generados desde un modelo tipo Beverton-Holt con correlación en los residuales ($\rho=0.77$). Las ecuaciones del MO son las mismas del modelo de estimación descritas previamente.

Como modelo operativo se consideró un modelo de dinámica poblacional estructurado en edades, en el cual la abundancia de cada cohorte evoluciona anualmente en función de la supervivencia, determinada por la mortalidad total, compuesta por mortalidad natural y mortalidad por pesca.

- Reclutamiento: Fue modelado mediante una relación stock-recluta de Beverton-Holt, vinculando el ingreso de nuevos individuos a la biomasa desovante del año previo.

$$N_{1,t+1} = R_{t+1}$$

- Edades intermedias:

$$N_{a+1,t+1} = N_{a,t} e^{-Z_{a,t}}, \quad a = 1, \dots, A-1$$

- Grupo plus:

$$N_{A,t+1} = N_{A-1,t} e^{-Z_{A-1,t}} + N_{A,t} e^{-Z_{A,t}}$$

Donde h es el steepness, SSB_t la biomasa desovante en el año t , SSB_0 la biomasa virginal, $Z_{a,t}$ es la mortalidad total a la edad a y año t . La biomasa desovante se calculó integrando la abundancia por edad $N_{a,t}$, el peso medio w_a , la proporción madura m_a y la supervivencia hasta el momento de desove f_s .

$$SSB_t = \sum_{a=1}^A N_{a,t} w_a m_a e^{-f_s Z_{a,t}}$$

Por su parte, la mortalidad por pesca a la edad se modeló como el producto entre la mortalidad por pesca anual F_t y una función de selectividad específica por edad S_a . Para describir patrones no asintóticos de vulnerabilidad, se empleó una función de selectividad de tipo doble normal, capaz de representar incrementos y descensos en la selectividad alrededor de una edad modal.

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

Donde

$$S_a = \begin{cases} \exp \left[-\frac{(a-\mu)^2}{2\sigma_L^2} \right], & a \leq \mu \\ \exp \left[-\frac{(a-\mu)^2}{2\sigma_R^2} \right], & a > \mu \end{cases}$$

siendo μ la edad de máxima vulnerabilidad, σ_L desviación estándar del flanco izquierdo y σ_R desviación estándar del flanco derecho.

iii. Simulación del procedimiento de manejo

Se consideró un horizonte de 30 años futuros y el procedimiento de manejo actual fue simulado hacia el futuro con decisiones de CBA basadas en el modelo de estimación *JJM_simple* (Full MSE). El proceso se repitió 100 veces en un tiempo aproximado de 5 horas (6 segundos x 30 años x 100 veces) por cada procedimiento de manejo. Se analizaron 9 procedimientos de manejo con base en el modelo operativo base, en un tiempo total de 45 horas de proceso. A partir de los resultados obtenidos, se analizó la relación biomasa verdadera (generada por el modelo operativo de simulación) y la biomasa estimada por el modelo de evaluación, lo cual permitió cuantificar el nivel de sesgo de la estimación y formular un modelo de emulación para la implementación del método abreviado (shortcut) MSE. En este método, la estimación de biomasa queda representada por un estimador logarítmico de la forma:

$$\log(\hat{B}_t) = \alpha + \beta \log(B_{MO,t}) + \varepsilon_t$$

$$\varepsilon_t \sim N(\mu, \sigma)$$

Donde $B_{MO,t}$ es la biomasa simulada por medio del MO en el año t , α y β los coeficientes del modelo de regresión lineal, mientras ε_t es un error aleatorio derivado de la estimación.

5.5.4. Reglas de control de captura mediante optimización estocástica en el espacio de las decisiones (SOPS)

La regla de control de captura propuesta se analizó mediante SOPS, explorando sistemáticamente combinaciones de parámetros (cuadrícula de 21×21) para identificar los parámetros de gestión óptimos. La regla emplea un diseño sencillo:

$$TAC_t = \max(0, Q_{slope}(B_{t-1} - B_{min}))$$

Donde Q_{slope} es la pendiente de la tasa de captura que controla la respuesta de la captura a los cambios de biomasa (optimizada mediante búsqueda en cuadrícula: rango probado de 0,0 a 1,0), B_{min} es el umbral mínimo de biomasa por debajo del cual la captura se reduce linealmente a cero (optimizado mediante búsqueda en cuadrícula: rango probado de 0 a 20 MM de toneladas), y B_{t-1} es la estimación de la biomasa del stock reproductor del año anterior, sujeta a error de observación.

En lugar de realizar evaluaciones completas del stock en cada año de proyección, se implementó un marco de shortcut MSE, en el cual las estimaciones de biomasa utilizadas para las decisiones de manejo están sujetas tanto a error aleatorio de evaluación ($\sigma_{\text{es } t} = 0,15$) como a sesgo sistemático (sesgo medio = $-0,15$), reflejando una tendencia a subestimar la biomasa desovante real:

$$\widehat{B}_t = B_t e^{(\delta_t - 0.15)}$$

$$\delta_t \sim N(0, 0.15^2)$$

El sesgo negativo se derivó de análisis retrospectivos del modelo de evaluación del stock JJM. Este enfoque captura las características clave de la incertidumbre de la evaluación (imprecisión y sesgo) sin la carga computacional de reajustar iterativamente el modelo de evaluación dentro de cada réplica de proyección, manteniendo al mismo tiempo la retroalimentación esencial entre el error de observación y el desempeño del manejo.

Esta regla utiliza puntos de referencia biológicos invariables en el tiempo, basados en la selectividad promedio histórica de la evaluación del stock base. Este diseño refleja el principio de que los objetivos de gestión deben representar la productividad de las poblaciones a largo plazo, en lugar de basarse en las fluctuaciones de selectividad interanuales. Esto proporciona puntos de referencia estables y garantiza que los cambios en la selectividad no se malinterpreten como cambios en la productividad.

En esta regla, cuando la biomasa se aproxima a B_{min} , la TAC disminuye automáticamente de forma proporcional; y cuando la supera, la TAC aumenta linealmente a una tasa Q_{slope} . Esta transparencia facilita la comprensión por parte de los interesados y elimina la complejidad de las reglas de decisión multicondicionales. El SOPS se implementó mediante un enfoque de búsqueda sistemática en cuadrícula para identificar los parámetros óptimos de la regla HCR.

Para las HCR optimizadas con SOPS, se identificaron combinaciones de parámetros seguras que satisficieran simultáneamente tres restricciones de precaución: $P(SSB < SSB_{MSY}) < 0,40$, $P(F > F_{MSY}) < 0,50$ y $AAV < 0,3$. Estos umbrales garantizan la sostenibilidad a largo plazo, manteniendo la estabilidad operativa. De las 441 combinaciones de parámetros probadas, solo aquellas que cumplían simultáneamente los tres criterios se consideraron soluciones candidatas. La HCR se evaluó mediante 500 réplicas independientes de Monte Carlo, representando una trayectoria plausible a 50 años, condicionada a las condiciones iniciales de la población y a las especificaciones de incertidumbre.

5.6. Objetivo específico 5: Evaluar la efectividad de los procedimientos de manejo desarrollados, para alcanzar los objetivos de manejo establecidos en el marco legal vigente (LGPA), los tratados internacionales vinculantes (e.g. OCDE, OROP-PS u otros) y órganos asesores respectivos.

5.6.1. Indicadores de desempeño

Se definieron 12 indicadores de desempeño orientados a evaluar la efectividad de los procedimientos de manejo en horizontes de corto plazo (1-5 años) y largo plazo (20-30 años). Estos incluyeron la probabilidad de que la biomasa desovante se ubique en las distintas zonas del diagrama de Kobe, así como indicadores pesqueros asociados al nivel promedio, la variabilidad y la probabilidad de alcanzar niveles referenciales de captura (**Tabla 13**). La estimación de estos indicadores se realizó mediante proyecciones a 30 años, considerando un total de 100 simulaciones independientes por cada procedimiento de manejo.

Los indicadores de desempeño se encuentran alineados con las preferencias identificadas a partir de los talleres y encuestas, evidenciando una priorización de objetivos asociados a la conservación del recurso, junto con el nivel y la estabilidad de las capturas (ver punto 6.1.1). En este sentido, los indicadores seleccionados permiten evaluar el desempeño de los procedimientos de manejo en términos de su capacidad para evitar estados de sobreexplotación y sobrepesca, manteniendo niveles de captura sostenibles.

Tabla 13. Indicadores de desempeño utilizados para la evaluación de la efectividad de los procedimientos de manejo en la pesquería de jurel.

Objetivo	Indicador	Descripción	Período	Código
Evitar sobrepesca	Sin sobrepesca	$P(F < F_{msy})$	Corto plazo	NSP_CP
			Largo plazo	NSP_LP
Evitar colapso	Fuera de la zona roja	$P(B/B_{msy} > 0.5)$	Corto plazo	NZR_CP
			Largo plazo	NZR_LP
Evitar sobreexplotación	Zona verde	$P(B/B_{msy} > 1)$	Corto plazo	ZV_CP
			Largo plazo	ZV_LP
Mantener niveles de captura	Captura	CBA promedio	Corto plazo	CBAprom_CP
			Largo plazo	CBAprom_LP
			5-6 años	CBA_5y
Maximizar capturas	Captura superior a 1000 mil t	$P(CBA > 1000 \text{ mil t})$	Corto plazo	C10_CP
			Largo plazo	C10_LP
Baja variabilidad en las capturas	Variabilidad de la captura	$P(CV \text{ CBA} < 10\%)$	1-30 años	CBAv

5.6.2. Priorización de Procedimientos de Manejo

La identificación de los procedimientos de manejo (MP) con mejor desempeño se realizó mediante la aplicación complementaria de distintos métodos de evaluación, incluyendo comparaciones gráficas, análisis de indicadores en escalas original y relativa, integración de métricas de desempeño y análisis de compensaciones entre objetivos de manejo. En conjunto, estos análisis permitieron evaluar el comportamiento de los MP bajo distintos modelos operativos, identificar aquellos que destacaron en los indicadores más discriminantes, comparar su desempeño global y analizar el equilibrio entre objetivos de conservación, rendimiento pesquero y estabilidad de las capturas. Los métodos y criterios considerados para la priorización de los procedimientos de manejo se resumen en la **Tabla 14**.

Tabla 14. Métodos y criterios utilizados para la priorización de los procedimientos de manejo.

Método	Indicadores	Modelo operativo	Criterio de priorización
Comparación gráfica mediante boxplots	Todos	Todos	- MP con mejor desempeño en los indicadores con mayor diferenciación entre MO
Estandarización de indicadores de desempeño	Sin sobrepesca (NSP_LP) Fuera de la zona roja (NZR_LP) Zona verde (ZV_LP) Captura (CBAprom_LP) Variabilidad de la captura (CBAv)	Todos	- MP con mayores puntuaciones globales. - Balance entre indicadores de desempeño de los MP con mayores puntuaciones.
Evaluación de indicadores de desempeño en escala original	Todos	Todos	- MP con mejor desempeño en los indicadores con mayor diferenciación entre MO.
Evaluación de indicadores de desempeño en escala relativa	Todos	MO2	- MP con mayores puntuaciones globales. - Balance entre indicadores de desempeño de los MP con mayores puntuaciones.
Análisis de trade-offs	Captura (CBAprom_LP; CBAprom_CP) Variabilidad de la captura (CBAv)	MO2	- MP con mayor equilibrio entre conservación (ZV) y estabilidad de las capturas (CBAv) en el corto y largo plazo.

- **Análisis multicriterio**

Como extensión al análisis anterior, se consideró el desempeño del indicador global en base a distintos niveles de ponderación 0.2-0.8 para el conjunto de indicadores de conservación (NSP_LP, NZR_LP y ZV_LP). En este análisis, se considera que los indicadores de desempeño de la pesquería (CBA_LP, C10_LP y CBAv) disminuyen de manera complementaria conforme se aumenta el peso de los indicadores de conservación.

5.6.3. Puntos Biológicos de Referencia (PBR)

Para la estimación de los PBR, el cálculo de F_{MSY} se realizó utilizando la configuración por defecto de OpenMSE, la cual se basa en el promedio de la información correspondiente a los últimos tres años (2023-2025), incluyendo el patrón de selectividad promedio y los pesos a la edad en la captura comercial. La biomasa desovante asociada al MSY, estimada dinámicamente por año, corresponde a B_{MSY} , a partir de la cual se generó una referencia futura ($BMSY_{ref}$) de 10.614 mil t. De manera consistente, el valor de $FMSY_{ref}$ fue estimado en 1,36 (**Figura 21**).

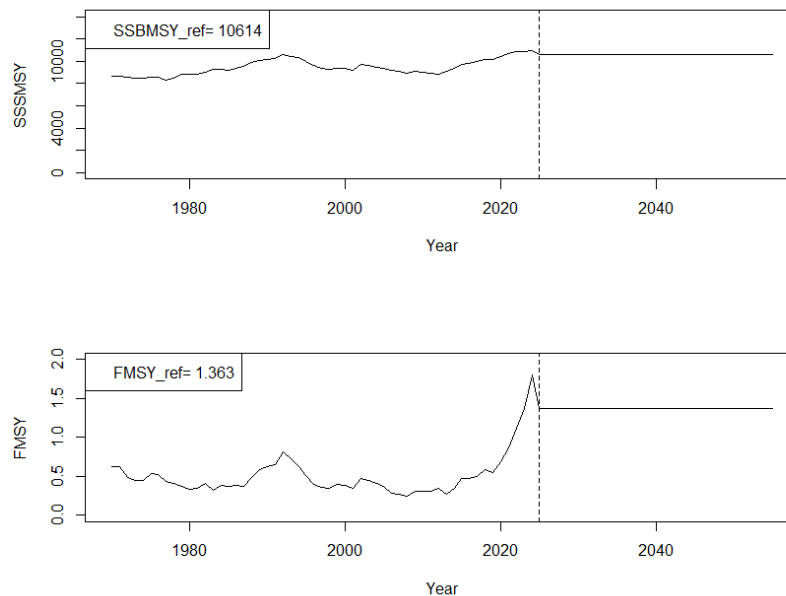


Figura 21. BMSY y FMSY históricos y sus valores de referencia ($BMSY_{ref}$ y $FMSY_{ref}$), utilizados en las proyecciones y en la evaluación de los indicadores de desempeño.

5.6.4. Visualización de resultados de la EEM mediante la plataforma Slick

El paquete Slick: Visualización Interactiva de Resultados de EEM fue implementado como herramienta para la exploración y análisis de los resultados de la EEM. Este permitió generar figuras y tablas directamente desde la consola de R, así como su visualización mediante la aplicación Slick (<https://slick.bluematterscience.com/>, <https://github.com/Blue-Matter/Slick>).

El archivo para jurel fue desarrollado mediante la modificación del archivo original implementado para la EEM de merluza del sur de Chile, y utilizando como base los códigos adaptados por la Dra. Robyn Forrest durante el Taller técnico. El archivo resultante, de nombre “jurel_Sc_15LYS_27-mar.slick”, puede ser visualizado en línea (<https://shiny.bluematterscience.com/app/slick>).

5.7. Objetivo específico 6: Fortalecer el desarrollo de capacidades internas para el alcance de compromisos nacionales asociados a EEM en el marco de la OROP-PS.

Este objetivo se desarrolló mediante un conjunto de reuniones y talleres orientados a fortalecer las capacidades técnicas para la implementación del proceso de Evaluación de Estrategias de Manejo (EEM). Estas instancias incluyeron actividades de carácter formativo, participativo y técnico, junto con espacios de coordinación institucional para la revisión de avances y la discusión de aspectos estratégicos del proyecto. En conjunto, estas instancias permitieron articular el desarrollo metodológico de la EEM con los requerimientos institucionales y de gobernanza de la pesquería.

i) Reuniones mensuales de transferencia de competencias estratégicas con profesionales de la SUBPESCA y delegados de OROP-PS

En el marco de este proyecto, y con el fin de identificar y preparar posiciones/procedimientos estratégicos para la gobernanza nacional y el posicionamiento en las discusiones de la OROP-PS, se realizaron reuniones periódicas con la SUBPESCA, particularmente con el equipo de profesionales de la División de Administración Pesquera (DAP) relacionados con la pesquería del jurel y la OROP-PS. En estas reuniones, además de abordar aspectos propios del proyecto, se discutieron los avances en EEM desarrollados en el SWG de la OROP-PS. Estas instancias constituyeron una línea basal de soporte para el objetivo principal del proyecto y complementaron el ciclo de talleres descrito en el objetivo específico 1.

ii) Reuniones de transferencia de competencias específicas a CM, CCT-J y partes interesadas

La transferencia de competencias vinculadas al diseño e implementación de la EEM fue abordada mediante tres talleres teóricos-prácticos contemplados en el objetivo específico 1, complementados por un taller técnico enfocado en la implementación de los modelos operativos y procedimientos de manejo en la plataforma OpenMSE. Este proceso permitió fortalecer las capacidades en el uso de la EEM en investigadores de IFOP y asesores de la SUBPESCA en materias relacionadas con la OROP-PS.

6. Resultados

6.1. Objetivo específico 1: Recopilar, priorizar y evaluar explícitamente los intereses del sector pesquero nacional y órganos asesores involucrados, para el desarrollo de herramienta de Evaluación de Estrategias de Manejo.

Los actores convocados a los talleres teóricos-prácticos correspondieron exclusivamente a los integrantes del Comité de Manejo de la pesquería de jurel. La participación de los actores convocados presentó diferencias entre sectores y talleres (**Tabla 15**). En cuanto a la tasa de respuesta, el sector institucional registró los mayores porcentajes de asistencia, seguido por el sector industrial, mientras que el sector artesanal presentó una menor respuesta a la convocatoria, particularmente en el segundo taller. Cabe señalar que los integrantes del equipo de trabajo del proyecto no fueron considerados en este análisis, ya que su participación se limitó a labores de facilitación y apoyo técnico, sin intervenir en las respuestas ni en la toma de decisiones.

Asimismo, considerando la baja asistencia registrada en el segundo taller, durante el tercer taller se presentaron y revisaron los principales resultados obtenidos en dicha instancia, con el propósito de recoger observaciones adicionales y validar las propuestas con un mayor número de participantes. Si bien la tasa de respuesta fue variable entre sectores e instancias, en los tres talleres se contó con la representación de los sectores industrial (39%), artesanal (33%) e institucional (28%), lo que permitió incorporar las distintas perspectivas presentes en el Comité de Manejo.

Tabla 15. Actores convocados y asistentes por sector e instancia de participación, indicando la tasa de respuesta y la representatividad de los asistentes.

Instancia	Sector	Convocados	Asistentes	Tasa de respuesta	Representatividad
Taller 1	Artesanal	12	5	42%	36%
	Industrial	8	5	63%	36%
	Institucional	5	4	80%	29%
Taller 2	Artesanal	12	1	8%	13%
	Industrial	8	4	50%	50%
	Institucional	5	3	60%	38%
Taller 3	Artesanal	12	6	50%	33%
	Industrial	8	7	88%	39%
	Institucional	5	5	100%	28%

Nota: La tasa de respuesta (%) corresponde al número de asistentes respecto del total de actores convocados en cada sector e instancia. La representatividad (%) corresponde al número de asistentes de cada sector respecto del total de asistentes de cada taller.

6.1.1. Objetivos operacionales y variables de desempeño

- **Primera encuesta de opinión técnica**

La aplicación de la encuesta arrojó una tasa de respuesta de 55%, con 22 respuestas efectivas sobre un total de 40 personas convocadas. En total, se contabilizaron 48 menciones distribuidas entre las distintas áreas de participación, considerando que los encuestados podían identificarse en más de una categoría (**Figura 22**). La mayor representación correspondió a miembros del Comité de Manejo de Jurel, con 14 menciones, seguido por la Delegación chilena en la OROP-PS con 11 y usuarios del sector artesanal con 6. Las demás categorías registraron una menor frecuencia de menciones, las que se presentan a continuación en orden descendente: “otros” (incluye representantes del gremio industrial, miembros del Consejo Nacional de Pesca y funcionarios de SERNAPESCA), científicos y/o académicos, administradores, miembros del Comité Científico Técnico de Jurel y usuarios del sector industrial.

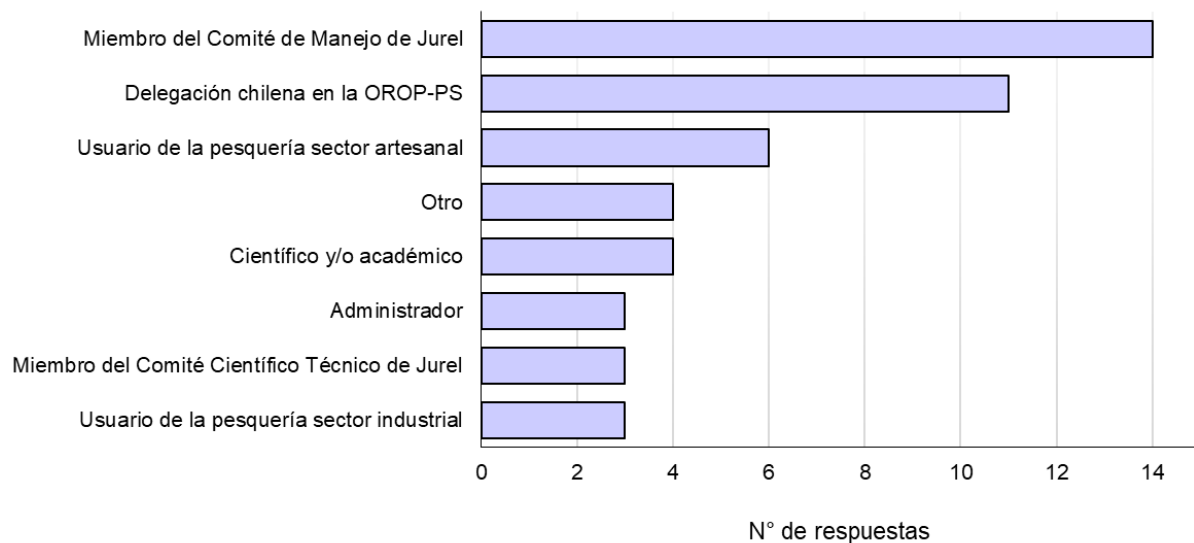


Figura 22. Área de identificación de los encuestados (respuestas múltiples).

Los resultados de la encuesta sobre el nivel de importancia asignado a los objetivos operacionales muestran una clara priorización de aquellos vinculados a la conservación del recurso (**Tabla 16**). Los objetivos que recibieron la mayor valoración, con más del 70% de las respuestas en la categoría de “alta importancia” fueron, en orden descendente: (i) evitar episodios de sobreexplotación, (ii) en caso de sobreexplotación, obtener una rápida recuperación del recurso, (iii) evitar episodios de sobrepesca. En un segundo nivel de prioridad, se identificaron dos objetivos que también fueron calificados como “altamente importantes”, pero con una menor proporción de respuestas en esta categoría (entre el 52% y el 64% de las respuestas): (i) completar la Cuota Global de Captura Anual de Chile y (ii) maximizar la biomasa poblacional.

En la categoría de “importancia media”, la mayoría de los encuestados (entre el 68% y el 55%) asignaron esta valoración a los objetivos asociados principalmente a aspectos operativos y productivos: (i) maximizar las capturas, (ii) evitar grandes cambios en las capturas de un año a otro, (iii) que la captura esté compuesta principalmente por ejemplares de mayor tamaño y (iv) minimizar el número de viajes. Este último objetivo, además, fue clasificado como de “baja importancia” por el 32% de los encuestados, lo que sugiere que no es percibido como un elemento prioritario en la toma de decisiones estratégicas para el manejo de la pesquería. En la **Tabla 17** se resumen los rangos de respuesta predominantes entre los encuestados respecto de tres aspectos clave abordados en la sección abierta de la encuesta.

Tabla 16. Porcentaje de respuestas por nivel de importancia (alto, medio y bajo) asignado a los objetivos operacionales por los encuestados (n=22).

Objetivos	Alto	Medio	Bajo
Evitar episodios de sobreexplotación (biomasa por debajo del objetivo)	91%	9%	0%
En caso de sobreexplotación, obtener una rápida recuperación del recurso	82%	18%	0%
Evitar episodios de sobrepesca (mortalidad por pesca excesiva)	73%	27%	0%
Completar la Cuota Global de Captura Anual de Chile	64%	36%	0%
Maximizar la biomasa poblacional	52%	48%	0%
Maximizar capturas	23%	68%	9%
Evitar grandes cambios en las capturas de un año a otro (factor de estabilización)	36%	55%	9%
Que la captura esté compuesta principalmente por ejemplares de mayor tamaño	27%	55%	18%
Minimizar el número de viajes	14%	55%	32%

Tabla 17. Rangos de respuesta predominantes en preguntas abiertas de la encuesta técnica.

Aspecto	Rango de respuesta
Porcentaje de variación en las capturas entre años	10% - 25%
Capturas anuales totales	800.000 t - 2.000.000 t
Porcentaje que debería ser alcanzado respecto a la cuota nacional anual asignada por la OROP	85% - 100%

En relación con la consulta sobre posibles objetivos adicionales o expectativas asociadas a la pesquería, las respuestas recopiladas abarcaron un amplio espectro de propuestas, reflejando diversas visiones en torno al manejo y proyección. Entre las sugerencias planteadas, se destacan:

- Estudiar la implementación de “Banking and Borrowing”.
- Potenciar la investigación y la innovación en modelos predictivos mediante inteligencia artificial.
- Mantener la sostenibilidad de la pesquería.
- Maximizar el rendimiento pesquero.

- Que el objetivo de las capturas sea consumo humano directo.
- Aumentar la cuota cuando el recurso esté sano.
- Alcanzar el objetivo máximo sobre lo que está pidiendo Chile en la OROP.
- Evitar la subexplotación en periodos de alta productividad.
- Maximizar el rendimiento económico de la pesquería.

- **Primer taller teórico-práctico**

La actividad se llevó a cabo de manera presencial el lunes 24 de marzo de 2025, en el marco de la sesión del Comité de Manejo de Jurel, realizada en las dependencias del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, en la ciudad de Santiago (**Anexo 2.f**). La introducción del taller estuvo a cargo del jefe de proyecto, Dr. Cristian Canales, quien presentó al equipo de trabajo, expuso los alcances del proyecto, la base conceptual de la Evaluación de Estrategias de Manejo, los objetivos del taller y los principales resultados obtenidos a partir de la encuesta técnica. Finalizada su intervención, cedió la palabra al moderador de la jornada, Sr. Jorge Quezada (**Figura 23**).



Figura 23. Registro fotográfico del primer taller teórico-práctico sobre objetivos operacionales y variables de desempeño, realizado en Santiago el 24 de marzo de 2025.

En términos generales, e independientemente de algunas variaciones en el orden de importancia, los resultados obtenidos en el taller muestran una alta consistencia con los registrados en la encuesta de opinión técnica. En las tres instancias de consulta: la encuesta (**Tabla 16**), su aplicación en el taller (**Tabla 18**) y el ejercicio de priorización individual (**Tabla 19**), se evidenció una tendencia sostenida a priorizar los objetivos asociados a la conservación del recurso, en particular: evitar episodios de sobreexplotación, lograr una rápida recuperación del recurso en caso de sobreexplotación y evitar la sobrepesca. Junto con estos, también se destacó entre los primeros lugares el cumplimiento de la Cuota Global de Captura Anual de Chile. En contraste, los objetivos orientados a la eficiencia operativa, como minimizar el número de viajes y obtener capturas con ejemplares de mayor tamaño, mostraron una valoración menor, ubicándose sistemáticamente entre los últimos lugares de priorización.

Tabla 18. Número de respuestas por nivel de importancia (alto, medio y bajo) asignado a los objetivos operacionales por los asistentes al taller (participación voluntaria).

Objetivos	Alto	Medio	Bajo	Total
Evitar episodios de sobreexplotación (biomasa por debajo del objetivo)	13	0	0	13
Evitar episodios de sobrepesca (mortalidad por pesca excesiva)	13	1	0	14
Completar la Cuota Global de Captura Anual de Chile	12	0	0	12
En caso de sobreexplotación, obtener una rápida recuperación del recurso	10	2	0	12
Maximizar capturas	9	4	0	13
Evitar grandes cambios en las capturas de un año a otro (factor de estabilización)	8	7	0	15
Maximizar la biomasa poblacional	6	5	0	11
Minimizar el número de viajes	1	12	1	14
Que la captura esté compuesta principalmente por ejemplares de mayor tamaño	0	9	3	12

Tabla 19. Objetivos operacionales priorizados por los asistentes al taller mediante la selección individual de los cinco objetivos considerados más importantes (participación voluntaria).

Objetivos	Votos	Priorización
Evitar episodios de sobrepesca (mortalidad por pesca excesiva)	11	1
En caso de sobreexplotación, obtener una rápida recuperación del recurso	11	
Completar la Cuota Global de Captura Anual de Chile	9	2
Maximizar capturas	5	
Evitar episodios de sobreexplotación (biomasa por debajo del objetivo)	5	3
Maximizar la biomasa poblacional	5	
Evitar grandes cambios en las capturas de un año a otro (factor de estabilización)	2	4
Minimizar el número de viajes	0	
Que la captura esté compuesta principalmente por ejemplares de mayor tamaño	0	5

En relación con las tres preguntas planteadas al finalizar la actividad, orientadas a complementar los resultados obtenidos, los participantes destacaron los siguientes aspectos:

I. Objetivos importantes que no fueron considerados en la encuesta:

- Maximizar el valor agregado.
- Aumentar los episodios de plena explotación.
- Integrar dimensiones socioeconómicas.

II. Asuntos o temas que quedaron pendientes en el taller:

- Ante la eventualidad de un aumento en las capturas, es necesario definir el destino final de estas.

III. Aspectos por considerar en una estrategia de manejo:

- La sustentabilidad en términos del crecimiento del país, el desarrollo de la pesquería y la generación de empleo.

- La vulnerabilidad económica y social de los actores involucrados.
- Evaluar e integrar los efectos del cambio climático sobre el recurso y la actividad pesquera.
- Que Chile establezca Reglas de Control de Captura claras.
- Implementar una banda de resguardo para el aumento o reducción de la cuota que viabilice las inversiones del sector.
- Reforzar la investigación científica, especialmente en lo relativo al monitoreo, dada su importancia para la toma de decisiones.

6.1.2. Procedimientos de Manejo

- **Segunda encuesta de opinión técnica**

La encuesta alcanzó una tasa de respuesta del 27,5%, equivalente a 11 respuestas efectivas sobre un total de 40 personas convocadas. En conjunto, se registraron 21 menciones distribuidas entre las distintas áreas de participación, considerando que los encuestados podían identificarse en más de una categoría (**Figura 24**). La mayor representación correspondió a miembros del Comité de Manejo de Jurel, de la Delegación chilena en la OROP-PS, científicos y/o académicos, y miembros del Comité Científico Técnico de Jurel, cada uno con 4 menciones. El resto de las categorías presentó una menor frecuencia de menciones, en orden descendente: administradores, usuarios del sector industrial y usuarios del sector artesanal.

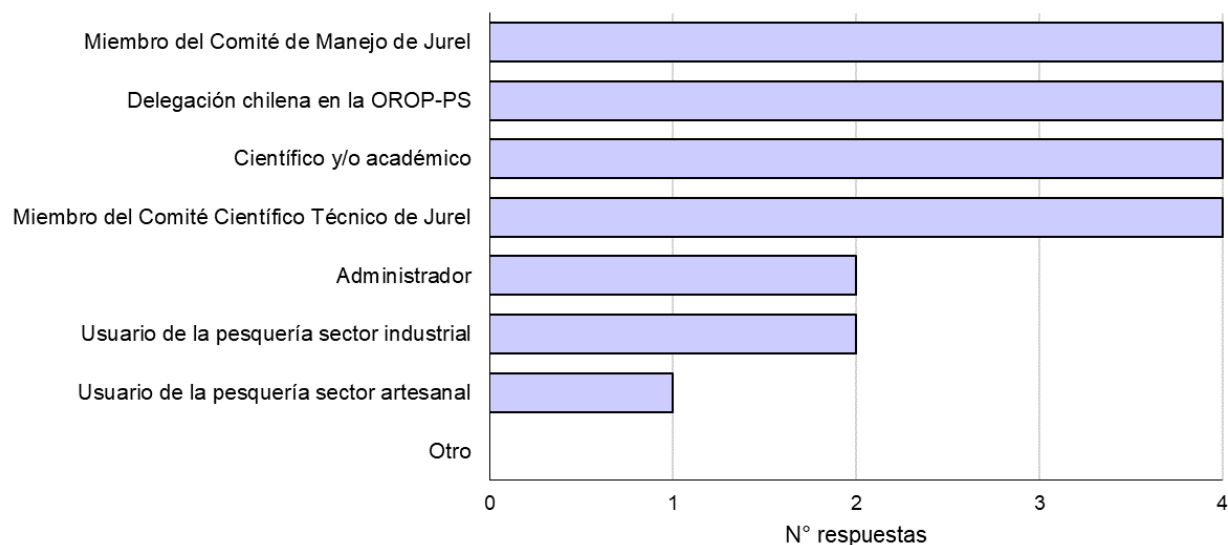


Figura 24. Área de identificación de los encuestados (respuestas múltiples).

Los resultados de la encuesta evidencian una preferencia mayoritaria por la adopción de RCC basadas en la variación del estado de la biomasa o del stock, tanto en escenarios de plena explotación (64%-55%) como en condiciones de colapso (73%) (**Tabla 20**). En contraste, el resto de los encuestados consideró más apropiado establecer porcentajes de variación predeterminados: en estado de plena explotación, las propuestas oscilaron entre disminuir la cuota entre un 10% y un 20% y aumentarla entre un 10% y un 30%. En situaciones de colapso o agotamiento, un 18% se inclinó por mantener una cuota mínima de captura, la cual fue sugerida en un rango de entre 100.000 y 300.000 toneladas.

En el caso de escenarios de subexplotación, las opiniones se mostraron más divididas (**Tabla 20**): un 45% optó por guiarse por el estado poblacional, mientras que un 36% prefirió establecer una banda de estabilización, cuyos rangos de variación propuestos fluctuaron entre un 10% y 25%. En menor medida, un 9% planteó mantener una captura máxima de 1.500.000 toneladas y otro 9% propuso aumentar la cuota en más de un 15% respecto al año anterior, con un porcentaje a evaluar en la EEM. Respecto al sistema de Banking and Borrowing (**Tabla 20**), el 64% de los encuestados se mostró de acuerdo con su implementación, considerando aceptable aplicar un porcentaje de cuota entre un 10% y un 20%. Por otro lado, un 18% aceptó únicamente el mecanismo de Banking, con un porcentaje de 10%, mientras que el 18% restante manifestó su desacuerdo con la aplicación de este sistema.

Tabla 20. Distribución porcentual de las respuestas obtenidas en las cinco preguntas cerradas de la encuesta aplicada a los participantes (n=11).

Preguntas	Respuestas	% respuestas
En caso que el recurso se encuentre en estado de plena explotación ¿Cuál considera usted que debería ser el límite máximo de disminución de la cuota total de captura entre un año y otro?	Lo que el estado de biomasa o estado poblacional indique	64%
	10%	18%
	15%	9%
	20%	9%
En caso que el recurso se encuentre en estado de plena explotación ¿Cuál considera usted que debería ser el límite máximo de aumento de la cuota total de captura entre un año y otro?	Lo que el estado de biomasa o estado poblacional indique	55%
	10%	18%
	20%	18%
	30%	9%
En caso que el recurso llegue al estado de colapso o agotamiento ¿cuál de las siguientes medidas de captura considera usted más adecuada?	Lo que el estado de biomasa o estado poblacional indique	73%
	Mantener una cuota de captura mínima (entre 100.000-300.000 t)	18%
	Establecer una cuota de captura igual a cero (cierre total de la pesquería)	9%
En caso que el recurso llegue al estado de subexplotación ¿cuál de las siguientes medidas de captura considera usted más adecuada?	Lo que el estado de biomasa o estado poblacional indique	45%
	Mantener una banda de estabilización acordada (entre un 10% y 25%)	36%
	Mantener una cuota de captura máxima (1.500.000 t)	9%
	Aumentar la cuota en más de un 15% respecto al año anterior (% a evaluar)	9%
En estado de plena explotación ¿Está usted de acuerdo con implementar el sistema de "Banking and Borrowing"?	Si (entre un 10% y 20%)	64%
	No	18%
	Solo Banking (un 10%)	18%

Respecto a las dos preguntas abiertas destinadas a recoger percepciones, sugerencias y consideraciones adicionales en relación con los procedimientos de manejo, los encuestados aportaron los siguientes comentarios:

1. ¿Qué aspectos o situaciones limitan o dificultan su actividad en la pesquería?

- Demoras administrativas de la autoridad más allá de los plazos razonables
- El sustento técnico de las evaluaciones (ejemplo: metodologías utilizadas y periodicidad/frecuencia de ellas)
- Incertidumbres existentes y/o asumidas (ejemplo: reclutamientos)
- La incertidumbre y los cambios bruscos en la cuota de pesca
- La inflexibilidad de la normativa (descarte-fauna acompañante) que no considera la alta variabilidad de la pesquería
- Alto costo por diversos tributos que el Estado ejerce sobre la pesquería, lo que desestabiliza la actividad productiva
- Condiciones climáticas
- La variabilidad ambiental
- Vacíos legales en la pesquería (Plan de Reducción de Descarte en la Zona Norte)
- Incertidumbre ambiental y legislativa
- Mayor información de flotas que operan fuera de la ZEE chilena
- Periodicidad en la realización de cruceros de evaluación hidroacústica en la Zona Centro Sur
- Mayor información sobre algunos aspectos biológicos específicos (ejemplo: alimentación)

2. ¿Qué elemento considera usted relevante incorporar en el diseño de un procedimiento de manejo para la pesquería de jurel?

- Flexibilidad para aprovechar los pulsos de buenos reclutamientos
- Evaluación de Estrategias de Manejo (EEM)
- Coherencia con lo establecido en la SPRFMO
- Se debería avanzar hacia un manejo adaptativo (ejemplo: considerar un amplio rango de factor de estabilización)
- Implementar mecanismos que permitan un mayor aprovechamiento de la buena condición del recurso
- La evaluación de stock debería considerar un nivel de reclutamiento medio o alto
- Revisar el factor de resiliencia (steepness) considerando la rápida recuperación y productividad

- Mejorar los datos de la flota fuera de la ZEE chilena
- Incorporar en el Plan de Manejo las particularidades de las distintas zonas del país
- EEM validada por la comunidad científica internacional (OROP-PS)
- Aprovechamiento de periodos altos de reclutamientos y restricción en periodos de bajos reclutamientos
- Considerar la incorporación de criterios asociados a la estructura de tallas en determinadas zonas o periodos, como medida complementaria para definir aperturas o cierres de temporada o actividad. Esto, aun cuando la pesquería cuenta con una Talla Mínima de Captura implementada, podría ser relevante en caso de observarse dificultades en este ámbito (aunque no es el caso en la actualidad)

• Segundo taller teórico-práctico

La actividad se realizó de manera presencial el martes 24 de junio de 2025, en el marco de la sesión del Comité de Manejo de Jurel, desarrollada en las dependencias del Centro de Estudios Avanzados y Extensión (CEA) de la PUCV, en la ciudad de Santiago (**Anexo 2.g**). La apertura del taller estuvo a cargo del jefe de proyecto, Dr. Cristian Canales, quien presentó el video elaborado por investigadores del proyecto¹, expuso los objetivos de la jornada, la base conceptual de los Procedimientos de Manejo y los principales resultados obtenidos a partir de la encuesta técnica. Concluida su intervención, cedió la conducción al moderador, Sr. Jorge Quezada (**Figura 25**).



Figura 25. Registro fotográfico del segundo taller teórico-práctico sobre Procedimientos de Manejo, realizado en Santiago el 24 de junio de 2025.

Consistente con los resultados de la encuesta, se evidenció una preferencia por la adopción de RCC basadas en la variación del estado de la biomasa o del stock, excepto en escenarios de

¹ <https://www.pucv.cl/uuaa/escuela-de-ciencias-del-mar/nuevo-video-educativo-explica-como-se-disenan-estrategias-de-manejo>

colapso o agotamiento (**Tabla 21**). En este último caso, los participantes enfatizaron que el cierre total de la pesquería no era una opción viable, proponiendo en su lugar mantener una captura mínima entre 270.000 y 300.000 t. En situaciones de plena explotación, se planteó que la reducción de la cuota debía realizarse de manera gradual, evitando reducciones abruptas, mediante la aplicación de un factor de estabilización interanual entre un 10% y un 15%. En contraste, para aumentos de cuota se propuso un factor de estabilización entre un 20% y un 30%, con la recomendación adicional de evaluar la factibilidad de porcentajes superiores. Estos criterios también serían aplicables en escenarios de subexplotación, incorporando además la propuesta de establecer una captura máxima de 2 millones de t.

Respecto al sistema de Banking and Borrowing (**Tabla 21**), la mayoría de los participantes manifestó su acuerdo con su implementación, proponiendo aplicar un porcentaje de cuota del 10% y sugiriendo evaluar su extensión hasta un 20%. Asimismo, se enfatizó que este sistema no debía operar bajo un esquema de Ley de Remanente. El proceso de diseño de Procedimientos de Manejo permitió avanzar en la definición de cuatro Reglas de Control de Captura para su evaluación (**Figura 26**), formuladas a partir de los planteamientos del Comité de Manejo y de las propuestas técnicas del equipo del proyecto. La validación de estas propuestas se realizó durante el tercer taller, instancia en la que se presentaron los resultados obtenidos en el segundo taller y los participantes contribuyeron con observaciones, correcciones y sugerencias (**Anexo 2.h**).

Tabla 21. Resultados obtenidos a partir de las cinco preguntas cerradas de la encuesta, en el marco del segundo taller teórico-práctico.

Preguntas	Respuestas
En caso que el recurso se encuentre en estado de plena explotación ¿Cuál considera usted que debería ser el límite máximo de disminución de la cuota total de captura entre un año y otro?	Reducir gradualmente la captura RMS (o acordada) en la proporción de B/Brms Aplicar un factor de estabilización interanual en el rango de 10% a 15% Realizar los ajustes interanuales en la cuota de captura de manera gradual, evitando reducciones abruptas
En caso que el recurso se encuentre en estado de plena explotación ¿Cuál considera usted que debería ser el límite máximo de aumento de la cuota total de captura entre un año y otro?	Aumentar la captura RMS (o acordada) en la proporción de B/Brms. Aplicar un factor de estabilización interanual en el rango de 20% a 30% Evaluar la factibilidad de aplicar porcentajes superiores al 30%
En caso que el recurso llegue al estado de colapso o agotamiento ¿cuál de las siguientes medidas de captura considera usted más adecuada?	Mantener una cuota de captura mínima (entre 270.000-300.000 t) No se acepta un cierre de la pesquería (captura=0)
En caso que el recurso llegue al estado de subexplotación ¿cuál de las siguientes medidas de captura considera usted más adecuada?	Aumentar la captura RMS (o acordada) en la proporción de B/Brms Aplicar un factor de estabilización interanual en el rango de 20% a 30% Evaluar la factibilidad de aplicar porcentajes superiores al 30% Mantener una captura máxima de 2.000.000 t
En estado de plena explotación ¿Está usted de acuerdo con implementar el sistema de “ Banking and Borrowing ”?	Si, entre un 10% a 20%. Que no opere bajo un esquema de Ley de Remanente

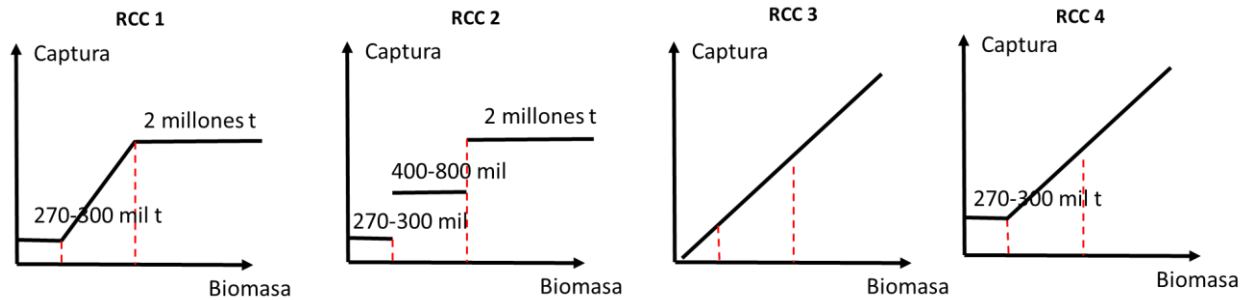


Figura 26. Reglas de Control de Captura (RCC) propuestas por el Comité de Manejo para su evaluación.

Respecto a las dos preguntas abiertas destinadas a recolectar percepciones, sugerencias y consideraciones adicionales en relación con los Procedimientos de Manejo, los participantes aportaron los siguientes comentarios:

1. ¿Qué aspectos o situaciones limitan o dificultan su actividad en la pesquería?

Las intervenciones permitieron identificar limitaciones en cinco dimensiones del sistema pesquero: (i) tecnológicas y estructurales, (ii) normativa y gestión, (iii) ambientales y biológicas, (iv) información científica y (v) gobernanza. A continuación, se detallan los principales aspectos mencionados por los participantes en cada una de estas dimensiones:

Tecnológicas y estructurales:

- Flota industrial obsoleta y envejecida. Flota artesanal con bajo nivel de tecnificación y falta de equipamiento adecuado para mantener la captura
- Esfuerzo pesquero basado en estructuras antiguas, no adaptadas a los requerimientos actuales
- Déficit en la implementación de embarcaciones y plantas de proceso orientadas al consumo humano

Normativa y gestión:

- Normativa cambiante o imprevista, que introduce incertidumbre
- Nuevo sistema de fraccionamiento de cuotas que genera costos adicionales y desincentivos
- Alta carga tributaria sobre las actividades pesqueras
- Incertidumbre respecto a las cuotas de captura asignadas

Factores ambientales y biológicos:

- Cambios oceanográficos y variabilidad ambiental creciente
- Disponibilidad fluctuante del recurso
- Cambios en la distribución espacial del stock (desplazamiento)

Información científica:

- Escasa confianza en los datos de entrada a los modelos de evaluación
- Déficit de datos confiables debido a la discontinuidad en los cruceros acústicos y proyectos de investigación
- Alta incertidumbre en las estimaciones científicas del estado del stock
- Débil monitoreo de variables clave, incluidos indicadores ambientales

Gobernanza:

- Falta de garantías en el cumplimiento de objetivos de manejo común por parte de los otros Estados
- Dificultades para coordinar acciones efectivas en el ámbito regional

2. ¿Qué elemento considera usted relevante incorporar en el diseño de un Procedimiento de Manejo para la pesquería de jurel?

Se señalaron diversos elementos relevantes para el diseño de MP, destacando la importancia de una estrategia de largo plazo, una base científica robusta, la incorporación de consideraciones ecosistémicas y socioeconómicas, así como una adecuada estructura operativa y coordinación internacional:

Enfoque estratégico y visión de largo plazo:

- Un Procedimiento de Manejo efectivo debe estar sustentado en una visión de largo plazo, idealmente de 10 años, acompañada de un sistema de monitoreo y evaluación anual. Este horizonte debe garantizar la sustentabilidad ecológica y socioeconómica de la pesquería, equilibrando los intereses productivos y de conservación.

Base científica y calidad de información: Es indispensable contar con datos confiables y actualizados que permitan alimentar los modelos de evaluación y apoyar la toma de decisiones. Esto incluye:

- Estudios científicos continuos
- Cruceros acústicos sistemáticos
- Evaluaciones periódicas del estado de la biomasa
- Actualización de parámetros y medidas de manejo según evidencia científica

Consideraciones ecosistémicas y ambientales: Se debe incorporar una comprensión del impacto de la pesquería en el ecosistema marino. Se requiere evaluar el comportamiento de la biomasa frente a:

- La mortalidad por pesca
- Cambios oceanográficos y ambientales
- Variables biológicas y pesqueras, considerando también factores externos

Estabilidad y sustentabilidad de la actividad productiva: Uno de los principales objetivos debe ser la estabilidad de la pesquería, tanto en términos biológicos como económicos. Para ello se debería considerar:

- Evaluación de las consecuencias económicas de distintas decisiones
- Consideraciones de diferentes escenarios de reclutamiento y cambios recientes en la dinámica de la pesquería

Estructura operativa del MP: Se debe establecer una estructura de decisión clara, con las siguientes características:

- RCC explícitas, vinculadas a objetivos de manejo y umbrales de agotamiento
- Criterios explícitos en la toma de decisiones
- Acciones diferenciadas según el estado de la pesquería
- Flexibilidad y adaptabilidad para responder a cambios en el sistema
- Participación efectiva de los distintos actores relevantes

Coordinación internacional y gobernanza regional:

- Se requiere la articulación internacional en el manejo OROP-PS para concordar acciones en los países miembros destinadas al aseguramiento de la lógica y coherencia entre las escalas nacionales y las regionales

6.1.3. Fuentes de incertidumbre

- **Tercer taller teórico-práctico**

La actividad se llevó a cabo de manera presencial el martes 29 de julio de 2025, en el marco de la sesión del Comité de Manejo de Jurel, realizada en las dependencias del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, en la ciudad de Santiago (**Anexo 2.h**). La apertura del taller estuvo a cargo de la profesional Nazareth Sánchez, quien presentó el programa del proyecto, los resultados obtenidos en los talleres previos, la base conceptual sobre las fuentes de incertidumbre y el objetivo de la jornada. Concluida su intervención, cedió la conducción de la sesión al moderador, Sr. Jorge Quezada (**Figura 27**). Cabe destacar que la revisión de los resultados de los talleres previos permitió incorporar correcciones y ajustes, así como consolidar los principales aspectos a considerar en los Procedimientos de Manejo (ver punto 6.1.2).



Figura 27. Registro fotográfico del tercer taller teórico-práctico sobre fuentes de incertidumbre, realizado en Santiago el 29 de julio de 2025.

Los participantes identificaron y expusieron las principales fuentes de incertidumbre que, bajo su percepción, influyen en la dinámica del sistema biológico-pesquero. Estas fueron clasificadas en 5 ámbitos: (i) pesquería, (ii) manejo, (iii) datos, (iv) biología y (v) ambiente y evaluación. Cada uno de estos ámbitos reúne factores específicos que, según los participantes, inciden en la precisión de las evaluaciones, en la formulación de estrategias y en la gestión de la pesquería, los que se describen en la **Tabla 22**. En términos generales, los ámbitos más destacados por los participantes fueron las incertidumbres asociadas a los datos y al ambiente y evaluación (**Anexo 2.h**).

Se destacó que no todas las variables y objetivos operacionales son factibles de incluir en los modelos de simulación, pues varias de estas escapan al espacio de un modelo biológico-pesquero y porque otras están estrechamente correlacionadas, por ejemplo, el nivel de captura involucra empleo, estabilidad, proyección de la industria, beneficios económicos, entre otros.

Tabla 22. Fuentes de incertidumbre identificadas por el Comité de Manejo y su clasificación en cinco ámbitos: (i) pesquería, (ii) manejo, (iii) datos, (iv) biología y (v) ambiente y evaluación.

Ámbito	Fuente de incertidumbre
Pesquería	- Evaluar si el esfuerzo pesquero puede modelarse de manera ordenada, considerando su distribución temporal, podría optimizar el manejo de las capturas - La mezcla de recursos en un mismo volumen de agua, como caballa y jurel en el norte de Chile, introduce incertidumbre debido a la preferencia por especies de mayor valor comercial - Los descartes y el subreporte afectan la precisión de los datos - El destino final de la pesca influye en las estrategias de captura cuando el recurso está disponible
Manejo	- La normativa y regulación establecen el marco para el control de capturas, donde la tecnología empleada, el fraccionamiento y el almacenamiento son determinantes - La regulación de prácticas y la implementación de planes de manejo flexibles, alineados con el ciclo de vida de la especie, mejoran la adaptabilidad - El enfoque en el consumo humano como destino principal condiciona las exigencias tecnológicas y la infraestructura requeridas, impactando la gestión operativa
Datos	- La modalidad de recolección de datos, como transectas o cruceros, y su periodicidad influyen en la representatividad de la información - Las capturas reflejan más la disponibilidad que la biomasa real, lo que obliga a realizar proyecciones basadas en muestreos - La metodología de levantamiento de datos y el tamaño de la muestra de referencia, junto con la cercanía a la costa, introducen sesgos al extrapolar las capturas a la existencia real en el mar
Biología	- El conocimiento del ciclo de vida del jurel, incluyendo la evaluación de stocks diferenciados (alto/bajo) - La madurez del stock y el crecimiento individual determinan la capacidad reproductiva y resiliencia de la población - Considerar las hipótesis sobre unidades de stock - La ojiva de madurez considerando las nuevas evidencias de las edades
Ambiente y Evaluación	- La variabilidad ambiental, como los fenómenos de El Niño y La Niña, altera las condiciones del hábitat, afectando la distribución y disponibilidad del recurso - Los reclutamientos variables y las fluctuaciones de temperatura impactan directamente en la dinámica poblacional - Considerar los cambios en los niveles de reclutamiento - Incluir la depredación de los lobos marinos (mortalidad) - La incertidumbre en las proyecciones a largo plazo complica la evaluación y manejo sostenible de las pesquerías

6.1.4. *Síntesis del objetivo específico 1*

El desarrollo de este objetivo se abordó mediante tres talleres teórico-prácticos presenciales con el Comité de Manejo del Jurel y dos encuestas on-line dirigidas a otros actores relevantes de la pesquería, con el propósito de identificar:

- i. Objetivos operacionales e indicadores de desempeño: Se identificaron lineamientos orientados principalmente a la sostenibilidad del recurso, priorizando evitar estados de sobreexplotación y sobrepesca. Asimismo, se destacaron los objetivos asociados al desempeño de la pesquería, tales como maximizar las capturas cuando las condiciones del recurso lo permitieran y reducir la variabilidad interanual de las cuotas.
- ii. Procedimientos de manejo: Los participantes señalaron que, ante escenarios de agotamiento, no se consideraba aceptable el cierre de la pesquería, proponiéndose mantener una captura mínima entre 270 y 300 mil t. Por otra parte, en condiciones de subexplotación se sugirió evaluar capturas cercanas a 2 millones de t. Complementariamente, se propusieron mecanismos orientados a reducir la variabilidad interanual de las cuotas, incluyendo límites de estabilización entre 10–15% para reducciones y 20–30% para incrementos, así como la implementación de un sistema de *Banking & Borrowing* entre 10–20%, con preferencia mayoritaria por un 10%. En concordancia con estas preferencias, se propuso evaluar cuatro reglas de control de captura: (i) rampa, (ii) escalonada, (iii) lineal y (iv) lineal con captura mínima en condición de colapso.
- iii. Fuentes de incertidumbre: Las principales observaciones estuvieron asociadas a las metodologías de recopilación de datos, así como a los efectos de la variabilidad ambiental sobre la dinámica del recurso y a la incertidumbre asociada a la evaluación de stock en las proyecciones de largo plazo.

6.2. Objetivo específico 2: Identificar, representar y evaluar explícitamente escenarios estratégicos alternativos de interés sectorial, fortaleciendo la posición nacional en el marco de la OROP-PS.

6.2.1. Información nacional

La Evaluación de Estrategias de Manejo en la pesquería de jurel se ha posicionado como un tema central en el marco de la OROP-PS, lo que ha impulsado su creciente relevancia en el ámbito nacional. En este contexto, el IFOP ha brindado asesoría técnica continua al Comité Científico Técnico de Jurel durante los años 2023 y 2024 (**Anexo 3**), periodo en el cual se han discutido y consensado aspectos clave para el diseño de los modelos operativos, los procedimientos de manejo y los estadísticos de desempeño, entre otros. Estos avances se han abordado principalmente en dos instancias: (i) Taller nacional 1 de avance en la EEM, realizado en 2023 y (ii) el segundo taller sobre EEM, llevado a cabo en 2024.

- **Asesoría de IFOP al Comité Científico Técnico de Jurel en el año 2023**

Un taller de trabajo fue planificado con el objetivo de dar a conocer al CCT-J la actualización de los datos e información preparados para la XI reunión del Comité Científico de la OROP-PS, los principales resultados obtenidos en términos del status del stock y de la captura biológicamente aceptable, y los avances en la implementación de la EEM. El taller se realizó en noviembre de 2023 y fue abierto con invitación a la SUBPESCA, Instituto de Investigación Pesquera (INPESCA) y al Departamento de Evaluación de Recursos (DER) de IFOP. En relación con los avances en el desarrollo y aplicación de la EEM en jurel, presentados en el documento “SC11-JM16 Conditioning of OMs and exploratory evaluation of candidate management procedures for SPRFMO JM (JMWG-MSE)”, se destacan los siguientes aspectos:

Condicionamiento de Modelos Operativos (MO): Los MO están condicionados a los datos disponibles utilizando la última versión del Joint Jack Mackerel Model, JJM (SPRFMO, 2022). La información empleada corresponde a los mismos datos utilizados en la última evaluación de stock (SPRFMO 2022, Anexo 8, modelo 1.02). Las ejecuciones del modelo se realizaron a partir de archivos de entrada disponibles en el repositorio GitHub JJM de SPRFMO.

Grilla de MO alternativos: Se consideraron formulaciones alternativas de MO para los siguientes elementos: (i) la pendiente (“steepness”) de la relación stock-recluta, (ii) la mortalidad natural, (iii) el modelo de crecimiento y peso a la edad y (iv) el aumento de la eficiencia del esfuerzo (“effort creep”) en las flotas pesqueras.

Incertidumbre de parámetros: La incertidumbre se estima con un procedimiento Monte Carlo de la cadena de Markov (MCMC), el cual se realiza utilizando el muestreador No-U-Turn (NUTS) (Monnahan & Kristensen, 2018). El muestreo se ejecuta durante un total de 12.500 iteraciones en dos cadenas, de las cuales una quinta parte se utiliza como período de “quemar” y la cadena se reduce en una de cada 10 iteraciones. Finalmente, se utiliza una muestra aleatoria de 500 iteraciones de cada ejecución del modelo para completar los modelos operativos.

Pruebas de simulación: Las especificaciones de simulación para las ejecuciones de la EEM son las siguientes:

- Las simulaciones comienzan en 2023 y finalizan en 2040
- Los datos y el manejo tienen retrasos de 1 año, por lo que cada año los datos están disponibles hasta el año anterior y el manejo se aplica al año siguiente. Para algunos índices individuales de abundancia, el retraso de los datos se establece en dos años para reflejar la situación actual
- Frecuencia de manejo (gestión) de 3 años, por lo que la asesoría se implementa por un periodo de 3 años
- El número de iteraciones en las simulaciones se establece en 500

Supuestos de las simulaciones: La dinámica futura de los MO se establece suponiendo los valores informados por aquellos que estima el proceso de condicionamiento. Por defecto, la biología futura (peso por edad, madurez, entre otros) y los procesos pesqueros (selectividad) se establecen en el futuro como promedios de los valores estimados o de entrada durante el período más reciente (3 años).

Simulaciones de reclutamiento: Se basan en el modelo stock-recluta de Beverton y Holt instalado en JJM mediante el procedimiento de condicionamiento. Las desviaciones sobre esta relación se usan en las proyecciones de los reclutamientos futuros. Para tener en cuenta la variabilidad intrínseca y extrínseca, se ha establecido que las desviaciones tienen una distribución de probabilidad lognormal, con varianza y con autocorrelación de un rezago igual a 1, las cuales se calculan a partir de las desviaciones devueltas por el MCMC del condicionamiento del MO.

Generación de datos futuros: Se evaluó el efecto del aumento de la eficiencia del esfuerzo pesquero (“effort creep”) usada para corregir los índices de abundancia. Se llevó a cabo una prueba con el caso base del modelo de evaluación de stock, considerando niveles de corrección bajos (0%) y altos (2,5%) en todos los índices. El efecto sobre la dinámica del stock parece ser limitado. Los posibles aumentos futuros en la eficiencia de la CPUE podrían incorporarse mediante cambios en el tiempo en el parámetro $\alpha\alpha$ de la relación mortalidad por pesca y esfuerzo utilizado para proyectar las pesquerías en el futuro tanto en la captura como en la CPUE.

Incertidumbre de las capturas: Se considera el error de observación en los conjuntos de datos de captura por edad y captura por talla para que sigan una distribución lognormal con una varianza fija (0,2 en escala logarítmica), igual para todas las flotas.

MP candidatos: Los pasos considerados en la configuración actual de simulación son: (i) recopilación de datos, (ii) estimación del estado, (iii) regla de decisión, (iv) sistema de implementación y (v) error de implementación. Los MP incluidos son:

MP 1: Modelo actual de evaluación de stock suponiendo una sola unidad de stock (SPRFMO, 2022), aplicando una regla de captura tipo rampa y la asignación de capturas por flota (jjms.sa + hockeystick.hcr + splitcatch.is).

MP 2: Sin modelo de evaluación. Este procedimiento de manejo establece que el estado de la población está determinado por una tasa de explotación relativa, calculada por la captura total / indicador relativo del tamaño de la población (como un índice de biomasa acústica). Recientemente se ha propuesto y probado para la gestión de poblaciones para las que no se dispone de una evaluación de stock (Fischer et al., 2022).

MP 3: Implementación de “shortcut” para sustituir la evaluación del stock por una observación directa de la abundancia con algún nivel de error establecido en la métrica observada, en este caso SSB. El asesoramiento de TAC se divide entre las flotas utilizando sus proporciones relativas actuales, calculadas como un promedio de las notificadas durante los últimos tres años.

Estadísticas de desempeño: El conjunto de estadísticas de desempeño se ha definido para informar sobre cuatro ejes principales que permiten evaluar la efectividad de los procedimientos de manejo candidatos: estado del stock, riesgo de conservación, niveles de captura y variabilidad en las capturas (**Tabla 23**).

Tabla 23. Estadísticas de desempeño para evaluar la efectividad de los MP candidatos.

Nombre	Descripción	Fórmula
SBMSY	SB (Biomasa desovante) promedio relativo a SB_{MSY}	~ Promedio anual (SB/SBMSY)
FMSY	Mortalidad media por pesca en relación con F_{MSY}	~ Promedio anual (F/FMSY)
PSBMSY	Probabilidad de SB mayor o igual a SB_{MSY}	~ Promedio anual ((SB/SBMSY) >= 1)
PSBlim	Probabilidad de que SSB esté por encima B_{lim}	~ Promedio anual ((SB/SBlim) > 1)
C	Captura media por año	~ Promedio anual (C)
IACC	Cambio interanual porcentual en la captura	~ 100 * Sumas anuales (abs (C[, -1] - C[, -dim(C)[2]]))/sumas anuales (C)
PCO	Probabilidad de cierre de la pesca ($CC < MSY \cdot 0.1$)	~ yearSums(C < 0.1 * MSY)/dim(C)[2]
green	Probabilidad de estar en el cuadrante verde del “Kobe plot”	~ Sumas anuales (FLQuant((SB/SBMSY) > 1 & (F/FMSY) < 1))/dim(SB)[2].

Sintonización (“tuning” o puesta a punto) de los procedimientos de manejo: Los MP se pueden establecer para lograr un objetivo principal, en un período de tiempo determinado y con cierta probabilidad, encontrando el valor preciso de uno o más parámetros que pueden alterar su desempeño. Por ejemplo, un MP (basado en “shortcut” de la evaluación de stock) que en el período 2027-2036 logre alcanzar probabilidades del 50%, 60% o 70% de $SB \geq SB_{MSY}$ y $F \leq F_{MSY}$ (**Figura 28** y **Figura 29**). Esta condición corresponde a una estadística de desempeño comúnmente referida como estar en el área verde del “Kobe plot”, acordada por las OROP de túnidos (Merino et al., 2020) y adoptada progresivamente por otros organismos.

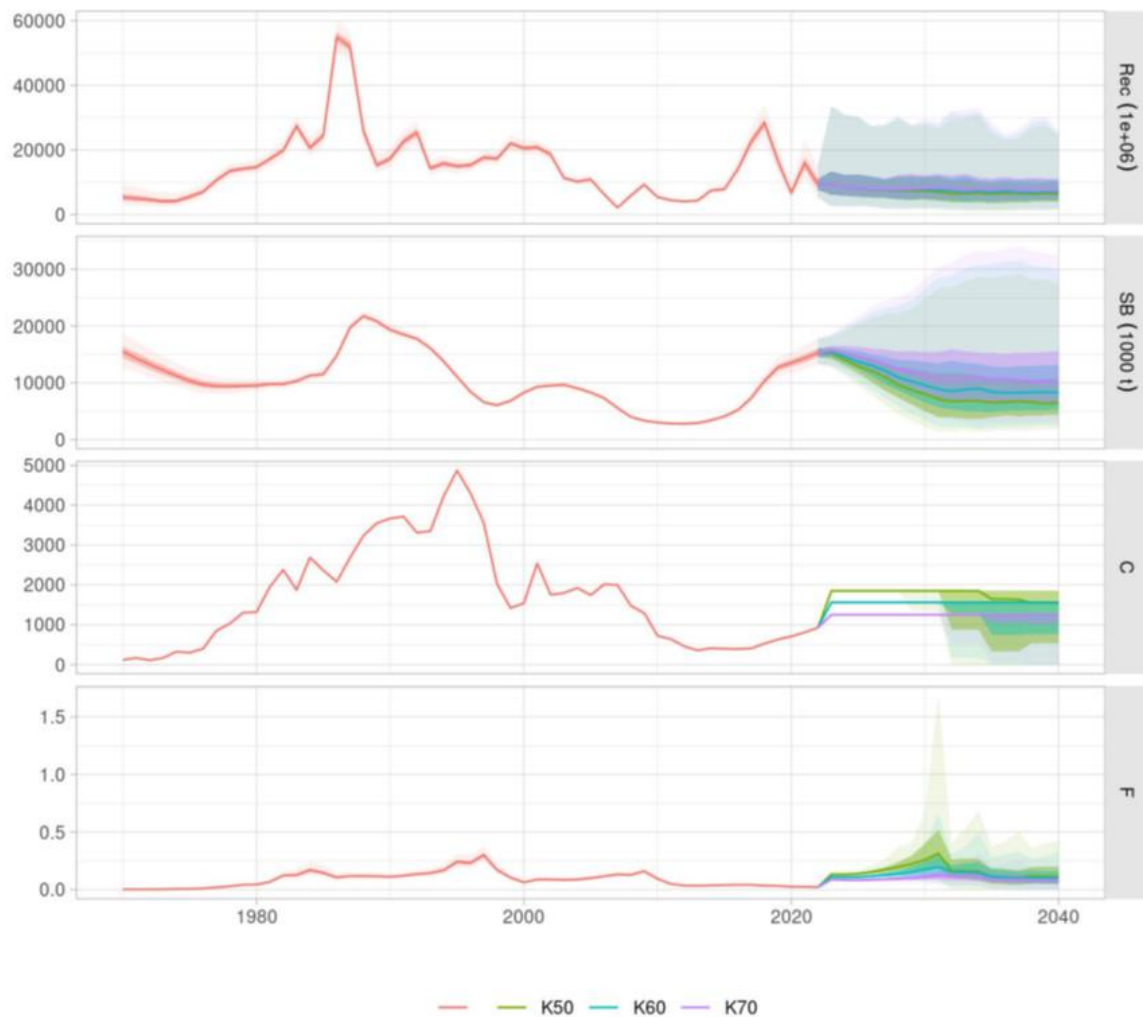


Figura 28. Reclutamiento (Rec), biomasa del stock reproductor (SB), captura total (C) y mortalidad por pesca (F) para el MP basado en “shortcut”, ajustado a probabilidades de 50%, 60% y 70% de caer en el área verde del “Kobe plot” en el período 2027-2036 (Fuente: Extraído de SC11 – JM16).

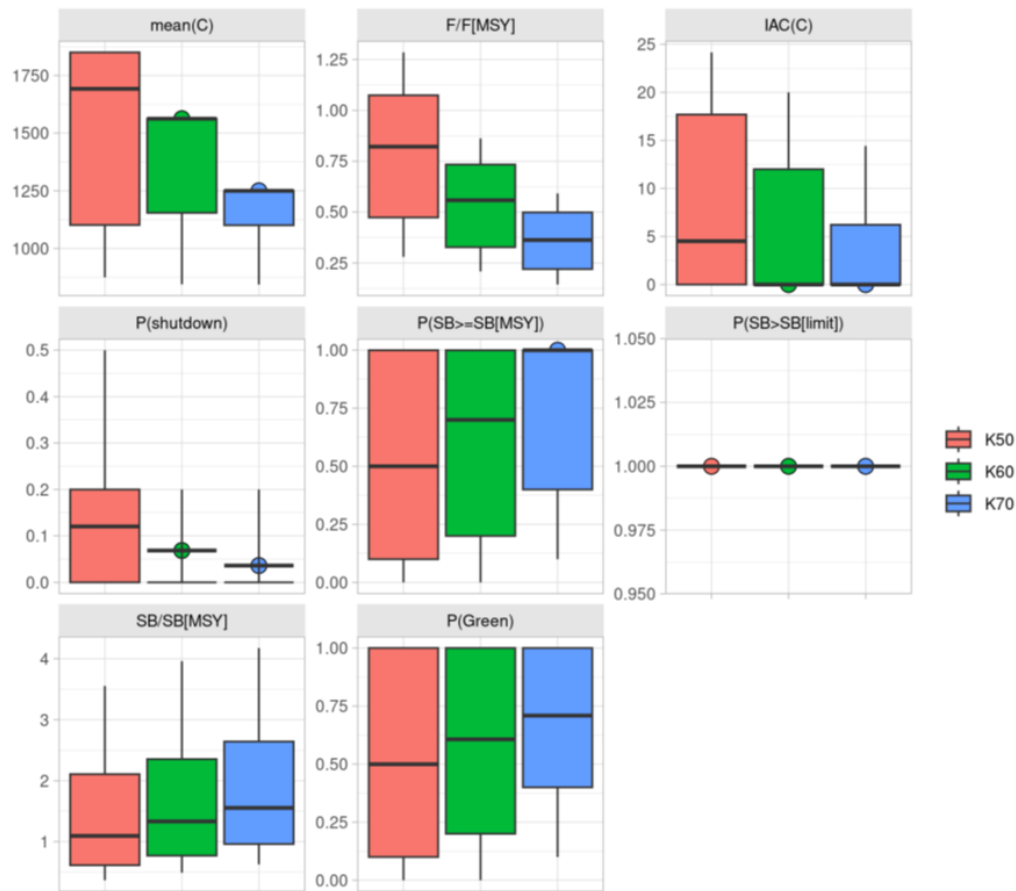


Figura 29. Distribución de valores para un rango de estadísticas de rendimiento calculadas para los MP basados en “shortcut”, ajustados a probabilidades del 50%, 60% y 70% de caer en el área verde del “Kobe plot” en el período 2027-2036 (abajo) (Fuente: Extraído de SC11 – JM16).

➤ *Comentarios y observaciones planteadas durante la discusión*

SUBPESCA indicó que en el MO de una sola unidad de stock debería incluirse un único modelo de crecimiento y excluir el modelo de crecimiento de Perú, ya que este último se usa en el MO de dos unidades de stock. IFOP, por su parte, considera que dentro de un stock pueden existir diferencias locales en los modelos de crecimiento, especialmente por las temperaturas más altas en Perú.

Sobre los resultados preliminares de la EEM de captura constante, estos muestran que la moda de las proyecciones de reclutamiento es constante a través de los años de proyección. Se indicó que esto no es consistente con toda la variabilidad histórica del reclutamiento y parece que sólo se consideró el período de reclutamientos bajos y que estas proyecciones no consideran el efecto probable de El Niño 2023-2024. INPESCA sugirió analizar el uso de reclutamientos espasmódicos o por pulsos para los MO.

Se señaló que los estimados de los reclutamientos de los últimos años pueden estar afectados por la baja presencia de reclutas en la matriz de captura a la edad de la flota industrial de la zona norte de Chile. Esta no sería una disminución de la abundancia de reclutas sino un cambio en las áreas de operación de la flota industrial producido por el cierre administrativo de las primeras 5 millas a la pesca industrial. Antes del cierre, la pesca industrial pescaba peces pequeños en cardúmenes de peces costeros. Tras el cierre, dicha flota pesca peces grandes en cardúmenes de peces grandes. Los peces pequeños estarían entre la III y V milla, donde no pueden pescar los industriales y los artesanales casi no operan, ya que estos últimos pescan en la I y II milla.

En relación con la hipótesis de que la variabilidad ambiental afecta el crecimiento individual, resultados preliminares indican una alta estabilidad en el crecimiento y plantean la hipótesis de que el jurel es lo suficientemente móvil para buscar y permanecer en hábitats adecuados que le permitan mantener su peso por edad estable.

Las tasas de migración propuestas para el MO que considera la hipótesis de dos unidades de stock conectadas, fue desechada por SUBPESCA y consideró que las bajas tasas de mezcla no son realistas. En este contexto, se señaló la necesidad de analizar una estrategia que permita considerar tasas más altas, que sean consistentes con los resultados de los estudios genéticos que estiman un alto grado de mezcla. Se destacó que las tasas de migración estimadas desde los estudios genéticos son tasas bidireccionales y no consideran múltiples áreas, por lo que no permiten estimar las tasas de movimiento desde un área al resto de todas las otras áreas, y que además sumen uno, como está programado en el MO de jurel.

- **Asesoría de IFOP al Comité Científico Técnico de Jurel en el año 2024**

Se realizó un segundo taller con el objetivo de repasar los elementos conceptuales de la EEM, presentar ejemplos de aplicación en otras organizaciones y exponer un ejercicio realizado sobre la aplicación de la plataforma FLR desarrollada para el jurel. Los principales comentarios planteados por Chile fueron:

1. Si el actual MP ha funcionado bien y ha permitido la recuperación del stock, ¿por qué modificarlo? Se comentó que el objetivo es generar un MP simple y transparente para los miembros de la comisión, el cual sea rápido y reduzca la complejidad de la asesoría.
2. En relación con el MP basado en capturas constantes por períodos de 3 años, donde se producen caídas de magnitud importante en los niveles de capturas, las cuales parecen difíciles de implementar para las industrias pesqueras, se sugirió incluir un indicador de desempeño que estime la probabilidad de caídas fuertes de la captura por año.

3. Dada la importancia de la pesquería de jurel para Chile, y considerando que los sistemas de monitoreo y evaluaciones de stock anuales están funcionando en Chile y que seguirán funcionando, se sugirió disminuir la ponderación del argumento de reducir la carga de trabajo de realizar anualmente la evaluación de stock para justificar la aplicación de un procedimiento de manejo basado en datos o indicadores como la CPUE. Esto es especialmente relevante dado que, en los últimos años, se han producido cambios en la distribución del jurel que podrían afectar el índice basado en CPUE. El Dr. Hintzen respondió que esto podría ser evaluado con un test de robustez en la EEM.
4. Se indicó que las capturas y las CPUE son variables que pueden ser interpretadas en el ámbito económico.

Durante la segunda reunión con el CCT-J, se discutió la propuesta de un diseño experimental para combinar los tres MO y los dos MP (**Tabla 24**). También se analizó la propuesta sobre un sistema de decisión alternativo, basado en evaluar los MP más simples (“ShortCut”) a través de los diferentes MO, dado que el sistema completo de retroalimentación (“Full EEM”) sobre todo el diseño experimental es costoso y riesgoso. El CCT-J analizó el documento de “harveststrategies.org” que describe las diferencias entre un Full_EEM y un Shortcut. El CCT-J estuvo de acuerdo con la propuesta del EEMWG de aplicar el “shortcut” a un amplio rango de MP y seleccionar un rango reducido para luego aplicar el “Full EEM”. Se consideró realizar el análisis de las siguientes RCC:

1. Alcanzar el 50% del RMS en un plazo de dos años y luego aplicar el estabilizador de capturas de $\pm 15\%$ de la cuota del año anterior.
2. Aplicar multiplicadores de F actual (Fmult) de 1,5; 2,0; 3,0 veces F2023.
3. Estabilizadores de captura de -15% a +15%, -15% a +30%, y de -15% a +50%.
4. Reglas de captura escalonadas:
 - a. Primer escalón de 50%RMS y un segundo escalón de 60% más bajo que el anterior
 - b. Primer escalón de 50%RMS y un segundo escalón de 70% más bajo que el anterior
 - c. Duplicar la cuota el primer año y luego aplicar el estabilizador del $\pm 15\%$
 - d. Capturas fijas cada 3 años basadas en la curva de proyección de las capturas al RMS

Tabla 24. Diseño experimental de los modelos operativos (OM) y los procedimientos de manejo (MP).

OM	MP	
	1	2
1	- Direct observation (oem) - Single estimator (est) - Single HCR (hcr) - TAC split by fleet (isys) - N fleet catch set by 2 stock SA / indicator (iem) - Simple projection (fwd.om)	- Split observations (oem) - 2-stock estimator (est) - Separate HCRs applied to N & S (hcr) - TAC on S split by fleet (isys) - Simple projection (fwd.om)
2	- Aggregated observation (oem) - Single estimator (est) - Single HCR (hcr) - TAC split by fleet (isys) - N fleet catch set by 2 stock SA / indicator (iem) - Simple projection (fwd.om)	- Direct observation (oem) - 2-stock estimator (est) - Separate HCRs applied to N & S (hcr) - TAC on S split by fleet (isys) - Simple projection (fwd.om)
2+	- Aggregated observation (oem) - Single estimator (est) - Single HCR (hcr) - TAC split by fleet (isys) - N fleet catch set by 2 stock SA / indicator (iem) - Projection with movement (fwdmov.om)	- Direct observation (oem) - 2-stock estimator (est) - Separate HCRs applied to N & S (hcr) - TAC on S split by fleet (isys) - Projection with movement (fwdmov.om)

En la tercera reunión del CCT-J de 2024, se presentaron los “Avances en el desarrollo y primera aplicación de la EEM en la OROP-PS”, los cuales abordaron dos aspectos principales: (i) actualización del condicionamiento de los modelos operativos y (ii) el uso de la plataforma OpenMSE para el testeo de modelos operativos y procedimientos de manejo. Los estadísticos de desempeño se presentan en la **Tabla 25**, y los conjuntos de MO considerados son:

Casos Base: H1. Un stock JJM model 1.07, $h=0.65$.

H2. Dos stocks JJM model 1.07, $h=0.65$.

Set de referencia: H2m. Dos sub-stocks JJM model 1.07, tasas de movimiento basadas en el ajuste del programa SEAPODYM.

H1h80, Un stock JJM model 1.07, escarpamiento alto (steepness $h=0.8$).

H2h80, Dos stocks JJM model 1.07, escarpamiento alto (steepness $h=0.8$).

Set de robustez: H1lowrec & H2lowrec, reclutamientos futuros bajos.

Los procedimientos de manejo considerados son:

Modelo-basado JJM (full-feedback jjm) + hockeystick HCR

CPUE- indicador de estatus basado en CPUE + tendencia y pendiente HCR

Tasa captura relativa ($C/CPUE$) + buffer HCR

Tabla 25. Estadísticos de desempeño.

Familia	Nombre	Descripción
Estatus	SBMSY	Biomasa desovante media relativa a SBMSY
	FMSY	Mortalidad por pesca media relativa a FMSY
	Green	Probabilidad de estar en el cuadrante Kobe verde
	PSBMSY	Probabilidad de la BD por sobre SBMSY
Seguridad	PSBlim	Probabilidad de BD por sobre SBlim
	PC0	Probabilidad de cerrar la pesquería
Rendimiento	C	Captura promedio
Estabilidad	IACC	Porcentaje de cambio interanual en capturas
	IACK	Porcentaje de cambio interanual en estatus Kobe

6.2.2. Información internacional

- **Avances en la Evaluación de Estrategias de Manejo en la OROP-PS**

En el marco internacional, la información recopilada se basó en los avances de EEM realizados por la OROP-PS, organismo que, desde su creación, ha impulsado un proceso de gestión pesquera reconocido por sus resultados. Uno de los hitos más relevantes ha sido la recuperación de la población de jurel, que estuvo al borde del colapso a mediados de la década de 2010. En 2013, el Comité Científico (CC) de la OROP-PS ofreció estimaciones provisionales de F_{msy} y B_{msy} para facilitar el desarrollo de un plan de reconstrucción y conservación alineado con los objetivos de la Comisión. Posteriormente, durante la segunda reunión de la OROP-PS, celebrada en Ecuador en enero de 2014, la Comisión aprobó el Anexo K (COMMO2-Report), que describe la implementación de un plan de reconstrucción y conservación destinado a asegurar el crecimiento sostenido de la biomasa del stock reproductor de jurel (SSB) hasta al menos el 80% de B_{msy} (o un proxy adecuado). Para lograr los objetivos de la OROP-PS, es necesario revisar y evaluar el plan de reconstrucción y conservación mediante la implementación de una RCC, siguiendo los pasos:

- Desarrollar un modelo operativo que permita evaluar el desempeño de la RCC bajo condiciones desconocidas e inciertas
- Evaluar RCC alternativas para establecer límites de captura anuales como parte del plan de reconstrucción y conservación

- Proponer métricas de desempeño que permitan a la Comisión evaluar esta y otras RCC basándose en estadísticas de rendimiento, tales como: (i) lograr un incremento en la biomasa dentro de un periodo de tiempo determinado, (ii) mantener una captura esperada y controlar su variabilidad, (iii) minimizar los riesgos de disminución de la biomasa, y (iv) establecer un tiempo esperado para alcanzar un porcentaje previamente acordado de SSB no explotada (actualmente representado por el 80% de Bmsy).

Desde 2014, la Comisión ha utilizado los puntos de referencia biológicos descritos en el Anexo K del Informe COMMO2. Durante la segunda reunión del Comité Científico en septiembre de 2014, el Anexo K fue enmendado para incluir una regulación destinada a mejorar la estabilidad de las capturas totales permisibles (TAC). Esta enmienda, conocida como "Anexo K ajustado", permite fluctuaciones anuales de las capturas entre -15% y 15%.

En 2020, el CC inició un proyecto para evaluar la RCC del Anexo K, adoptada por la Comisión en 2014. Este proyecto ha incorporado las modificaciones adoptadas en la 10ª Reunión del CC del año 2022, en la cual se revisaron los puntos de referencia biológicos del Anexo K y se estableció un punto de referencia límite (Blim; con B representando la biomasa desovante). Como resultado, la RCC utilizada en este proyecto, basada en el Anexo K del Informe COMMO2, la HCR del "Anexo K ajustado" del Informe SC2, y las discusiones de la 10ª reunión del CC, incluye las siguientes directrices:

1. Si se estima que la biomasa en el próximo año se ubica por debajo de Blim, entonces el TAC se establece en cero y se prohíbe la pesca dirigida de jurel. Blim se calcula a partir de la razón $y_{lim} = \min (B_t/B_o(t))$; es decir, la razón más baja de la biomasa reproductiva histórica en relación con la no explotada.
2. Si B está por debajo del 80% de Bmsy (o un proxy), la captura límite para el próximo año se basaría en el mínimo del actual F o Fmsy, lo que significaría que, en teoría, B no disminuiría. Si la captura sobrepasa el rendimiento de reemplazo (es decir, el nivel de captura límite que resulta en el mismo B para el año siguiente), la TAC se establecerá en el rendimiento de reemplazo. Esto significaría que, como mínimo, la biomasa se mantendría estable y no disminuiría.
3. Si B está por encima del 80% de Bmsy (o un proxy), la captura límite para el próximo año se basará en el Fmsy estimado. Si la captura límite es menor que el rendimiento de reemplazo, la TAC se establecerá en o por debajo de la captura límite. Si la captura límite está por encima del rendimiento de reemplazo, se debe utilizar el método descrito en el punto anterior. No se permitirá que la TAC varíe más del 15% entre años.
4. Si B está por encima de Bmsy (o un proxy), entonces el TAC se establecerá basado en Fmsy. No se permitirá que el TAC varíe más del 15% entre años.

Para los propósitos de esta RCC, se considera que Blim es una función de la razón ylim, basada en estimaciones de biomasa no explotada. La biomasa no explotada se define como la biomasa reproductiva estimada que resulta en ausencia de actividad pesquera. Esta biomasa sin pesca se calcula considerando el reclutamiento estimado, ajustado por la relación entre stock y reclutamiento sin pesca. Durante la reciente 14ª Reunión del CC del año 2024, se recomendó que el proyecto iniciado por la OROP-PS programe tres sesiones de trabajo entre el CC y la reunión de la Comisión del año 2026, donde se discutan:

1. El desarrollo de capacidades para identificar MP y capacidades de la EEO por parte de los países miembros,
2. Los arquetipos de MP disponibles, basados en simulaciones de OpenMSE para perfeccionarlos aún más en el entorno FLR, plataforma utilizada por el proyecto, y
3. Discutir el desempeño de los MP seleccionados y los tipos de indicadores de desempeño relevantes.

Se anticipa que los resultados iniciales de los MP se presenten en la 15ª Reunión del CC del año 2025 (septiembre), los cuales serán fundamentales para las demás actividades señaladas en el plan de investigación de la OROP-PS. Respecto al trabajo desarrollado a la fecha por la OROP-PS en el marco de la EEM para la pesquería de jurel, el cual constituye la línea base de este proyecto, resulta pertinente profundizar en tres aspectos clave: (i) la plataforma técnica utilizada para el análisis, (ii) los temas que han sido objeto de mayor grado de análisis y discusión durante el desarrollo de este proceso, y (iii) las principales fuentes de incertidumbre identificadas.

I. Plataforma técnica

El análisis se realiza utilizando las herramientas disponibles en <https://flr-project.org> (Kell et al., 2007). El trabajo se basa en desarrollos previos (Mosqueira & Tien, 2022), pero la mayor parte del código fuente se ha reorganizado y optimizado. El desarrollo de este análisis se lleva a cabo utilizando repositorios de código fuente alojados en el espacio de GitHub de la SPRFMO. El condicionamiento del modelo operativo se puede encontrar en el repositorio jmOM y la aplicación de EEM en jmEEM. El código se configura allí siguiendo las convenciones del sistema del Marco de Evaluación Transparente (TAF), desarrollado por el Consejo Internacional para la Exploración del Mar (CIEM), pero también utilizado por otros organismos científicos (p. ej., IOTC y WCPFC). Un tercer repositorio alberga el código del paquete FLjmm R, que contiene funciones para conectar las entradas y salidas del modelo JJM con la FLR y viceversa. Además, se está aprovechando la infraestructura de desarrollo disponible para R, lo que simplifica la compilación e instalación de paquetes para un proyecto determinado. La última versión de los paquetes necesarios está disponible en la página del universo R de SPRFMO y se puede instalar fácilmente desde una sesión de R.

II. Desarrollo

La EEM de jurel comienza oficialmente en 2022, con la solicitud de la Comisión de la OROP-PS. El CC de esta organización se encargó de materializar el trabajo de EEM a través de un grupo Técnico de Trabajo, MSEWG, el cual comenzó sus tareas a fines del 2022, y desde entonces se reúne mensualmente en forma telemática. El MSEWG informa a la Comisión de sus avances en talleres anuales con los miembros de la Comisión, los cuales se realizan días previos a la reunión anual de esta instancia. A la fecha se han realizado tres talleres que se describen a continuación:

1er Taller de EEM de jurel en la OROP-PS en 2023 (Manta, Ecuador, febrero de 2023): Entre los principales comentarios recogidos de los participantes de la pesquería en este taller, se mencionó que no es habitual incorporar variables/procesos ambientales en la EEM, ya sea en el MO o en los MP. Además, se comentó que es posible incluir variables ambientales en el modelo, pero es difícil predecir (con certeza) las condiciones ambientales futuras. Si bien en ese momento el MO de jurel no consideraba cambios ambientales, el modelo de estimación si los incluía mediante dos períodos de productividad ($h=0,6$, $h=0,8$). Se discutió también, que los posibles cambios futuros en la productividad de los stocks (impulsados por variables y procesos no especificados) se incluyen como pruebas de robustez en la EEM. En ese momento, se planteó la posibilidad de evaluar un modelo espacial con tasas de mezcla, para dar cuenta de diferentes estructuras poblacionales. Este enfoque es posible, y en el pasado se han probado modelos espaciales de jurel (SEAPODYM). Sin embargo, las tasas de mezcla a menudo no son estacionarias. Por lo tanto, se discutió que suponer tasas estacionarias puede introducir sesgos, y estimar las tasas de mezcla variables en el tiempo también puede ser desafiante e incierto.

Respecto a incluir el aumento de la disponibilidad costera en el modelo de estimación y en el MO, se comentó que la disponibilidad costera ha aumentado fuertemente en los últimos 5-6 años. Esta distribución del stock podría tener un impacto en los índices de abundancia, por lo que se discutió la posibilidad de actualizar y reevaluar los ejes principales de incertidumbre a ser incluidos. Si bien la incertidumbre en la asignación de edad habría disminuido, la incertidumbre asociada a los cambios en la disponibilidad costera y su efecto sobre el índice basado en la CPUE habría aumentado. Finalmente, se trató el impacto de aumentos en la eficiencia de la flota sobre el modelo de estimación y los MO. Hasta ahora, solo se ha considerado un factor constante de 1% en la CPUE chilena, pero se sugirió que cambios por bloques deberían ser considerados.

2do Taller de EEM de jurel en la OROP-PS (Manta, Ecuador, febrero de 2024): En una presentación introductoria, el presidente del CC ofreció un repaso de los conceptos de EEM, el proceso para establecer un procedimiento de gestión consensuado a través de EEM, las iteraciones entre la ciencia y las partes interesadas dentro de dicho proceso, y presentó algunos ejemplos de cómo se ha utilizado EEM en todo el mundo para gestionar la pesca. Destacó la necesidad de EEM para

conservar la certificación del Marine Stewardship Council (MSC). El MP actual para el jurel se estableció en 2014 y su objetivo específico era recuperar la población mediante una evaluación de las compensaciones. Esto incluía factores como el tiempo de recuperación, la probabilidad de caer por debajo de un punto de referencia de biomasa y la captura media.

Un punto importante de debate fue la necesidad de un procedimiento de gestión que pudiera abordar eficazmente las incertidumbres de la estructura de la población. Se tomó como ejemplo la pesquería de merluza del Pacífico, que comparó hipótesis alternativas de poblaciones transzonales (mediante mecanismos de movimiento) entre Estados Unidos y Canadá. De igual manera, la EEM para la merluza común podría incorporar factores del cambio climático y considerar hipótesis de movimiento basadas en la edad y/o estructura de la población. Se enfatizó la necesidad de objetivos claros, específicos y mensurables, centrándose en la biomasa de la población y el rendimiento de la pesquería. Además, se debatió la importancia de comprender las compensaciones inherentes a las decisiones de gestión.

Los miembros cuestionaron la necesidad de una nueva EEM, dado que el proceso actual parece funcionar adecuadamente. Se señaló que el proceso de asesoramiento anual debía actualizarse, ya que el taller “benchmark” más reciente (2 de julio de 2022) generó cambios significativos en la comprensión de las tendencias de las poblaciones. Asimismo, con el aumento constante de tareas del CC y los debates científicos relacionados con la estructura de las poblaciones, la EEM busca agilizar el proceso de proporcionar asesoramiento anual sólido a la Comisión.

Un tema técnico clave planteado fue el punto de referencia límite, y los tiempos de recuperación asociados en escenarios con y sin pesca. El grupo reconoció la robusta situación actual de la pesquería y la importancia de evitar declives por debajo del punto de referencia límite. Se planteó la cuestión de cómo se podrían considerar los factores socioeconómicos en el proceso de decisión. Se observó que las preocupaciones socioeconómicas pueden entrar en el proceso de selección de MP (por ejemplo, sopesando las compensaciones entre el estado de las existencias, la captura y la variabilidad de la captura).

3er Taller de EEM de jurel en la OROP-PS (Santiago, Chile, febrero de 2025): Se presentaron los resultados de la EEM de los principales PM usando el “Shortcut”. Los MO y los MP fueron los acordados durante el año 2024. Se presentaron los resultados usando diferentes indicadores de desempeño. Los resultados incluyeron diferentes “tuning” a diferentes probabilidades de estar en el cuadrante verde del “Kobe” plot. La delegación china cuestionó que la moda de las proyecciones de reclutamientos se mantuviera en un valor bajo y constante a través de los años, lo cual no es consistente con las estimaciones históricas que tienen grandes fluctuaciones. La delegación chilena solicitó que se implemente el procedimiento de EEM basado en el modelo JJM y se comparen los resultados con el procedimiento de “shortcut”. Hasta ese momento, persistían

dudas respecto del funcionamiento del modelo JJM en los procesos de simulación del EEM. Luego, en un grupo reducido, se acordó enviar un cuestionario sobre los objetivos, indicadores de desempeño y reglas de control, el cual debe ser completado solo por los jefes de delegación.

III. Fuentes de incertidumbre

Durante el actual proceso de EEM del jurel en la OROP-PS se han considerado una serie de potenciales fuentes de incertidumbre (SPRFMO, 2024). Sin embargo, el grupo de trabajo técnico ha definido aquellas fuentes de incertidumbre a ser evaluadas, basadas en la importancia y en la factibilidad de incluirlas en la evaluación. Las principales fuentes de incertidumbre en el stock de jurel incluyen: (a) la estructura de la población, (b) la pendiente de la relación stock recluta y (c) regímenes futuros de reclutamientos:

Estructura de la población: Existen diversas hipótesis de la estructura del stock que compiten entre sí, y se han sugerido hasta cinco o más stocks independientes:

- 1) Stock peruano (stock del norte), transzonal con respecto a alta mar;
- 2) Stock chileno (stock del sur), también transzonal con respecto a alta mar;
- 3) Stock del Pacífico central, exclusivamente en alta mar;
- 4) Stock del Pacífico suroccidental, exclusivamente en alta mar;
- 5) Stock neozelandés-australiano, transzonal con respecto a alta mar y a las ZEE de Nueva Zelanda y Australia (SPRFMO, 2014).

En cuanto al Pacífico Sur oriental y central, la OROP-PS ha identificado las siguientes cuatro hipótesis de trabajo alternativas sobre la estructura de stock:

- 1) El jurel capturado frente a las costas de Perú y Chile constituye, cada uno, un stock independiente que se extiende a ambos lados de alta mar;
- 2) El jurel capturado frente a las costas de Perú y Chile constituye un único stock compartido que se extiende a ambos lados de alta mar;
- 3) El jurel capturado frente a la zona chilena constituye una población transzonal única que se extiende desde la costa hasta aproximadamente 120°O; y
- 4) El jurel capturado frente a la zona chilena constituye una población transzonal y de alta mar separadas.

En consecuencia, el Subgrupo de Jurel (JMSG) del Grupo de Trabajo Científico (SWG) de la SPRFMO, en su 11ª Sesión (SWG-11), llevó a cabo evaluaciones paralelas de la(s) población(es) de jurel en el Pacífico Sur Oriental bajo dos hipótesis de trabajo principales ya identificadas:

- Hipótesis 1: El jurel capturado frente a las costas de Perú y Chile constituye una única población compartida que se extiende a ambos lados de la alta mar; o
- Hipótesis 2: El jurel capturado frente a las costas de Perú y Chile constituye cada una, una población separada (la población peruana o del norte y la población chilena o del sur) que se extiende a ambos lados de la alta mar

En seguimiento a las recomendaciones del SWG-11, la Comisión de la SPRFMO, en su 1ª Reunión solicitó a la recién establecida Comisión Científica (CC) que continuara el trabajo de evaluación de hipótesis alternativas sobre la población de jurel. A la espera de resultados más concluyentes sobre la estructura de la población del jurel, la 2ª reunión de la Comisión solicitó al SC que continuara y ampliara el trabajo de evaluación de stock bajo ambas hipótesis consideradas en la 11ª reunión del SWG, y esta sigue siendo una de las principales tareas realizadas en el SC12.

Edad y crecimiento: La asignación de edad ha sido revisada recientemente, concluyéndose que el primer y tercer anillo anual corresponden a anillos falsos, acortándose la longevidad en 2 años (Cerna, 2022; Cerna et al., 2022). Los nuevos parámetros del modelo de crecimiento se muestran en la **Tabla 1**. La nueva asignación también cambió las estimaciones de importantes parámetros biológicos, como la mortalidad natural y la madurez a la edad. Los impactos de estos cambios se analizaron durante el año 2022 en un taller “benchmark” nacional (Payá et al., 2023), y posteriormente en un taller de “benchmark” internacional en el CC de la OROP-PS (SPRFMO_SCW14, 2022). Bajo la hipótesis de dos unidades de stock, el stock norte (Perú) utiliza otro modelo de crecimiento, basado en la interpretación de dos anillos semestrales por año, pero aún no ha sido validado, y discrepa del modelo chileno que fue validado mediante análisis de anillos diarios de crecimiento, seguimiento de modas y radiocarbono.

En la reunión de agosto de 2023 del MSEWG, se presentó un análisis de la variabilidad de los pesos medios por edad a través de los años y de las cohortes, y no se encontraron variaciones significativas, por lo que se acordó utilizar el promedio de los años más recientes para las proyecciones de los pesos a la edad.

Pendiente de la relación stock-recluta: Existe considerable incertidumbre sobre el nivel de productividad del stock de jurel, siendo este un componente crítico de la condición del stock, estimado a través de la relación stock-recluta. De acuerdo con los análisis realizados previamente (Canales, 2014), el steepness se estimó en torno a $h=0.67$, correspondiente al valor cuando el

perfil de verosimilitud es mínimo. Sin embargo, en un meta-análisis publicado recientemente, se estimó una mayor productividad, con un steepness de 0.85 (Wiff et al., 2018). En estudios realizados en Australia con el stock de jurel, se consideraron valores de steepness de 0.75, testeando valores en el rango entre 0.6 y 0.9, debido a la incertidumbre asociada a la productividad del stock (Smith et al., 2015; Punt et al., 2016b).

Regímenes futuros de reclutamientos: Actualmente, la configuración del modelo de evaluación JJM, que se usa para condicionar el modelo operativo, se basa en los acuerdos del último taller “benchmark” realizado en el 2022. Para la estimación de los reclutamientos, se estableció un modelo de Beverton-Holt con una pendiente baja, $h=0.6$ y con alta desviación estándar (0.65), basado en toda la serie histórica para definir el estatus. Las últimas tres evaluaciones del stock han confirmado un período reciente de altos reclutamientos que han generado un aumento notable de la biomasa desovante (duplicando la biomasa en el RMS).

6.2.3. Síntesis del objetivo específico 2

Durante el periodo 2023-2024, el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) brindó asesoría técnica continua al Comité Científico Técnico de Jurel (CCT-J), logrando identificar, representar y evaluar diversos escenarios estratégicos alternativos alineados con los avances de la OROP-PS. Se avanzó significativamente en el condicionamiento de Modelos Operativos (MO) utilizando el modelo Joint Jack Mackerel (JJM) y la plataforma OpenMSE/FLR, estructurando una grilla que incorpora las principales fuentes de incertidumbre de la pesquería: la estructura del stock (hipótesis de una o dos unidades de stock), la reasignación de parámetros de edad y crecimiento, los regímenes futuros de reclutamiento y la pendiente de la relación stock-recluta (steepness). Asimismo, se definió y consensuó un diseño experimental para evaluar Procedimientos de Manejo (MP) candidatos, tanto basados en modelos complejos como empíricos y aproximaciones analíticas (shortcut), analizando su desempeño mediante indicadores críticos de estatus de biomasa (SBMSY, FMSY), seguridad (PSBlim, PCO), rendimiento de captura (C) y estabilidad interanual (IACC).

6.3. Objetivo específico 3: Implementar modelo(s) operativo(s) alternativo(s) incorporando las fuentes de incertidumbre identificadas en el marco de la OROP-PS y aquellos de interés nacional, a través de la plataforma OpenMSE.

6.3.1. Modelos Operativos (MO)

- Efectos del reclutamiento futuro

Se verificó el correcto funcionamiento de los tres modelos operativos mediante simulaciones bajo escenarios sin pesca (MP0) y la aplicación del MP2. En este contexto, los reclutamientos proyectados emularon correctamente niveles bajos (MO1), medios (MO2) y altos (MO3) observados en la historia, así como los niveles que podrían alcanzar las biomásas desovantes potenciales sin pesca (**Figura 30**). Los resultados indican que, en términos generales, los niveles bajos de reclutamiento no permitirían la viabilidad del MP2, mientras que con los niveles medios y altos de reclutamiento el MP2 sería sustentable (**Figura 31**).

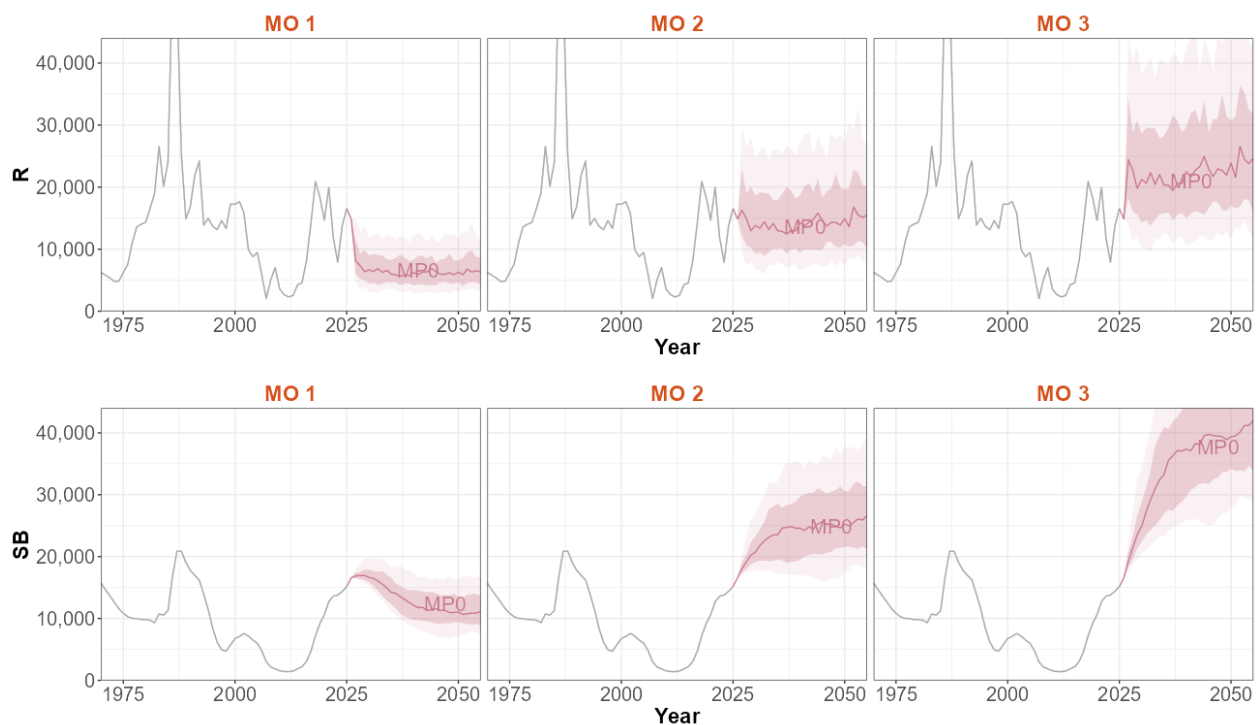


Figura 30. Reclutamientos (arriba) y biomásas desovantes (abajo), históricos y proyectados sin pesca (MP0). Las columnas corresponden a tres niveles de reclutamiento (MO1: bajo; MO2: medio; MO3: alto).

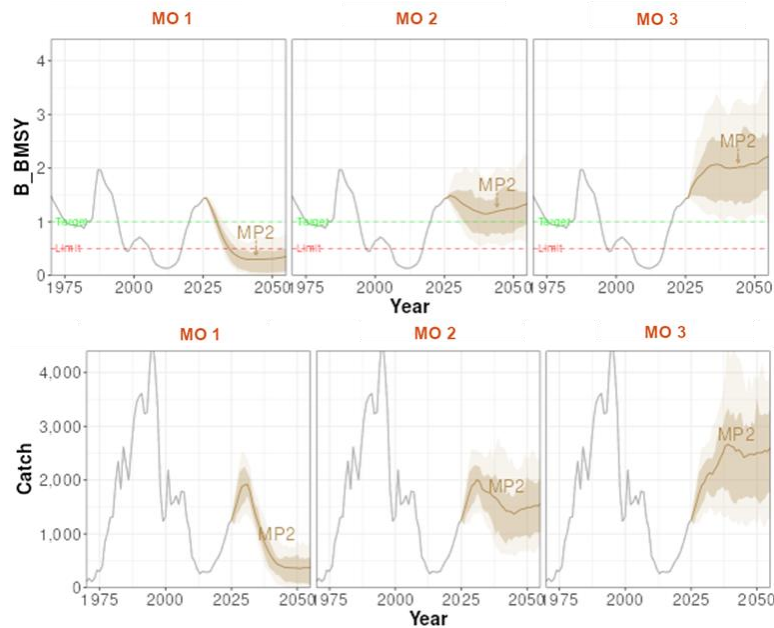


Figura 31. Biomasa relativa B/B_{MSY} y capturas históricas y proyectadas para el MP2 bajo tres niveles de reclutamiento (MO1: bajo; MO2: medio; MO3: alto).

6.3.2. Implementación del modelo de condicionamiento rápido (RCM)

La aplicación del flujo metodológico descrito permitió generar y evaluar múltiples configuraciones preliminares del Modelo Operativo (MO) bajo esquemas de una flota y de cuatro flotas. En esta sección se presentan los resultados obtenidos durante el proceso de implementación, con énfasis en:

- la calidad del condicionamiento utilizando RCM,
 - el comportamiento de las series históricas de captura e índices,
 - la coherencia de las composiciones de edad,
 - la estabilidad de las trayectorias de biomasa y reclutamiento, y
 - los principales problemas detectados en la replicación del estado actual del stock.
- i. **Diagnóstico de ajuste para MO con una flota:** El MO fue utilizado como caso inicial para evaluar la estabilidad numérica, la sensibilidad a los parámetros y el funcionamiento general del RCM.
- Capturas históricas y mortalidad por pesca (F): El modelo RCM logró reproducir con alta precisión las series de desembarques históricos observados en todo el período de evaluación (1980–2024), alcanzando un error de ajuste marginal (error porcentual medio < 3%) derivado de la elevada penalización asignada al componente de capturas en la función de verosimilitud. Por su parte, la trayectoria temporal de la mortalidad por pesca

(F) estimada por el RCM para las distintas flotas (**Figura 32**) refleja una fase de elevada presión ejercida sobre el stock durante la década de 2000, seguida de una reducción marcada y progresiva a partir del año 2012, manteniéndose en niveles acotados y sustentables durante el quinquenio reciente.

- Índices de abundancia: La evaluación exploratoria mediante una configuración de flota única evidenció limitaciones al no diferenciar las distintas vulnerabilidades demográficas de la pesquería, generando conflictos de verosimilitud entre la información acústica (orientada a fracciones juveniles) y las series de CPUE (orientadas a la fracción adulta).
- Estructura de edades: Dadas las limitaciones de una única selectividad, la estructura de edades predicha por el MO no logró capturar la estructura observada, especialmente la aparición de las edades 2 y 3 durante fines de la década de 1990 y de principios del 2000 (**Figura 34 y Figura 35**). Aun así, la concordancia global entre la CAA observada y predicha fue suficiente para validar el uso de este MO como plataforma inicial de prueba.

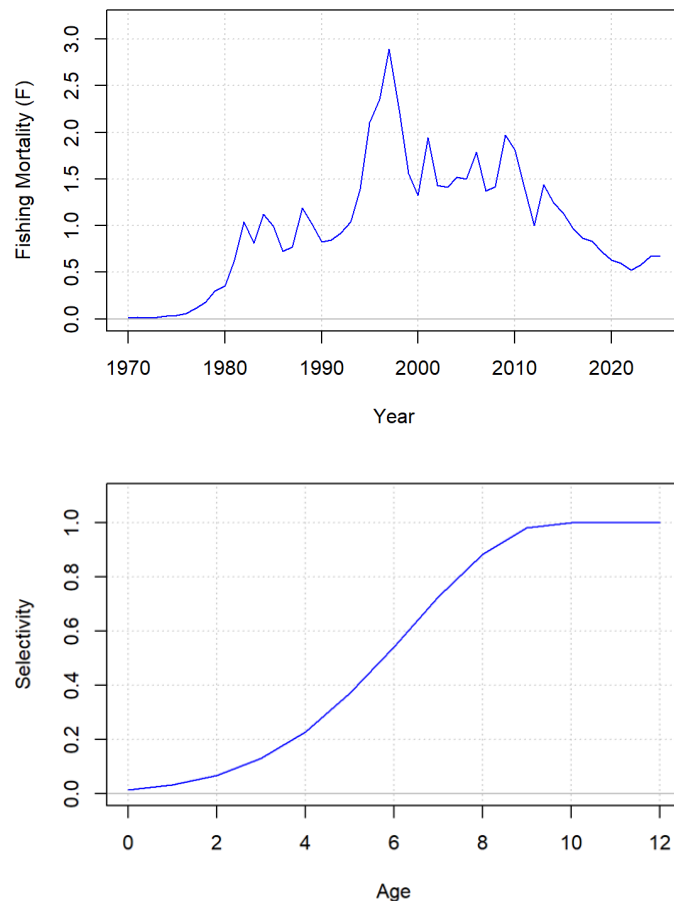


Figura 32. Serie temporal de la mortalidad por pesca y selectividad del año terminal del modelo simplificado de una flota.

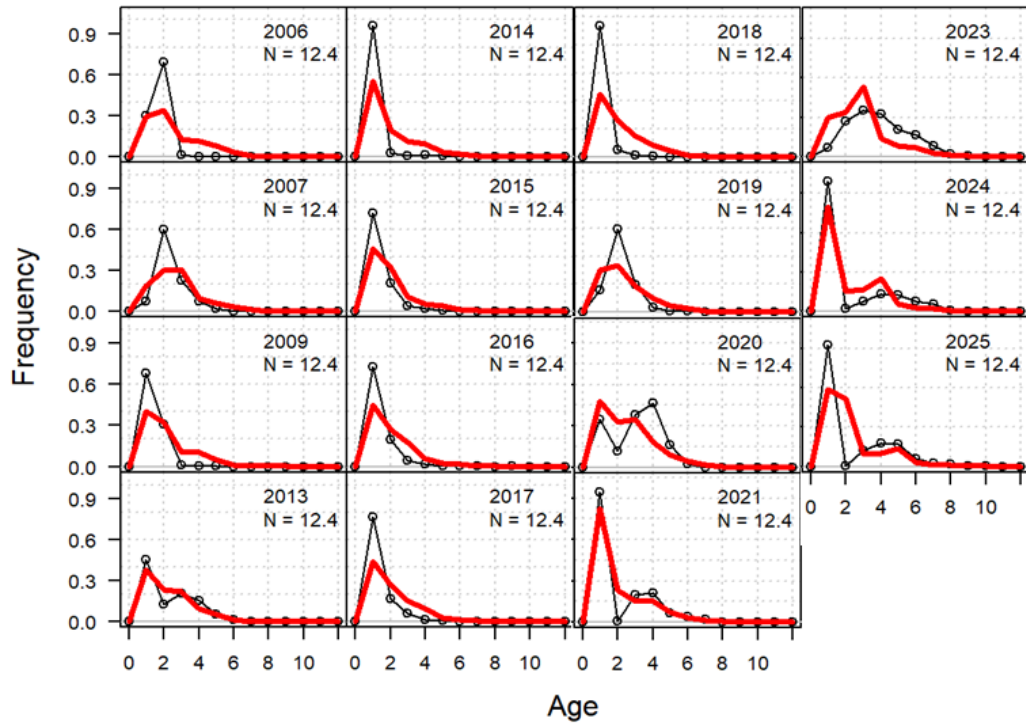


Figura 33. Composición del índice del crucero acústico de Chile a la edad por año, con observaciones (negro) y predicciones del modelo (rojo).

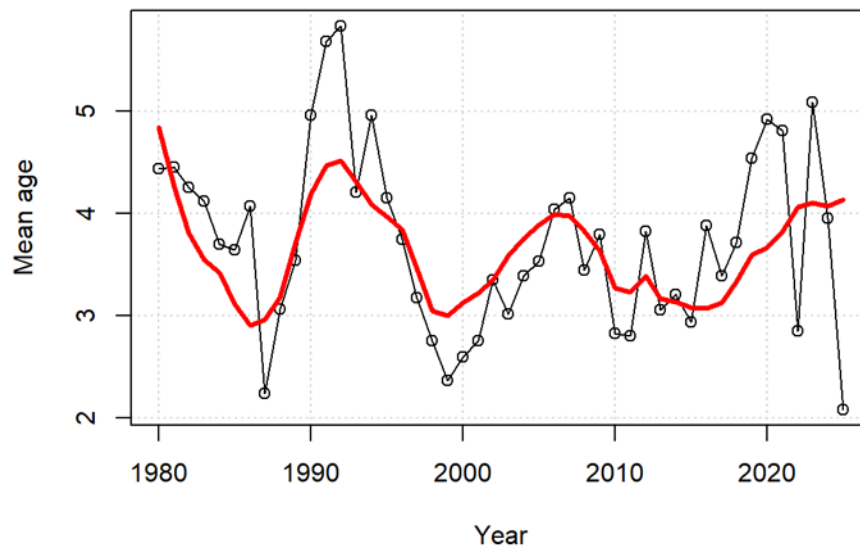


Figura 34. Serie temporal de la composición media a la edad de la flota simplificada, con observaciones (negro) y predicciones del modelo (rojo).

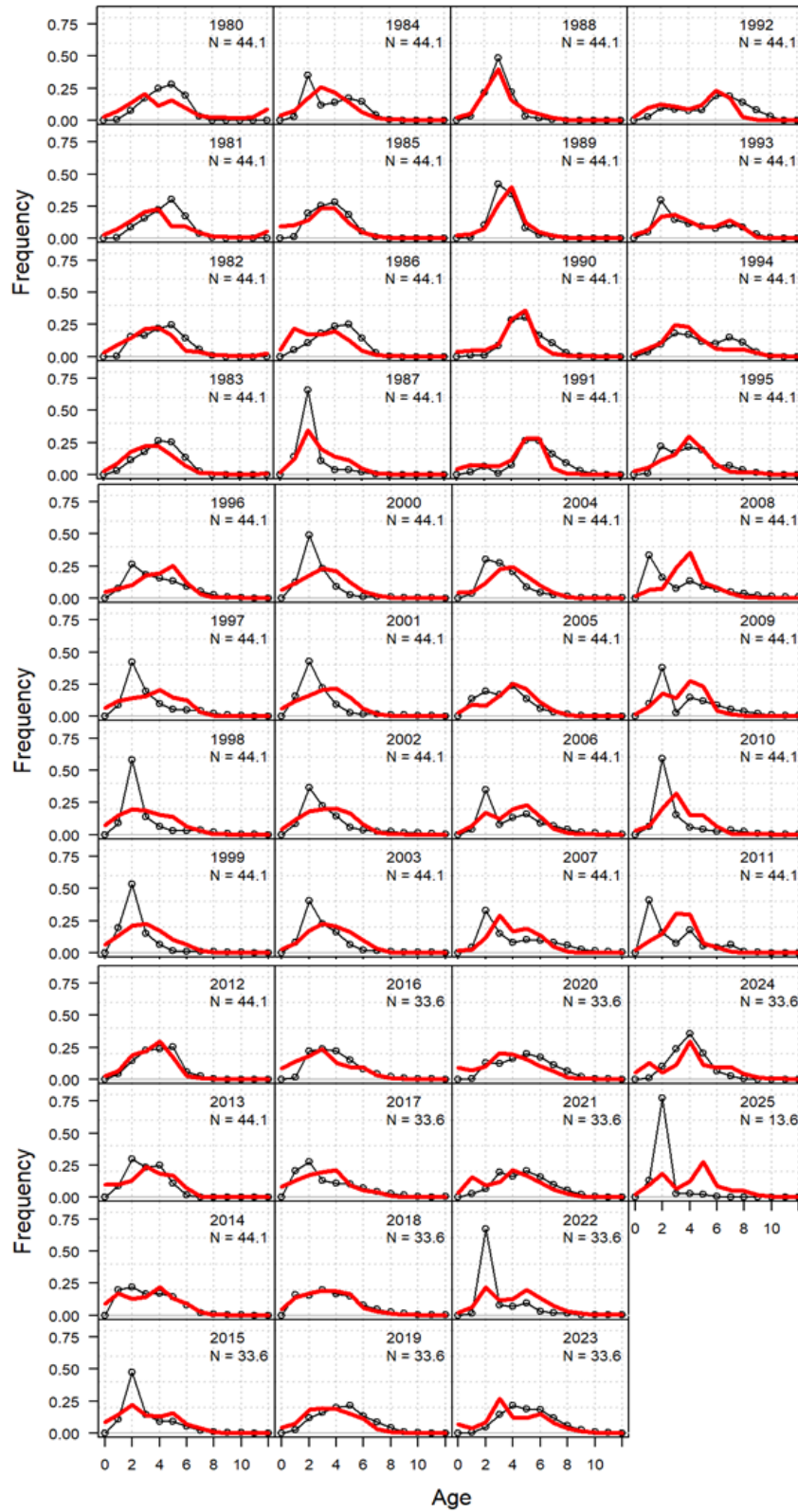


Figura 35. Composición de la flota simplificada a la edad por año, con observaciones (negro) y predicciones del modelo (rojo).

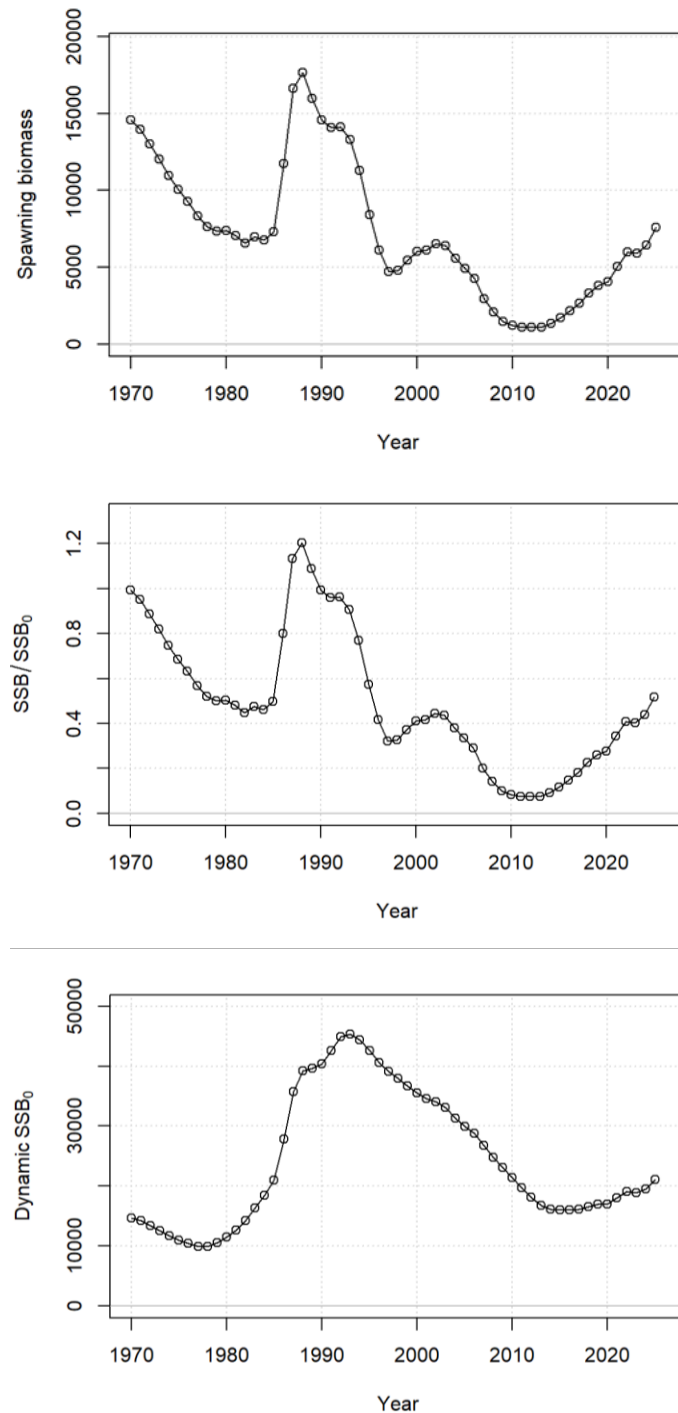


Figura 36. Series temporales de la biomasa desovante, de la depleción de la biomasa desovante y de la BD virgen dinámica (población reconstruida sin mortalidad por pesca).

- ii. **Diagnóstico de ajuste para MO con cuatro flotas:** El 88% de las simulaciones Monte Carlo cumplió satisfactoriamente con los criterios de convergencia. El 12% restante de las corridas presentó problemas de inversión del Hessiano o gradientes residuales elevados, causados por conflictos en los datos de composición de edades. Estas simulaciones fueron identificadas y descartadas automáticamente del conjunto de modelos operativos acondicionados, asegurando que solo modelos numéricamente estables fueran utilizados en el proceso de evaluación de estrategias de manejo.

Se incorporó explícitamente la estructura operacional del JJM, incluyendo diferencias en selectividad, bloques temporales y composición de capturas. Esta versión constituye el núcleo del futuro full MSE.

- Índices de abundancia: En síntesis, aunque la tendencia global de algunos índices se reprodujo, varios presentan desacople en la parte terminal de la serie, lo cual incide directamente en la estimación de biomasa reciente. Los resultados de ajuste muestran comportamientos heterogéneos:
- **Crucero acústico Zona Norte de Chile:** El modelo logra reproducir adecuadamente la trayectoria temporal del índice de abundancia acústica costera (**Figura 37**), capturando los períodos de menor disponibilidad con residuales estandarizados acotados.
 - **CPUE flota Zona Centro-Sur de Chile:** Corresponde al índice con mejor ajuste global dentro del condicionamiento (**Figura 38**). La curva predicha sigue con precisión la fase de declinación histórica de la biomasa durante la década de 2000 y el posterior proceso de recuperación de la biomásica observado a partir de 2015.
 - **Crucero acústico y CPUE de Perú:** El RCM captura las tendencias de mediano plazo observadas en la zona norte del stock. No obstante, la serie del crucero acústico peruano (**Figura 39**) presenta una mayor dispersión interanual en los residuales, atribuible a variaciones espacio-temporales locales en la disponibilidad del recurso.
 - **CPUE flota internacional offshore:** El ajuste refleja la tendencia general de la serie de rendimiento de pesca en alta mar (**Figura 41**), si bien evidencia desviaciones en el último quinquenio producto de las diferencias en la estructura demográfica capturada por la flota de alta mar respecto a las zonas costeras.

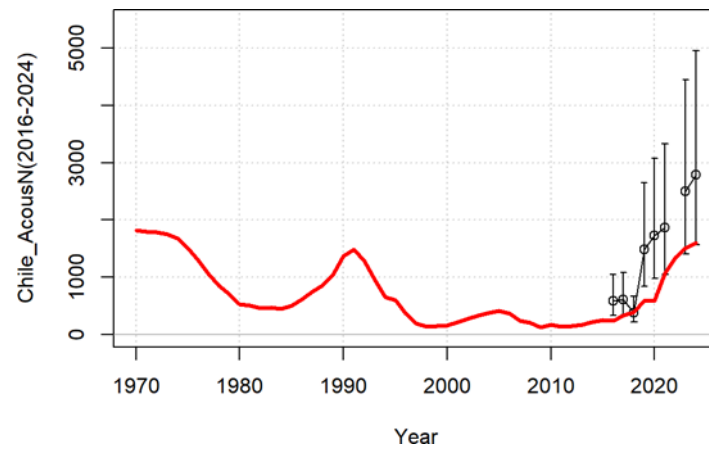


Figura 37. Biomasa observada (negro) y predicha (rojo) para el índice del crucero acústico del norte de Chile (2016-2024).

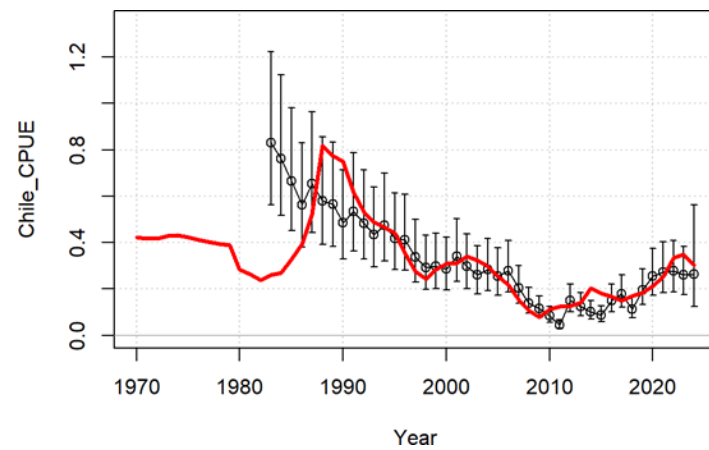


Figura 38. CPUE observada (negro) y predicha (rojo) para la flota centro-sur de Chile.

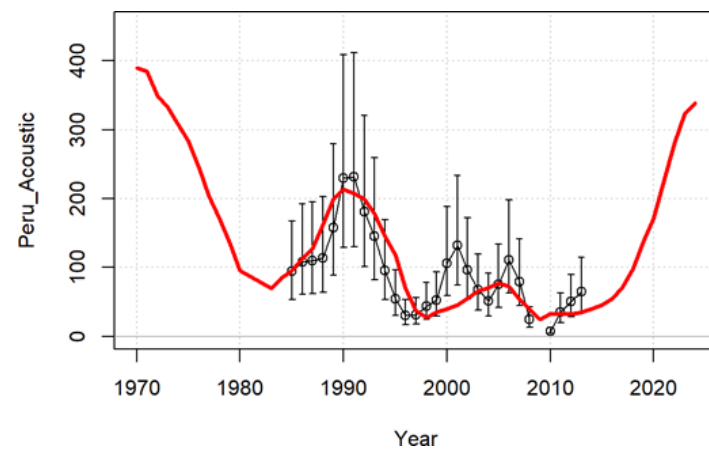


Figura 39. Biomasa observada (negro) y predicha (rojo) para el índice del crucero acústico de Perú.

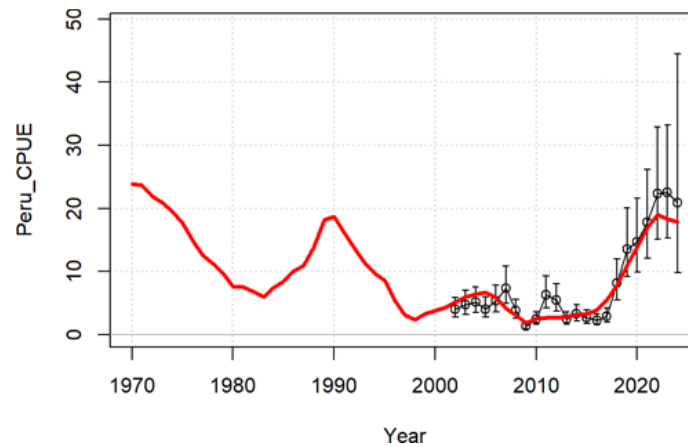


Figura 40. CPUE observada (negro) y predicha (rojo) para la flota de Perú.

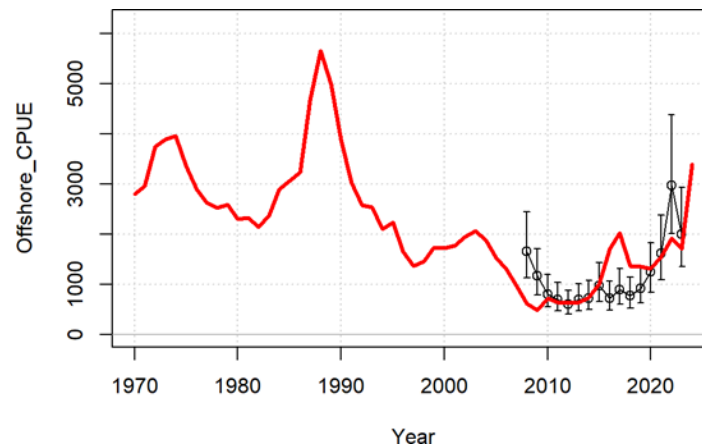


Figura 41. CPUE observada (negro) y predicha (rojo) para la flota offshore.

- Composiciones de edad: La integración de composiciones por edad fue uno de los elementos más exigentes del condicionamiento. En términos generales, la estructura de edades predicha es funcional para simulaciones preliminares, pero no reproduce aún la señal adulta del stock. Los resultados muestran:
 - Flota Norte de Chile: Muestra un ajuste satisfactorio en la identificación y seguimiento de las cohortes de juveniles (edades 2 a 4), reflejando adecuadamente los pulsos de reclutamiento entrantes al sistema (**Figura 42**).
 - Flota de Perú: Presenta un ajuste adecuado en los grupos de edad intermedios, aunque con un mayor nivel de ruido en la frecuencia de edades de ejemplares juveniles (**Figura 43**).

- Crucero acústico norte de Chile: El modelo reproduce con precisión la estructura demográfica detectada en los cruceros de evaluación directa (**Figura 44**), sirviendo como ancla biológica para la estimación de la fuerza de las clases anuales.

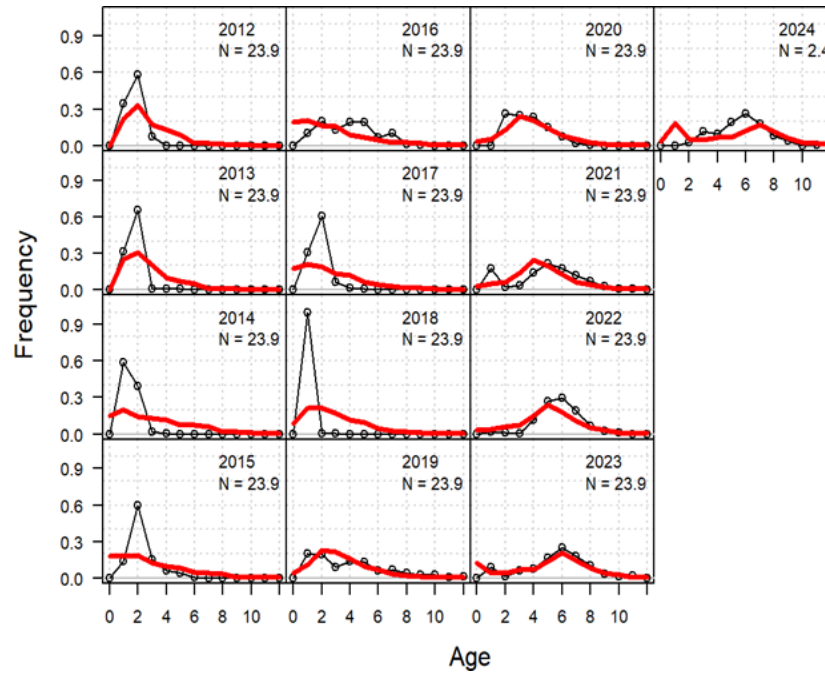


Figura 42. Composición a la edad observada (negro) y predicha (rojo) para la flota del norte de Chile.

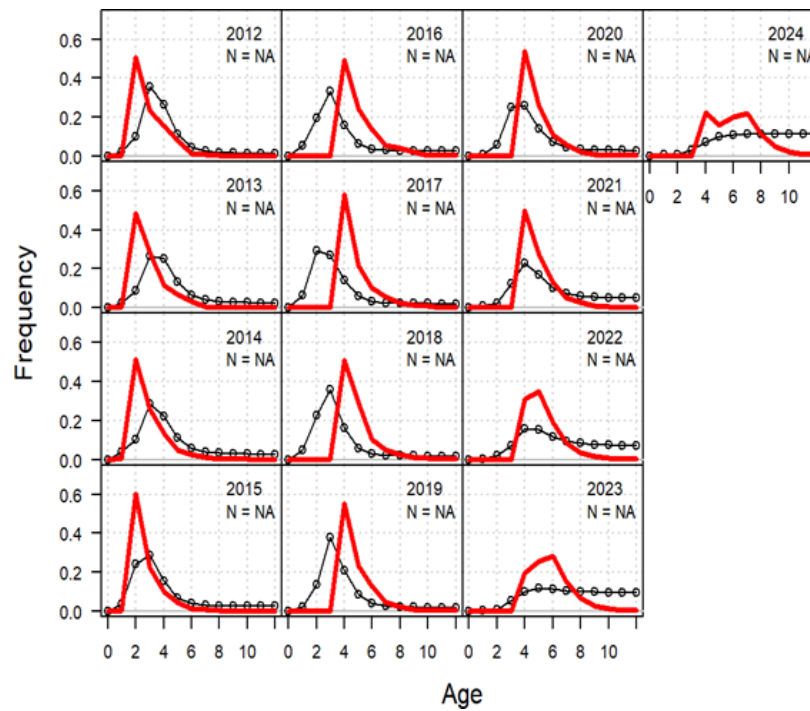


Figura 43. Composición a la edad observada (negro) y predicha (rojo) de la flota de Perú.

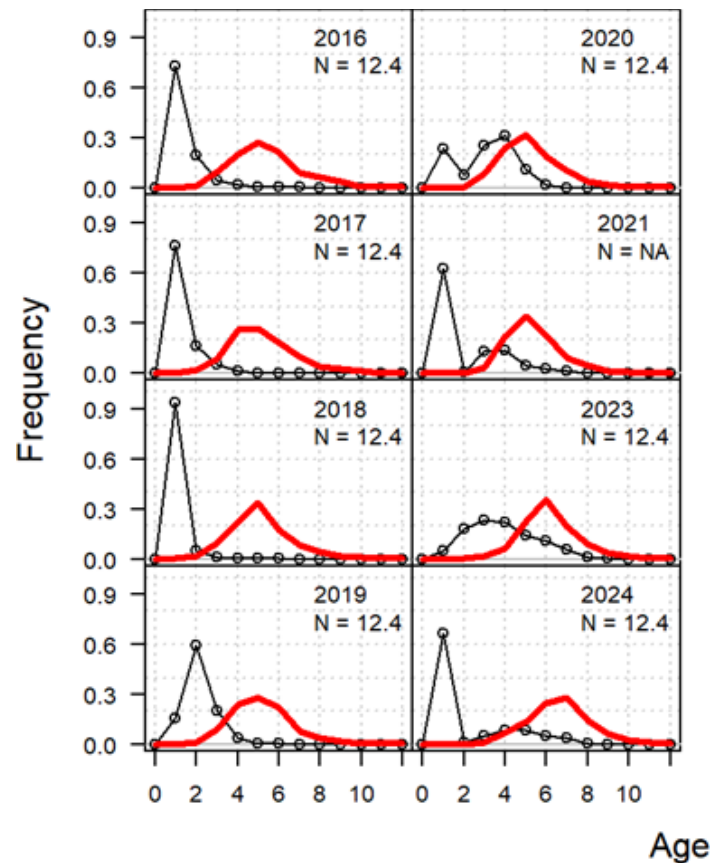


Figura 44. Composición a la edad observada (negro) y predicha (rojo) del crucero acústico del norte de Chile (2016-2024).

Finalmente, los parámetros derivados del acondicionamiento del RCM relativos a la selectividad y presión por pesca se presentan en la **Figura 45** y **Figura 46**:

- Patrones de selectividad por flota: La **Figura 45** muestra las curvas de selectividad estimadas para cada una de las flotas en el último año de acondicionamiento. Se observa un patrón domo para las flotas costeras Far North y centro-sur de Chile, y una curva de tipo logística para la flota offshore.
- Trayectorias de mortalidad por pesca: La **Figura 46** muestra la evolución histórica de la tasa instantánea de mortalidad por pesca (F) por flota, evidenciando el drástico descenso en la presión de pesca a partir de la implementación de las medidas de ordenación de la OROP-PS y la posterior estabilización en niveles sustentables durante el período reciente.

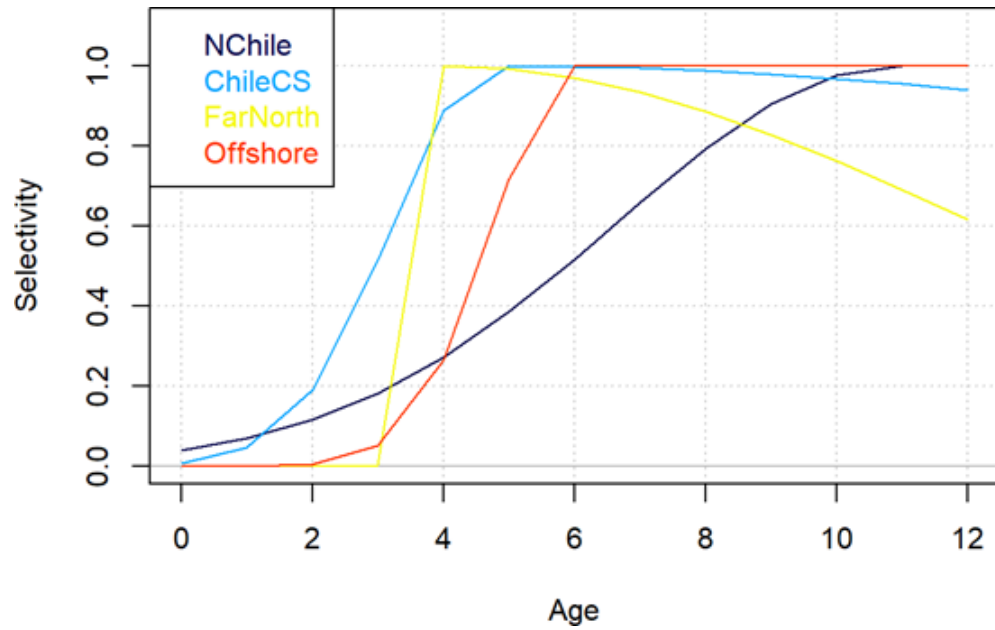


Figura 45. Selectividad a la edad por flota, para el último año.

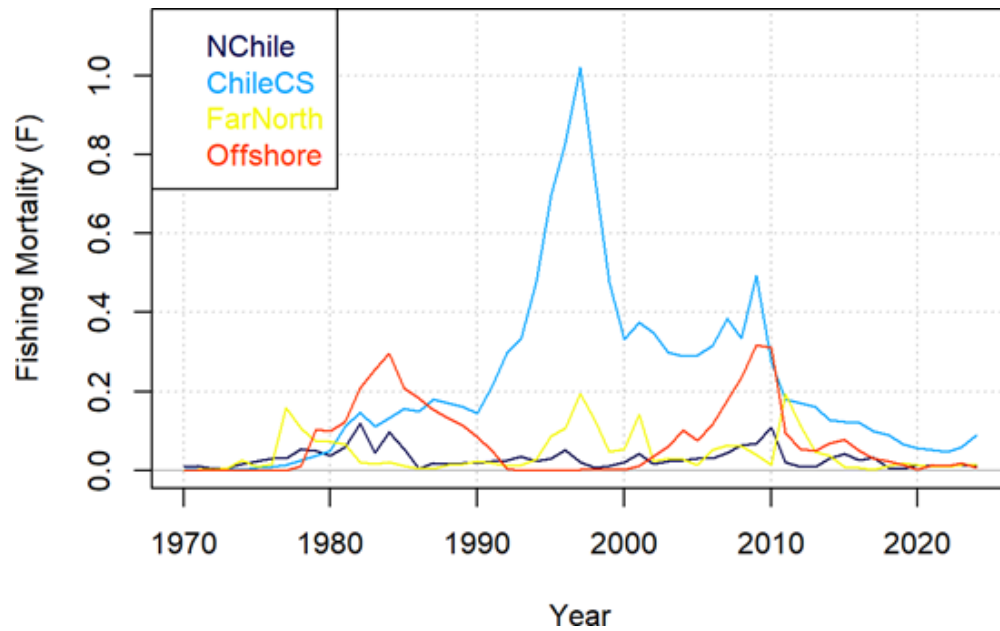


Figura 46. Serie temporal de mortalidad por pesca por flota, estimada por el RCM.

iii. Principales limitaciones

A partir del proceso de implementación, condicionamiento y evaluación de diagnósticos del modelo RCM, se identificaron las siguientes limitaciones estructurales y metodológicas que deberán ser abordadas en las calibraciones definitivas:

- a. Deficiencia en la identificación de la capturabilidad (q) en índices recientes y alta mar: Dificultades en la estimación explícita de los coeficientes de capturabilidad (q) asociados a la flota offshore y a las prospecciones acústicas del período reciente. Esta incertidumbre en la escala afectó directamente la precisión en la estimación de la biomasa explotable y desovante terminal (B_{2024}).
- b. Rigidez y subrepresentación de la selectividad de adultos en la flota offshore: Incapacidad de las funciones de selectividad prefijadas (logísticas/domo) para ajustar adecuadamente la estructura de edades de la flota de alta mar, generando una subestimación sistemática de la fracción de individuos adultos de mayor edad (grupo plus 8+ años) en las proporciones predichas.
- c. Tensiones de verosimilitud entre índices con distinta cobertura demográfica: Existencia de conflictos de ajuste (*trade-offs*) entre series de abundancia orientadas a diferentes fracciones de la población. Destaca la tensión estructural entre el crucero acústico de la zona norte (representativo de clases juveniles) y el índice CPUE de Chile centro-sur (orientado a clases adultas), lo que genera verosimilitudes contrapuestas durante la optimización global.
- d. Alta sensibilidad del Modelo Operativo a supuestos biológicos fijos: Elevada vulnerabilidad de las estimaciones de biomasa terminal ante pequeñas variaciones en parámetros no estimados, particularmente la tasa de mortalidad natural (M). Mantener M constante magnificó la incertidumbre en los niveles absolutos de abundancia.
- e. Inestabilidad en la parametrización de selectividad de la zona norte (Perú): Inestabilidad en la estimación de los bloques de selectividad temporales para la flota e índices peruanos, con mayor dispersión residual en los años posteriores a 2015, asociada a fluctuaciones en la disponibilidad espacial del recurso frente a cambios ambientales en el límite norte.
- f. Baja tasa de convergencia por alta dimensionalidad de la matriz de observaciones: Dificultades en la inversión de la matriz Hessiana y gradientes residuales elevados causados por la elevada cantidad de series de tiempo e índices incorporados simultáneamente (~ 11 vectores de observación), lo que sobreparametrizó el modelo (capturabilidades) y requirió esquemas de filtrado automático de corridas.

iv. Plan de resolución de tensiones de selectividad y capturabilidad offshore

A partir de los diagnósticos del acondicionamiento preliminar del RCM, en particular los desajustes detectados en la estructura de edades de la flota de alta mar y las desviaciones residuales en la CPUE offshore, se establece un plan de acción estructurado para resolver estas tensiones en la calibración definitiva del modelo operativo:

a. Flexibilización y parametrización dinámica de la selectividad offshore:

- Diagnóstico: Los supuestos de selectividad logística o con domo fijo no logran capturar la presencia de ejemplares adultos de mayor edad (grupo 8+) en la flota de alta mar.
- Acción: Probar funciones de selectividad no paramétricas o esquemas de bloques temporales con caminata aleatoria (random walk) menos restrictivos. Esto permitiría reflejar cambios en la operatividad espacial de la flota internacional sin forzar una pérdida artificial de biomasa adulta en la estructura demográfica del modelo.

b. Rebalanceo ponderado de verosimilitudes (Data Weighting):

- Diagnóstico: Se observó una dominancia de los componentes de composición de edades por sobre los índices de abundancia relativa durante la optimización de la función de verosimilitud.
- Acción: Aplicar métodos iterativos de reponderación del tamaño muestral efectivo (n_{samp}) para las composiciones de edad (e.g., métodos de Francis o McAllister-Ianelli). Esto permitiría reducir el sobreajuste a datos muestrales ruidosos de edad y permitiría equilibrar la influencia del índice CPUE de la flota offshore y de los cruceros acústicos.

c. Inclusión de distribuciones a priori (priors) informativas para la capturabilidad (q):

- Diagnóstico: La estimación libre de los coeficientes de capturabilidad en los índices de alta mar genera inestabilidad numérica cuando existen cambios acotados en las series de tiempo.
- Acción: Acotar los valores de q para la CPUE offshore y cruceros recientes mediante distribuciones a priori lognormales con varianza razonable, cuyos valores centrales deriven directamente del modelo de evaluación de stock oficial de la OROP-PS (modelo h1_1.14 de JJM).

d. Evaluación de sensibilidades en mortalidad natural (M) por edad:

- Diagnóstico: Mantener M constante (0.28 año^{-1}) para todas las edades puede exacerbar el desajuste en los grupos de edad avanzados si existe una mayor mortalidad por senescencia o menor vulnerabilidad costera.
- Acción: Realizar análisis de sensibilidad incorporando vectores de mortalidad natural variables con la edad (M_a), alineados con las configuraciones exploradas en el Comité Científico de la OROP-PS.

6.3.3. Taller técnico para la implementación de OpenMSE

La actividad se desarrolló entre el 18 y el 21 de agosto de 2025, en modalidad híbrida, teniendo lugar en las dependencias del Instituto de Fomento Pesquero, en la ciudad de Valparaíso (**Figura 47**). Posteriormente, el 29 de agosto de 2025, y fuera del marco formal de la agenda de trabajo, se realizó una sesión adicional destinada a revisar y analizar en mayor detalle los resultados de análisis adicionales realizados por la Dra. Robyn Forrest. La jornada durante el taller técnico se centró en los temas especificados en la agenda de trabajo (**Tabla 5**) y fue dirigida por el Dr. Juan Carlos Quiroz, con aportes importantes de los equipos técnicos del IFOP y la PUCV (**Anexo 4.b**).

Se destaca que este taller tuvo como objetivo principal la construcción de los componentes técnicos necesarios para la implementación y codificación de los modelos operativos y los procedimientos de manejo en OpenMSE, estableciendo las bases para su desarrollo posterior. En este contexto, los modelos y procedimientos definidos durante el taller no correspondieron a sus versiones finales, sino que fueron posteriormente ajustados y redefinidos en conjunto con el equipo técnico del proyecto.

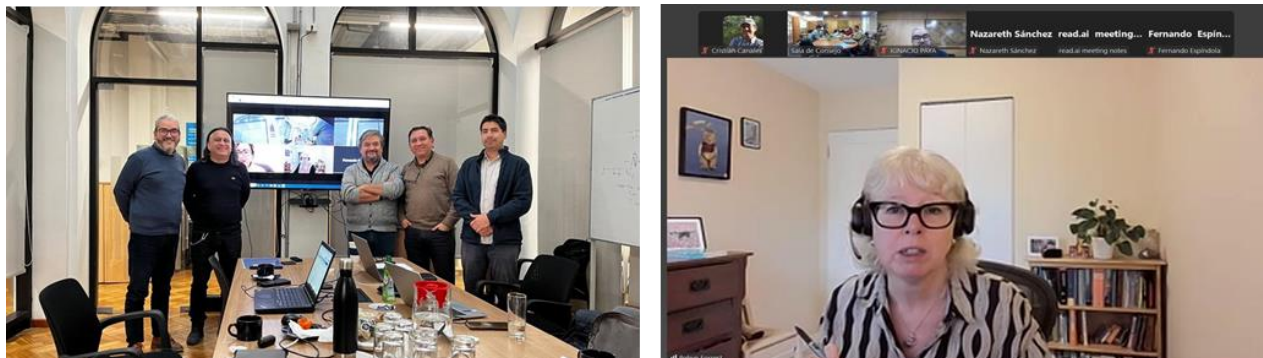


Figura 47. Registro fotográfico del taller de implementación de OpenMSE.

a) Desarrollo de Modelos Operativos

Se identificó un conjunto de modelos operativos de múltiples flotas (MOM). La identificación de los MOM consideró las principales fuentes de incertidumbre asociadas a la evaluación del stock base de jurel, que considera diferentes niveles de productividad del stock durante el periodo histórico, como son los diferentes niveles de reclutamientos. Para abordar este aspecto, se seleccionaron tres niveles de reclutamientos y dos niveles de steepness (**Tabla 26**).

La dinámica de los reclutamientos en la proyección fue implementada de manera tal que ocasionalmente se registre el ingreso de grandes cohortes en comparación con los estimados para el período histórico. Esto se consiguió empleando una desviación estándar del período histórico igual a 0,70 y un proceso de autocorrelación con lag-1 igual a 0,82 para MOM1.

Tabla 26. Resumen de los modelos operativos identificados en el Taller de Implementación para la EEM de jurel. Las descripciones se deben entender como variaciones del modelo operativo base con 4 flotas.

Modelo Operativo	Descripción
MOM1 (base)	Condicionado con el actual modelo de evaluación base ($h=0,65$) del stock de jurel (hipótesis de un solo stock). Incluye toda la información histórica de las capturas e información de composición de edades de las capturas para las cuatro flotas pesqueras que operan en el océano Pacífico sur oriental.
MOM2	Igual al MO1, pero con un nivel medio de reclutamientos durante el periodo de proyección. Esto se logra remuestreando los reclutamientos con un nivel de autocorrelación igual a cero ($AC=0$).
MOM3	Igual al MO1, pero con un nivel alto de reclutamientos durante el periodo de proyección. Esto se logra seleccionando los reclutamientos que ocurrieron durante el periodo de 1985 al 1995, y se considera el nivel de autocorrelación para este periodo.
MOM4	Igual al MO1, pero condicionado con $h=0,80$.

b) Procedimientos de Manejo (MP) perfectos

El Procedimiento de Manejo Perfecto (MP) corresponde a la proyección del stock bajo una RCC, basada solo en el MO, es decir, no considera un proceso de estimación de la abundancia del stock en cada año de proyección. Durante el taller se probaron MP perfectos con dos RCC: i) con mortalidad por pesca del RMS o Frms, y ii) con captura igual a cero. A continuación, se presentan ejemplos de los reclutamientos (**Figura 48**), las capturas (**Figura 49**), la biomasa desovante (**Figura 50**), las razones F/F_{rms} (**Figura 51**) y las probabilidades de estar en los diferentes cuadrantes del “Kobe plot” (**Figura 52** y **Figura 53**).

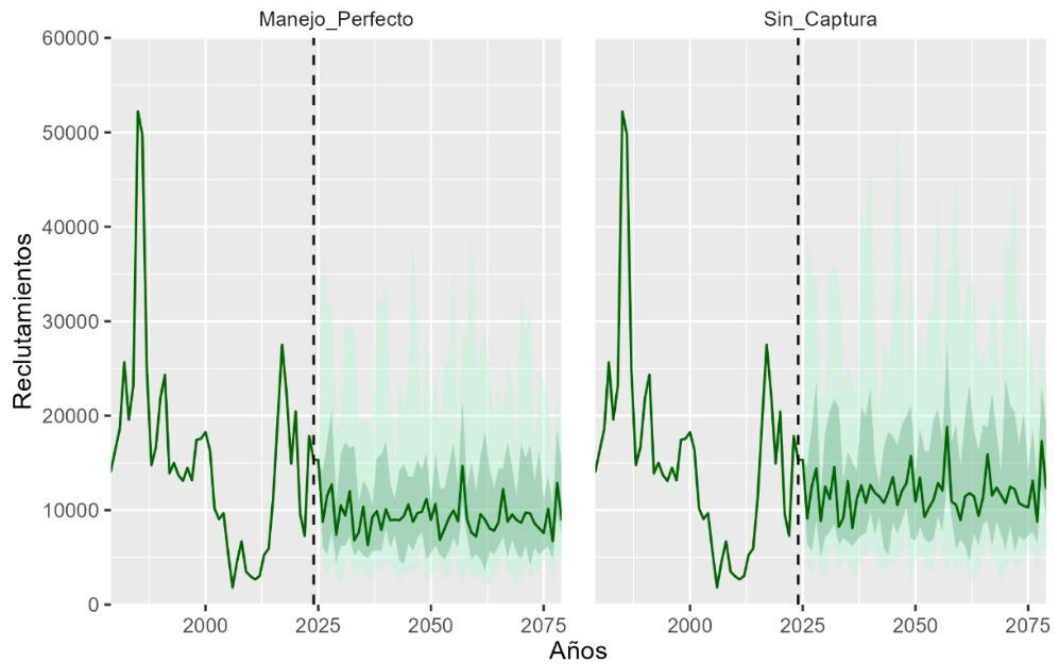


Figura 48. Reclutamientos históricos y proyectados con Frms (manejo perfecto) y sin captura. MO con niveles de reclutamientos medios.

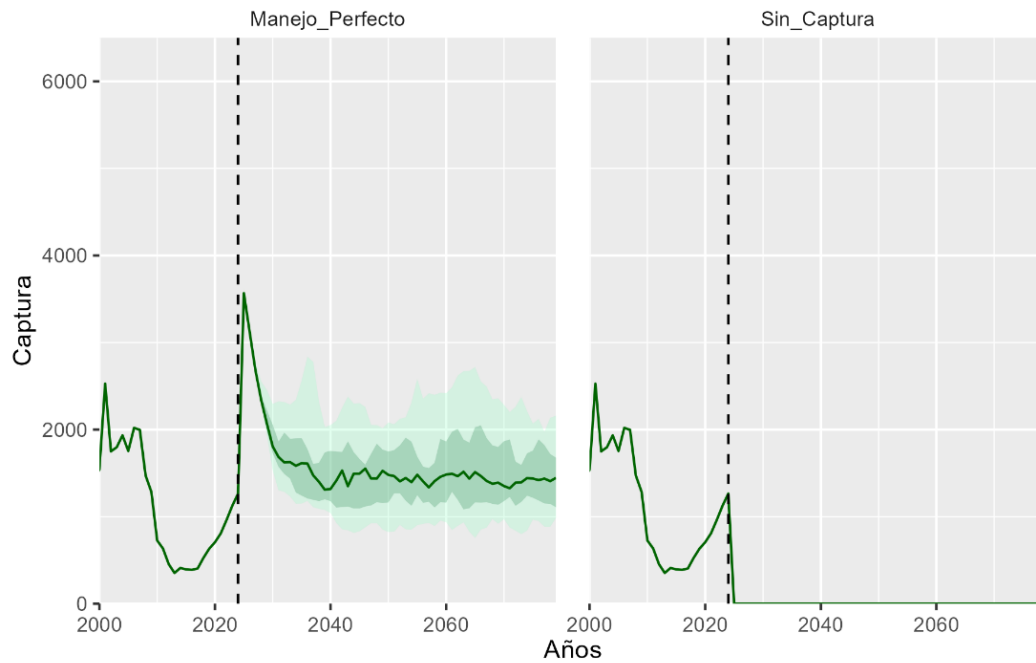


Figura 49. Capturas proyectadas con Frms (manejo perfecto) y sin captura. MO con niveles de reclutamientos medios.

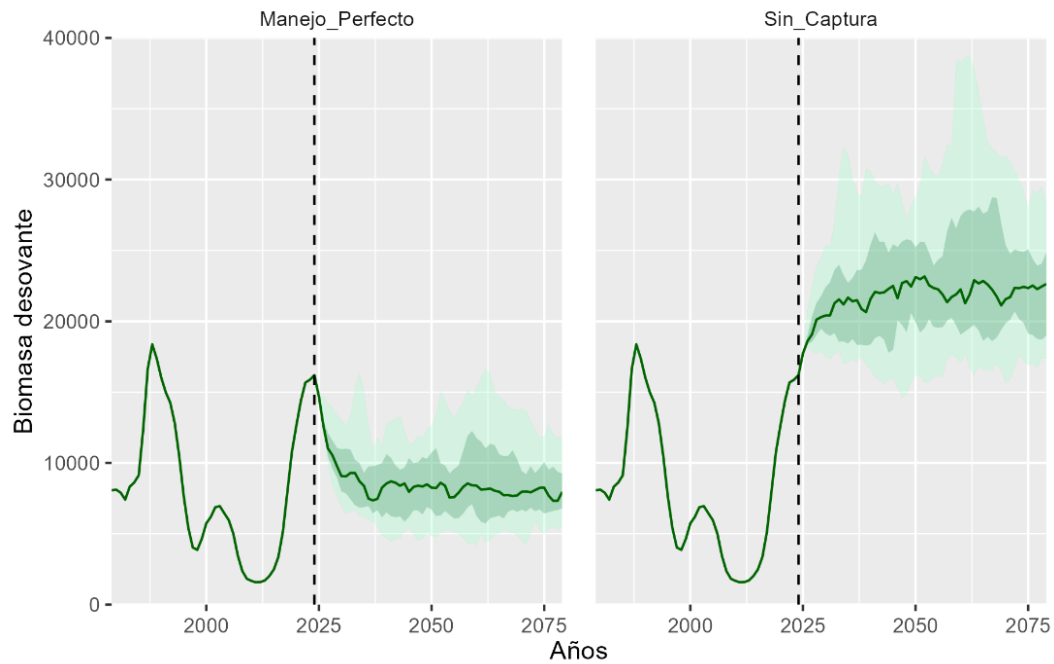


Figura 50. Biomazas desovantes históricas y proyectadas con Frms (manejo perfecto) y sin captura. MO con niveles de reclutamientos medios.

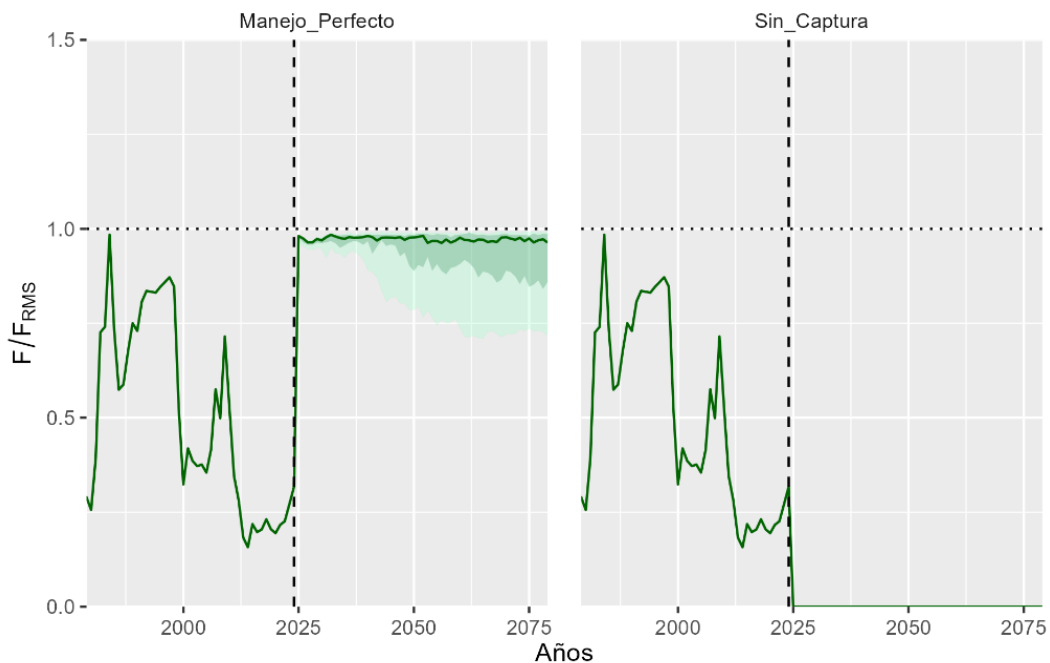


Figura 51. Las razones F/F_{RMS} históricas y proyectadas con Frms (manejo perfecto) y sin captura. MO con niveles de reclutamientos medios.

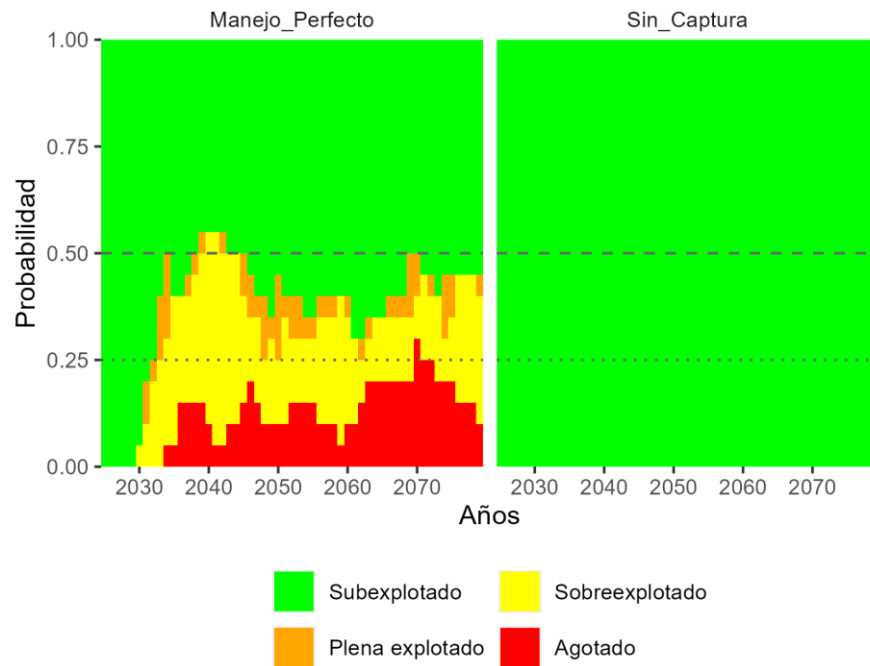


Figura 52. Probabilidades de estar en los diferentes cuadrantes del “kobe plot” con Frms (manejo perfecto) y sin captura. MO con niveles de reclutamientos bajos.

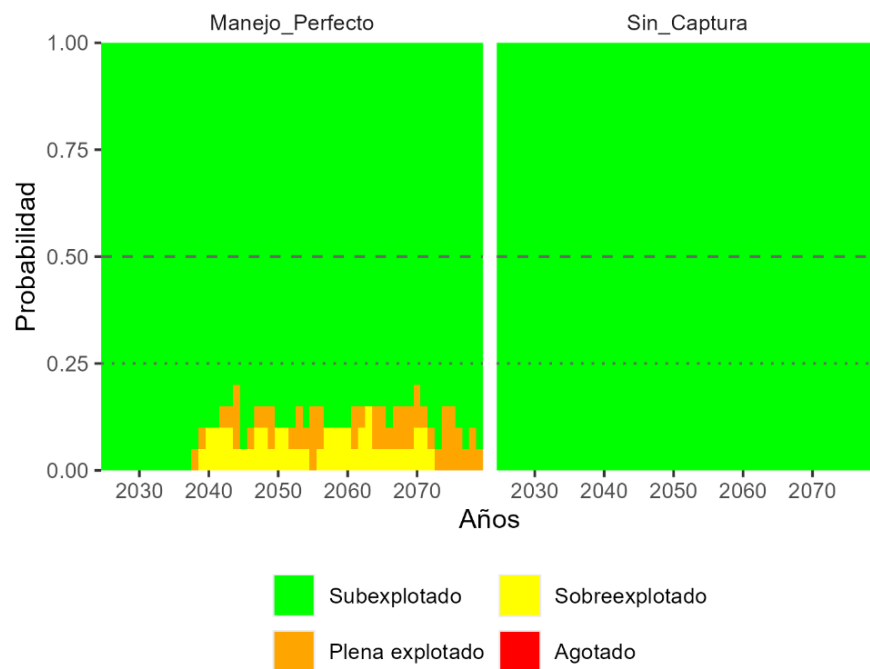


Figura 53. Probabilidades de estar en los diferentes cuadrantes del “kobe plot” con Frms (manejo perfecto) y sin captura. MO con niveles de reclutamientos medios.

c) Implementación del Modelo de Condicionamiento Rápido (RCM)

Los pasos realizados para implementar el RCM en el jurel se detallan en la sección 5.3.3, donde se describe: (i) el flujo de trabajo de condicionamiento del modelo operativo, (ii) las fuentes de información efectivamente ingresadas, (iii) la formulación y codificación de modelos operativos y procedimientos de manejo (MP), y (iv) resultados en la implementación del RCM. Las estimaciones iniciales de las principales variables del stock obtenidas mediante el RCM fueron muy similares a las estimadas con el JJM en la evaluación de stock más reciente (**Figura 54**). Sin embargo, es necesario realizar ciertos ajustes en su configuración para obtener la versión definitiva. En resumen, (i) se incorporó al RCM la historia de capturas, índices (acústicos, CPUE, DEPM y Perú), composiciones y parámetros biológicos desde `mod_current`, y (ii) se elaboró el informe HTML del RCM, que incluye los resultados del ajuste y los parámetros estimados.

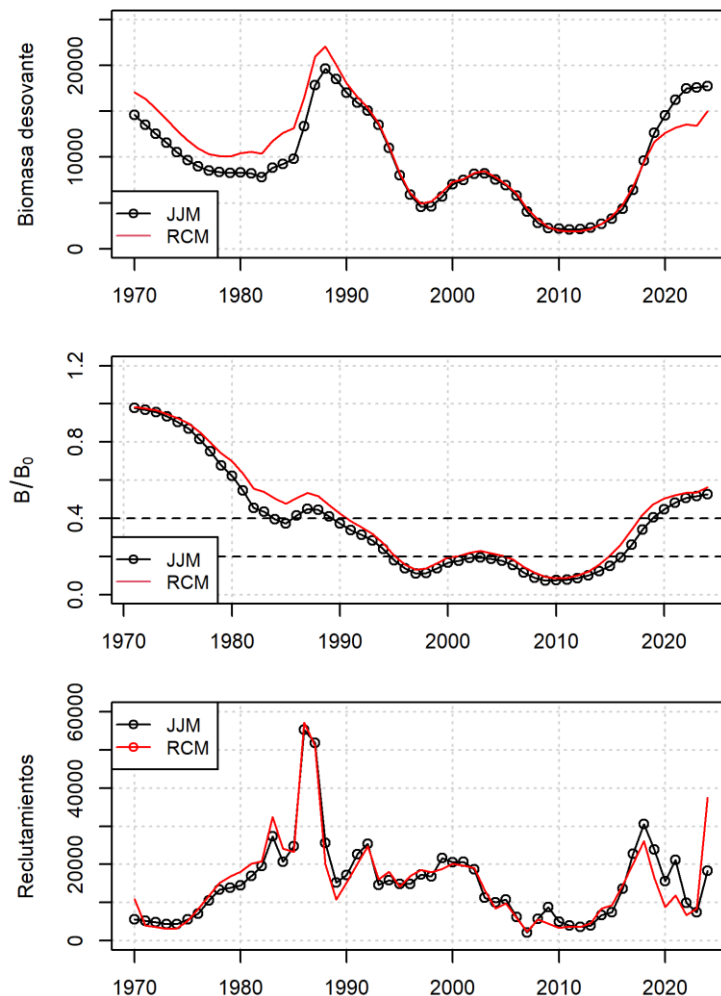


Figura 54. Comparación entre los estimados en el Taller de Implementación con el RCM y el modelo JJM.

6.3.4. *Síntesis del objetivo específico 3*

Se implementaron tres Modelos Operativos (MO) correspondientes a niveles de reclutamiento bajo (MO1), medio (MO2) y alto (MO3), en relación con el modelo stock-recluta de Beverton-Holt ajustado para el período 2000-2022. En este caso y debido a que el stock en el 2024 tuvo una biomasa muy alta ($SB > SB_{MSY}$), las proyecciones de reclutamiento sin pesca fueron altas y estables, cercanas al reclutamiento máximo del modelo Beverton-Holt. Todos los MO proyectados con niveles de reclutamientos altos pudieron mantener los MP simulados, no así los MO con reclutamientos bajos, lo cual sugiere que la reducción del 50% de las desviaciones de los reclutamientos pudo ser muy extrema. Los MO con niveles de reclutamiento medios y con selectividades de 2025 fueron capaces de mantener la mayoría de los MP en las proyecciones.

A partir del taller de implementación con la experta Dra. Robyn Forrest, se avanzó en la aplicación del Modelo de Condicionamiento Rápido (RCM), donde se evaluaron configuraciones preliminares de una y cuatro flotas, evidenciando que la versión de múltiples flotas, núcleo del futuro Full MSE, logra replicar de manera robusta la historia de capturas y la tendencia general de índices clave, como la CPUE centro-sur de Chile. No obstante, el condicionamiento permitió detectar desafíos estructurales importantes, como tensiones en el ajuste de selectividades entre distintos cruceros acústicos y flotas comerciales, y problemas en la estimación de capturabilidad en alta mar (offshore). Estos avances fueron consolidados durante el taller, donde se estructuró una matriz de Modelos Operativos de Múltiples flotas (MOM) bajo escenarios contrastantes de productividad y reclutamiento, demostrando, mediante la evaluación de Procedimientos de Manejo "perfectos", que la viabilidad y sustentabilidad a futuro de las medidas de conservación empíricas dependen críticamente de las fluctuaciones ambientales y la magnitud de los reclutamientos proyectados.

6.4. Objetivo específico 4: Testear la robustez de estrategias de manejo alternativas a la actualmente vigente, utilizando Procedimientos de Manejo empíricos y modelo-basado para la pesquería del jurel.

6.4.1. Desempeño general de los procedimientos de manejo (MP) modelo basado bajo condiciones promedio de reclutamiento (MO2)

La proyección general señala que en todos los MP analizados y bajo condiciones de productividad promedio (MO2), la biomasa en el corto plazo tendería a disminuir, mientras que en el largo plazo fluctuaría en torno o por sobre el objetivo de manejo BMSY (**Figura 55**). Del mismo modo, la mortalidad por pesca se observa controlada en torno o bajo el valor máximo FMSY (**Figura 56**). De acuerdo con lo anterior, las capturas podrían incrementarse en la mayoría de los MP muy a corto plazo, mientras que a largo plazo podrían estabilizarse en torno a 1,5-1,8 millones de toneladas (**Figura 57**).



Figura 55. Biomasa relativa ($B/BMSY$) histórica y proyectada para cada MP, bajo un escenario de reclutamiento futuro promedio (MO2). Las líneas continuas representan la trayectoria media, mientras que las bandas sombreadas indican la variabilidad asociada a las simulaciones.

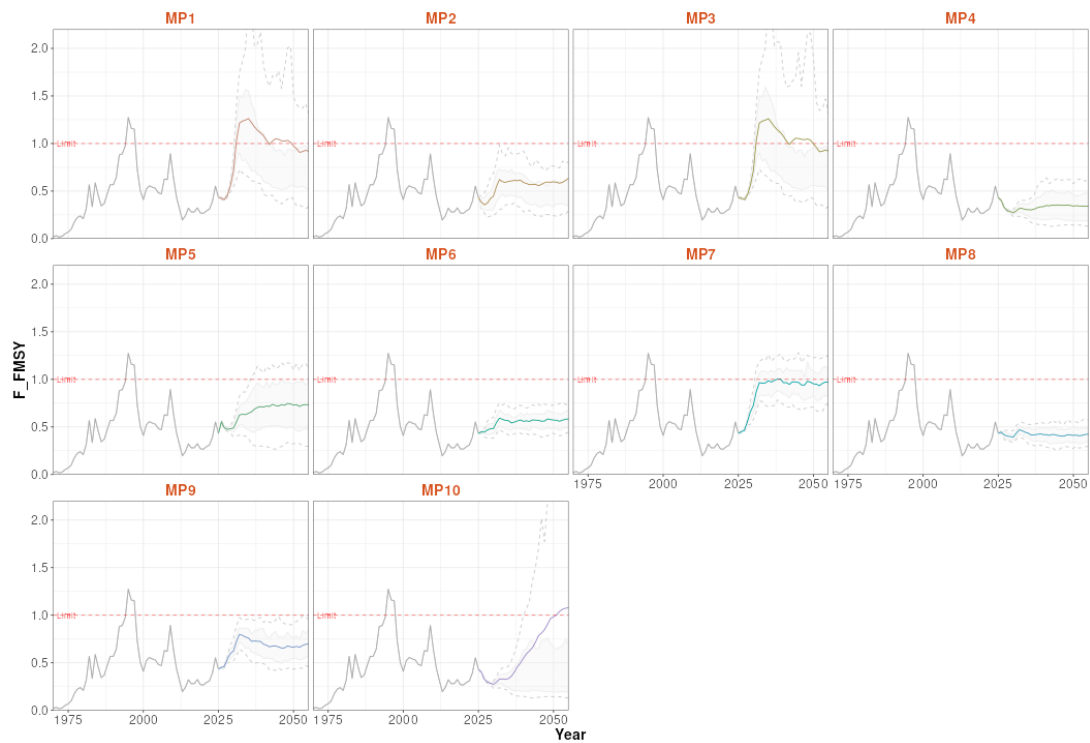


Figura 56. Mortalidad por pesca relativa (F/F_{MSY}) histórica y proyectada para cada MP, bajo un escenario de reclutamiento futuro promedio (MO2). Las líneas continuas representan la trayectoria media, mientras que las bandas sombreadas indican la variabilidad asociada a las simulaciones.

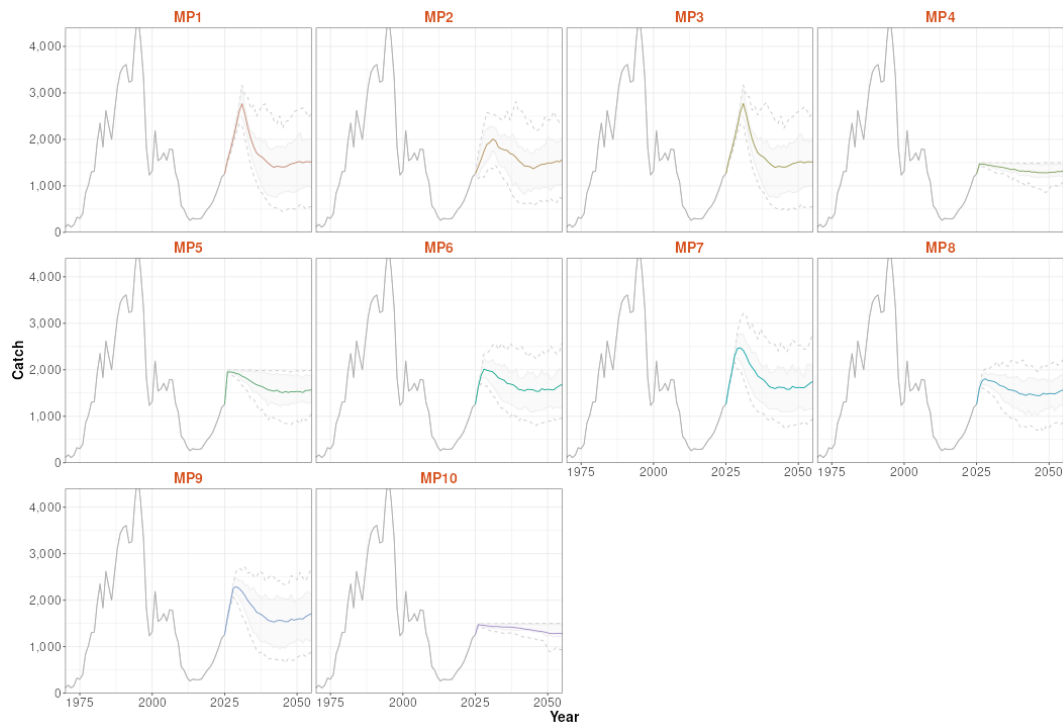


Figura 57. Capturas históricas y proyectadas para cada MP, bajo un escenario de reclutamiento futuro promedio (MO2). Las líneas continuas representan la trayectoria media, mientras que las bandas sombreadas indican la variabilidad asociada a las simulaciones.

6.4.2. Efecto de los estabilizadores

Se evaluó el efecto de los estabilizadores bajo condiciones de reclutamiento promedio (MO2), considerando 2 tipos de estabilizadores de la captura: MP1 (25-15) (subida-bajada) y MP2 (15-15) (base). Con la banda de estabilización de MP2, la biomasa relativa B/B_{MSY} de largo plazo se ve menos afectada y alcanza valores mayores en comparación con la banda 25-15 de MP1. De lo anterior se desprende que al aumentar la banda de variación, la captura inicial registraría, durante los primeros años, mayor variación coincidiendo a los mismos niveles en el largo plazo respecto de MP1, pero a costo de biomazas más bajas como es con MP1 (**Figura 58**). En consecuencia, en el largo plazo, MP1 tiende a incrementar la mortalidad por pesca hasta valores cercanos al nivel de referencia, aumentando con ello el riesgo de sobrepesca.

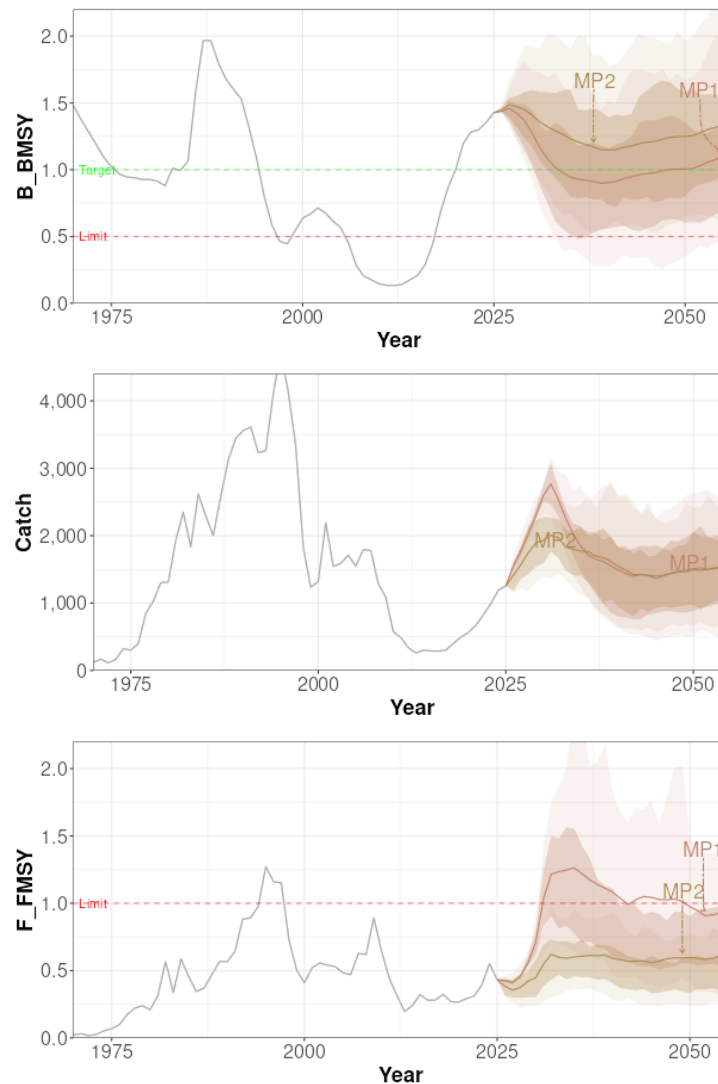


Figura 58. Biomasa relativa (B/B_{MSY}), capturas y mortalidad por pesca relativa (F/F_{MSY}), bajo un escenario de reclutamiento promedio (MO2) y 2 tipos de estabilizadores de captura: MP1= 25-15 (subida-bajada) y MP2= 15-15.

6.4.3. Efecto de incluir el mecanismo de Banking and Borrowing (B&B)

La política B&B (MP3) genera un comportamiento similar al incremento de la banda de estabilización. Esto significa que mientras $B > B_{MSY}$, y producto del anticipo y descuento de cuotas (siempre aumentarán más que el descuento durante el crecimiento de la biomasa), las capturas se incrementarían en el corto plazo, aunque en el largo plazo convergen a un valor similar de MP2 cercano a 1,5 millones de toneladas, con niveles de biomasa menores, pero en torno a B_{MSY} (**Figura 59**). Además, el efecto de B&B se traduciría en un incremento de la mortalidad por pesca, con un riesgo potencial de sobrepesca ($F > F_{MSY}$) en el largo plazo (**Figura 59**).

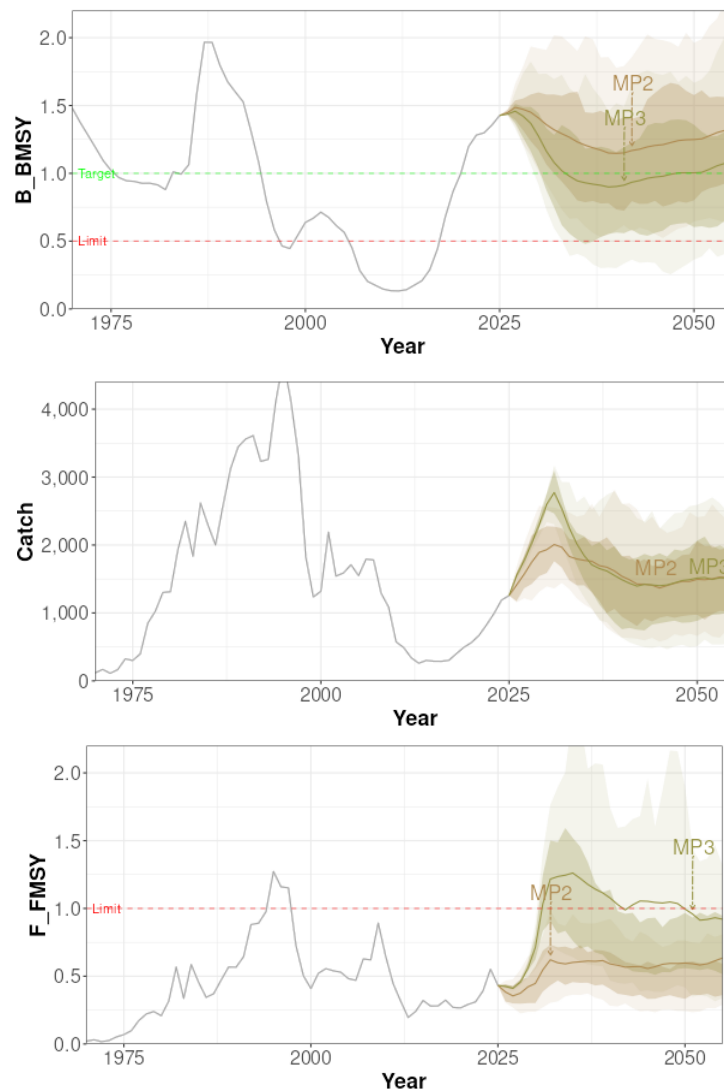


Figura 59. Biomasa relativa (B/B_{MSY}), capturas y mortalidad por pesca relativa (F/F_{MSY}), bajo un escenario de reclutamiento promedio (MO2) y el efecto de Banking and Borrowing (MP3).

6.4.4. Comparaciones mediante Diagrama de Fase (“Kobe plot”)

El análisis del diagrama de Kobe muestra que, independientemente de considerar el promedio de los tres MO (MO1, MO2 y MO3) o el Kobe plot basado solo en el MO2, se proyecta que la mayoría de los MP llevarían al stock a la zona verde en el largo plazo (**Figura 60**), excepto con MP1, MP7 y MP3 que caerían en condición de sobreexplotación. En este cuadro destacan que los procedimientos de manejo más conservadores son MP8, MP10 y MP4.

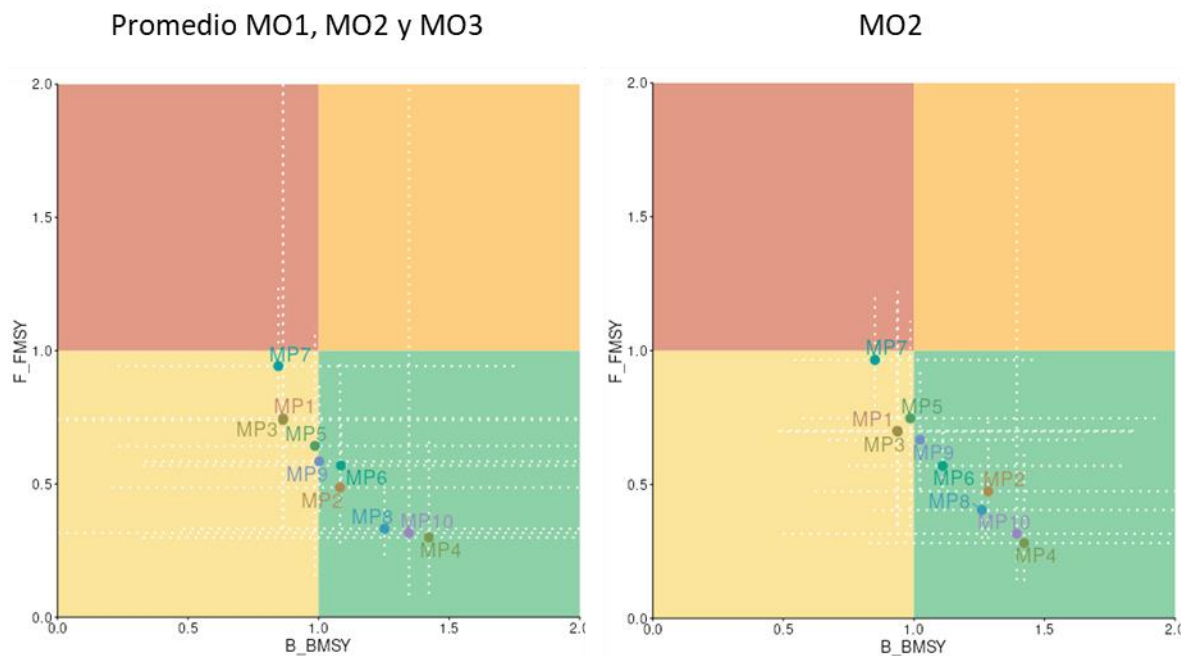


Figura 60. Comparación del desempeño de los MP mediante “Kobe plot”, basada en la información conjunta de MO1, MO2 y MO3 (izquierda) y solo MO2 (derecha). Los puntos representan la media del último año de proyección (2055), y las líneas punteadas los intervalos del 97% de confianza.

El Kobe plot para el MO2 a través de los años muestra que, durante los primeros años de proyección, existe una alta probabilidad de que el stock se encuentre en la zona verde, sin embargo, esta probabilidad disminuye progresivamente, especialmente en los MP asociados a la RCC1 (MP2 y MP3), en los que, a solicitud del Comité de Manejo, se establece una captura mínima de 270 mil t (**Figura 61**). Se estima que este riesgo disminuiría si la captura mínima se fijara en cero, aunque sea poco probable de incrementar. De los MP analizados, los que ofrecen menor riesgo son MP4, MP6 y MP8, los que coinciden con capturas de referencia de 1,5 millones de t (**Figura 61**).

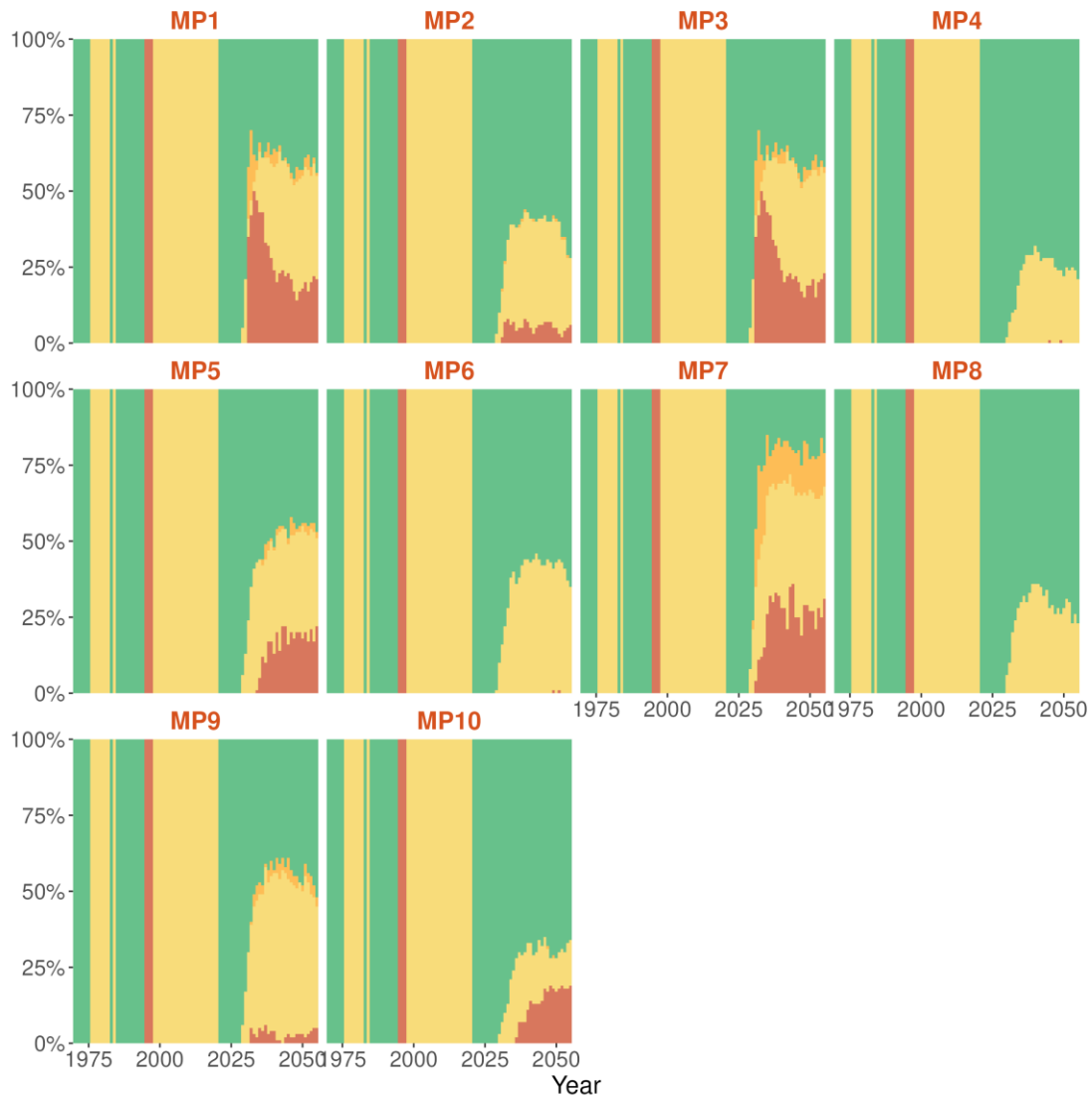


Figura 61. Comparación del desempeño de los MP mediante “Kobe plot” para el escenario de reclutamiento promedio (MO2). Las áreas coloreadas representan la proporción de simulaciones que se ubican en cada zona del diagrama de Kobe a lo largo del tiempo.

6.4.5. Implementación de procedimientos de manejo (MP) empíricos

La biomasa desovante del stock de jurel se encontraba por sobre la BD_{RMS} al final del período histórico, con un valor en torno a los 17 millones de toneladas. La trayectoria de la mediana de la biomasa desovante de la población proyectada, implementando todos los procedimientos de manejo empíricos descritos en la **Tabla 8**, tiende a disminuir en el corto plazo, alcanzando niveles por debajo de BD_{RMS} para los modelos operativos MO1 y MO2. Sin embargo, el MO3 presentó trayectorias de la mediana de la biomasa desovante por sobre la BD_{RMS} para todos los procedimientos de manejo empíricos evaluados (**Figura 62**). Esto se debe a que este modelo operativo considera un nivel de reclutamiento alto durante la proyección del stock de jurel.

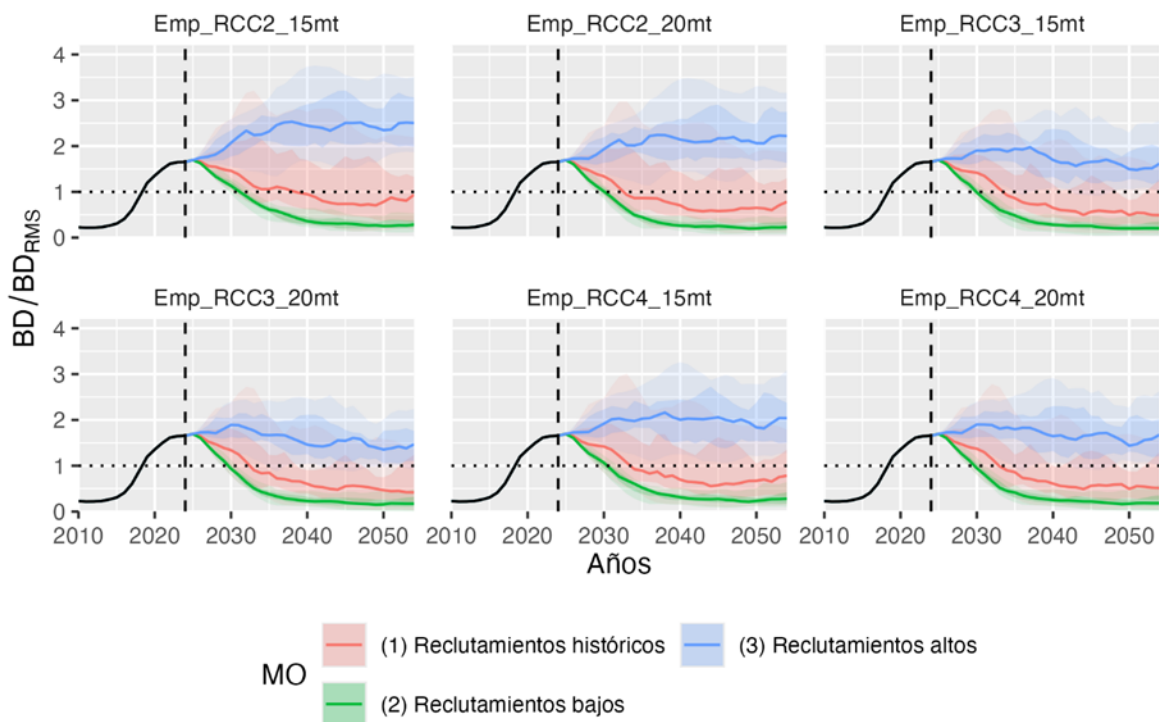


Figura 62. Series de la razón de la biomasa desovante (BD) respecto de la biomasa en el rendimiento máximo sostenible (BD_{RMS}) para cada modelo operativo (colores) y los diferentes procedimientos de manejo empíricos. Las líneas corresponden a la mediana y las bandas de color corresponden al cuantil del 95% a través de todas las simulaciones. El período histórico (previo al 2024) está indicado por la línea vertical segmentada negra. La línea horizontal punteada corresponde a la BD_{RMS} .

El valor de la razón entre la mortalidad por pesca y la mortalidad por pesca al rendimiento máximo sostenible (F/F_{RMS}) al final del período histórico se encuentra muy por debajo del valor de referencia. En términos generales, todos los MP empíricos mantienen al stock de jurel alejado de generar una situación de sobrepesca, con niveles medios en torno al nivel de referencia en el largo plazo (**Figura 63**). Sin embargo, los MP empíricos que consideran una RCC tipo lineal o

exponencial con un nivel de captura de referencia de 2,0 millones de toneladas exhibieron una disminución de la probabilidad de no sobrepesca al final del periodo proyectado. En la **Figura 64** se muestra una probabilidad de 0,25 de estar en una condición de sobrepesca en el largo plazo para los MP empíricos con RCC3 y RCC4 con una captura de referencia de 2,0 millones de toneladas.

Sin embargo, los MP empíricos que consideran una RCC tipo lineal y exponencial (RCC3 y RCC4) presentaron mejores oportunidades de captura en el corto plazo con una disminución importante de la biomasa desovante (**Figura 62** y **Figura 65**) para los MO1 y MO2. En contraste, los MP empíricos con un límite en la captura (RCC2) mostraron una captura constante en el corto plazo, pero con una tendencia a disminuir en el mediano y largo plazo, de igual manera para la biomasa desovante en los modelos operativos MO1 y MO2 (**Figura 62** y **Figura 65**). Sin embargo, los MP empíricos basado en RCC3 y RCC4 presentan capturas crecientes, por sobre los 2 millones de toneladas en el corto plazo para el MO3. En general, los procedimientos de manejo empíricos muestran aumentos de la captura en el corto plazo (**Figura 65**) a expensas de un aumento de la probabilidad de estar en una condición de sobreexplotación y en agotamiento en el mediano y largo plazo, comprometiendo la conservación del stock de jurel (**Figura 66**).

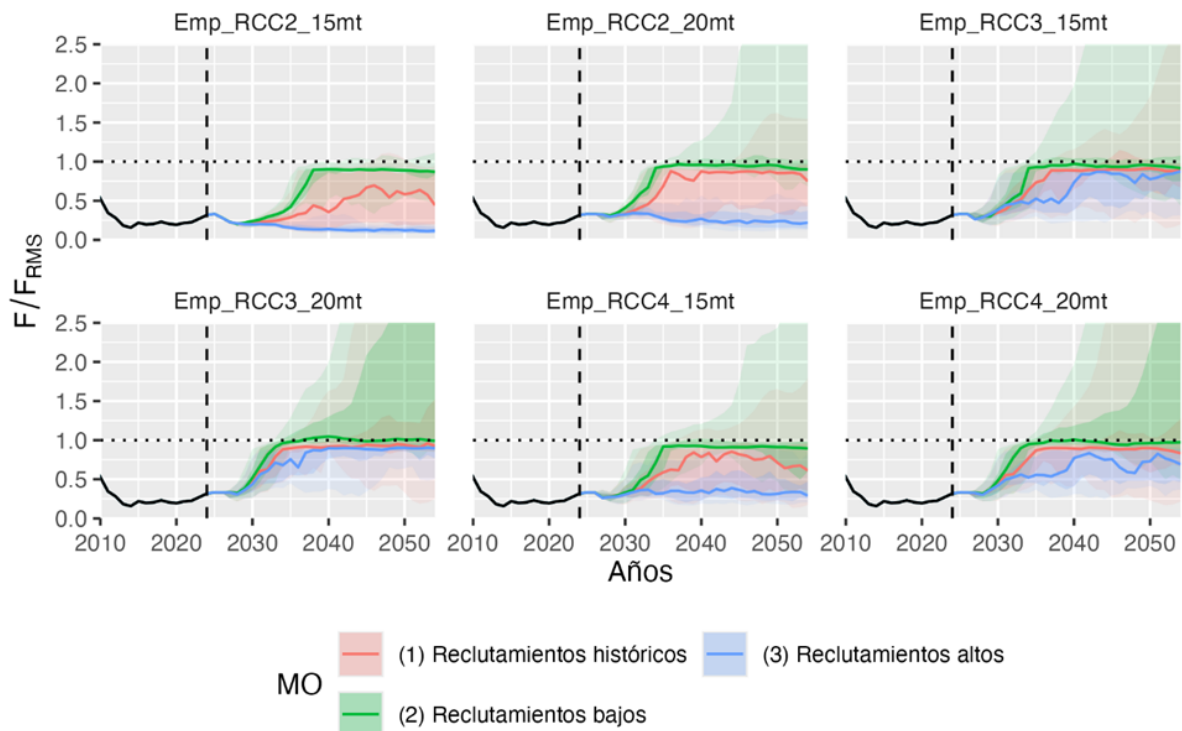


Figura 63. Series de la razón de la mortalidad por pesca (F) respecto de la mortalidad por pesca en el rendimiento máximo sostenible (F_{RMS}) para cada modelo operativo (colores) y los diferentes procedimientos de manejo empíricos. Las líneas corresponden a la mediana y las bandas de color corresponden al cuantil del 95% a través de todas las simulaciones. El período histórico (previo al 2024) está indicado por la línea vertical segmentada negra. La línea horizontal punteada corresponde a la F_{RMS} .

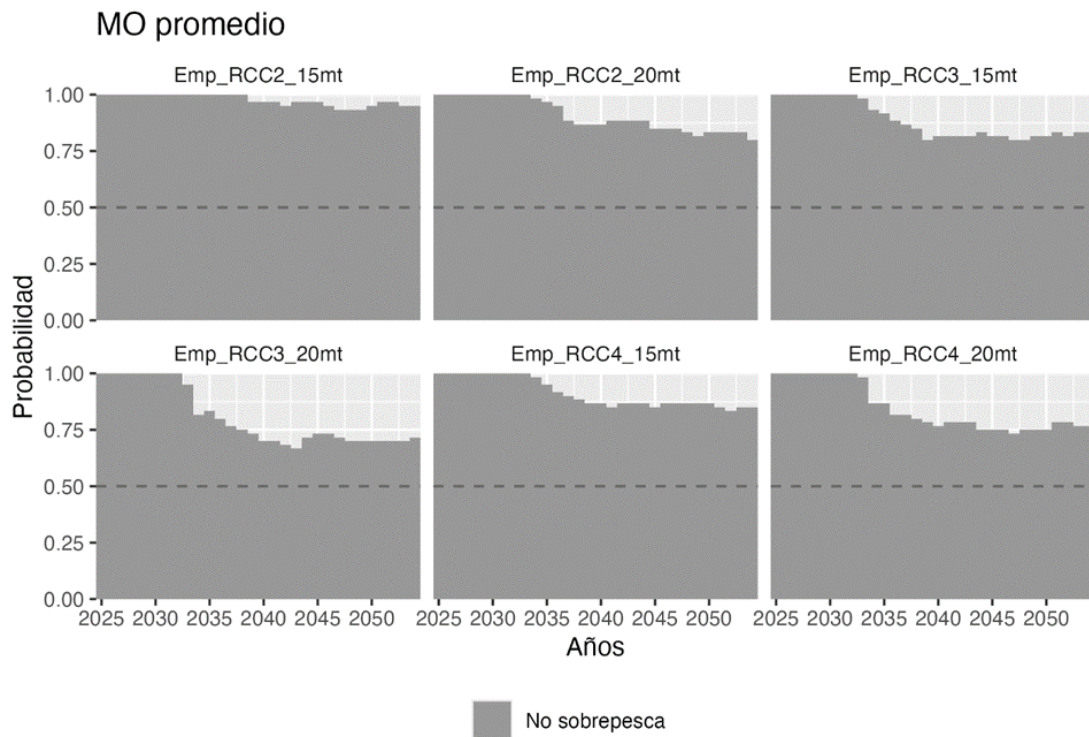


Figura 64. Probabilidad de no sobrepesca de acuerdo con el diagrama de fase o Kobe plot temporal, con la proporción de las simulaciones en donde la mortalidad por pesca se encontró por debajo de F_{RMS} para cada año de la proyección y procedimiento de manejo. Valores medios a través de todos los MO.

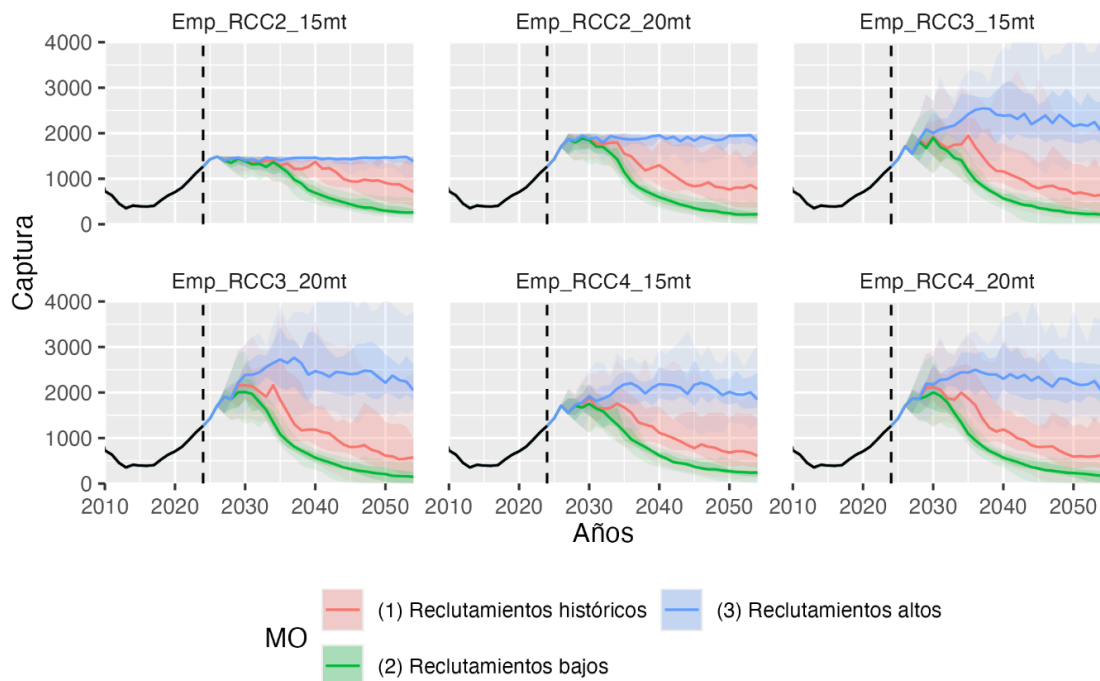


Figura 65. Series de captura en miles de toneladas por MO (colores) y procedimiento de manejo. Las líneas corresponden a la mediana y las bandas de color corresponden al cuantil del 95% a través de todas las simulaciones. El período histórico (previo al 2024) está indicado por la línea vertical segmentada negra.

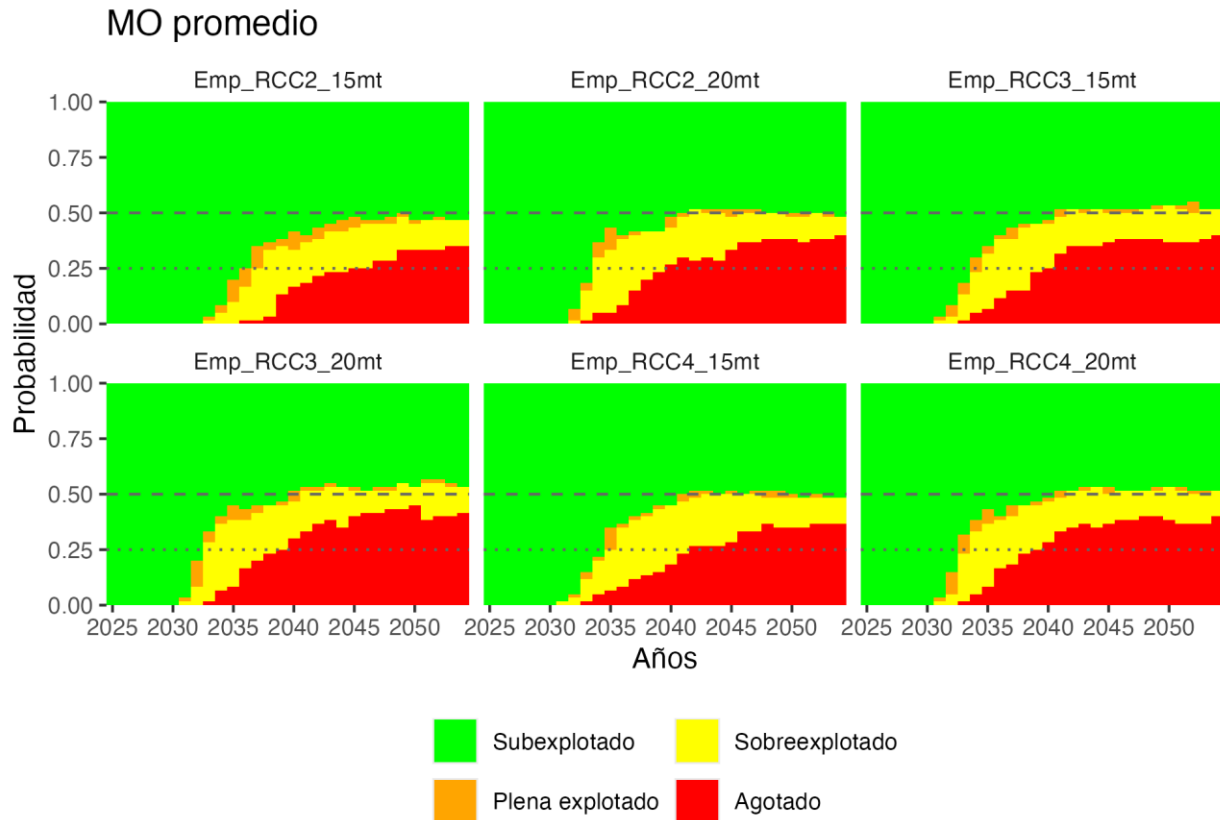


Figura 66. Diagrama de fase o Kobe plot temporal con la proporción de las simulaciones de la condición del stock de jurel con respecto a su biomasa para cada año durante el periodo proyectado y para los diferentes MP. Las áreas coloreadas representan los valores medios para todos los MO. Las líneas horizontales segmentada y punteada representa el nivel de probabilidad de 0,5 y 0,25, respectivamente.

6.4.6. Modelo de estimación *JJM_simple*

a) Ajuste del modelo a los datos

Las tres series temporales utilizadas como datos en el modelo *JJM_simple*, que incluyen capturas consolidadas, índices de CPUE y biomاسas estimadas por los cruceros acústicos, fueron reproducidas de manera satisfactoria (**Figura 67**). La serie de capturas agrega todas las remociones desde 1970 hasta 2024 por las cuatro flotas que han operado en el área de distribución del stock evaluado por la SPRFMO (norte de Chile, centro-sur de Chile, norte lejano y aguas internacionales). La CPUE representa la serie de tasas de captura estandarizadas basadas en las operaciones de la flota chilena en la zona centro- sur, mientras que la serie de biomاسas de los cruceros refleja las prospecciones realizadas en la zona norte de Chile.

Los coeficientes de variación (CV) utilizados en los índices de abundancia (CPUE y cruceros) reflejan el grado de desviación respecto al valor central observado, como parte del error de observación. Estos coeficientes son relevantes en las estimaciones, ya que su valor es inversamente proporcional al peso de una fuente de datos específica en la verosimilitud total. Los CV presentados en la **Tabla 9** facilitaron un balance adecuado durante el ajuste de los dos tipos de índices (CPUE frente a cruceros), permitiendo ajustes comparables al modelo JJM-SPRFMO (SPRFMO, 2025).

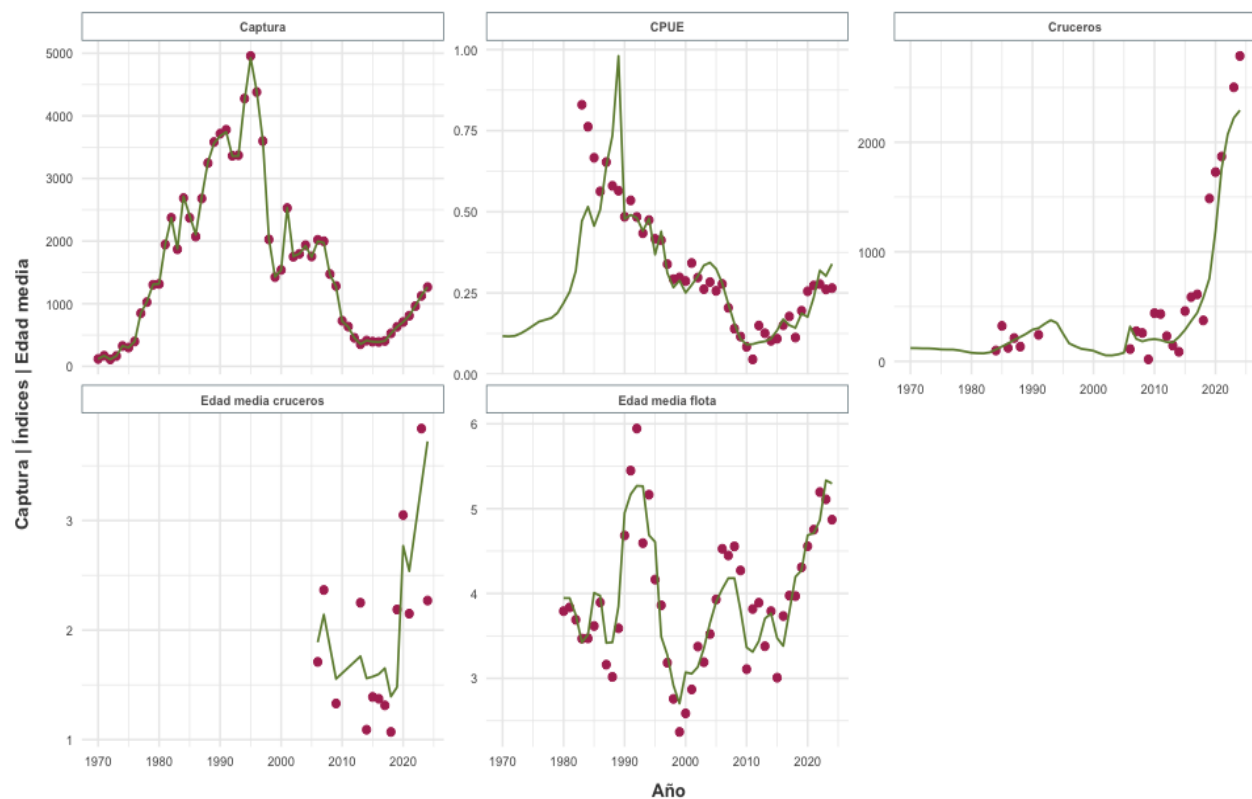


Figura 67. Modelo *JJM_simple* ajustado a diferentes series de datos e índices. Los paneles inferiores representan las edades medias de las composiciones de edades anuales para la flota y cruceros.

Los datos anuales sobre la composición por edad representan una reconstrucción ponderada de las estructuras etarias de las flotas pesqueras chilenas. La **Figura 68** muestra que, en general, la edad promedio está bien ajustada, particularmente en la flota comercial. Las composiciones por edad también reflejan un ajuste preciso, destacándose en la representación de las modas en la flota comercial (**Figura 68**).

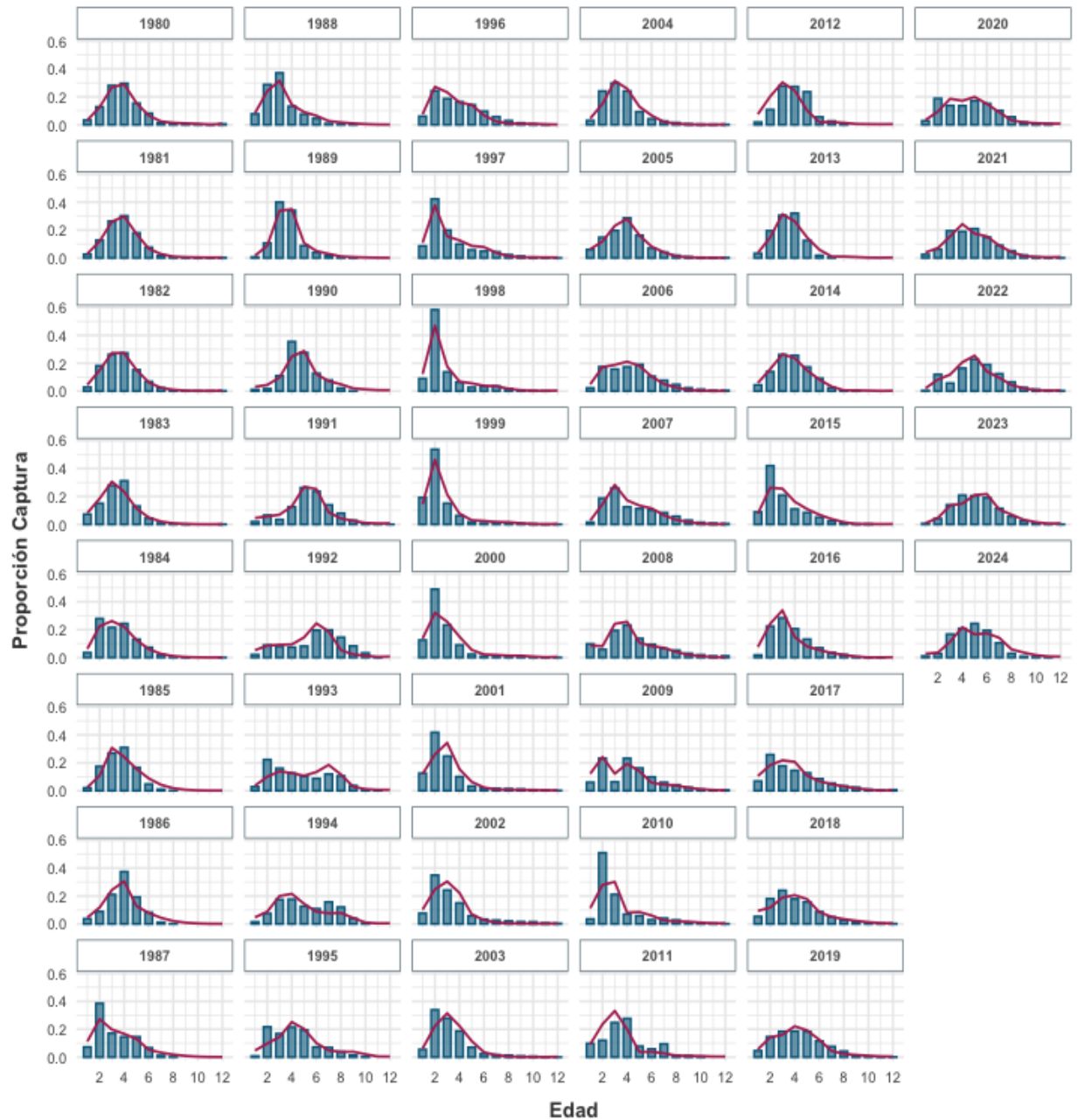


Figura 68. Modelo *JJM_simple* ajustado a las composiciones de edades anuales de la flota comercial. Las barras representan los datos observados y las líneas las predicciones del modelo.

De igual forma, los ajustes de las composiciones por edades obtenidos durante los lances de identificación en los cruceros acústicos son satisfactorios (**Figura 69**), reflejando las cohortes anuales significativas que el crucero detecta regularmente en las edades 1 o 2. Estas composiciones representan las proporciones a la edad de la biomasa vulnerable evaluada durante los cruceros acústicos, y para el año 2024 se requiere información adicional que respalde la fuerte cohorte entrante a la edad 1.

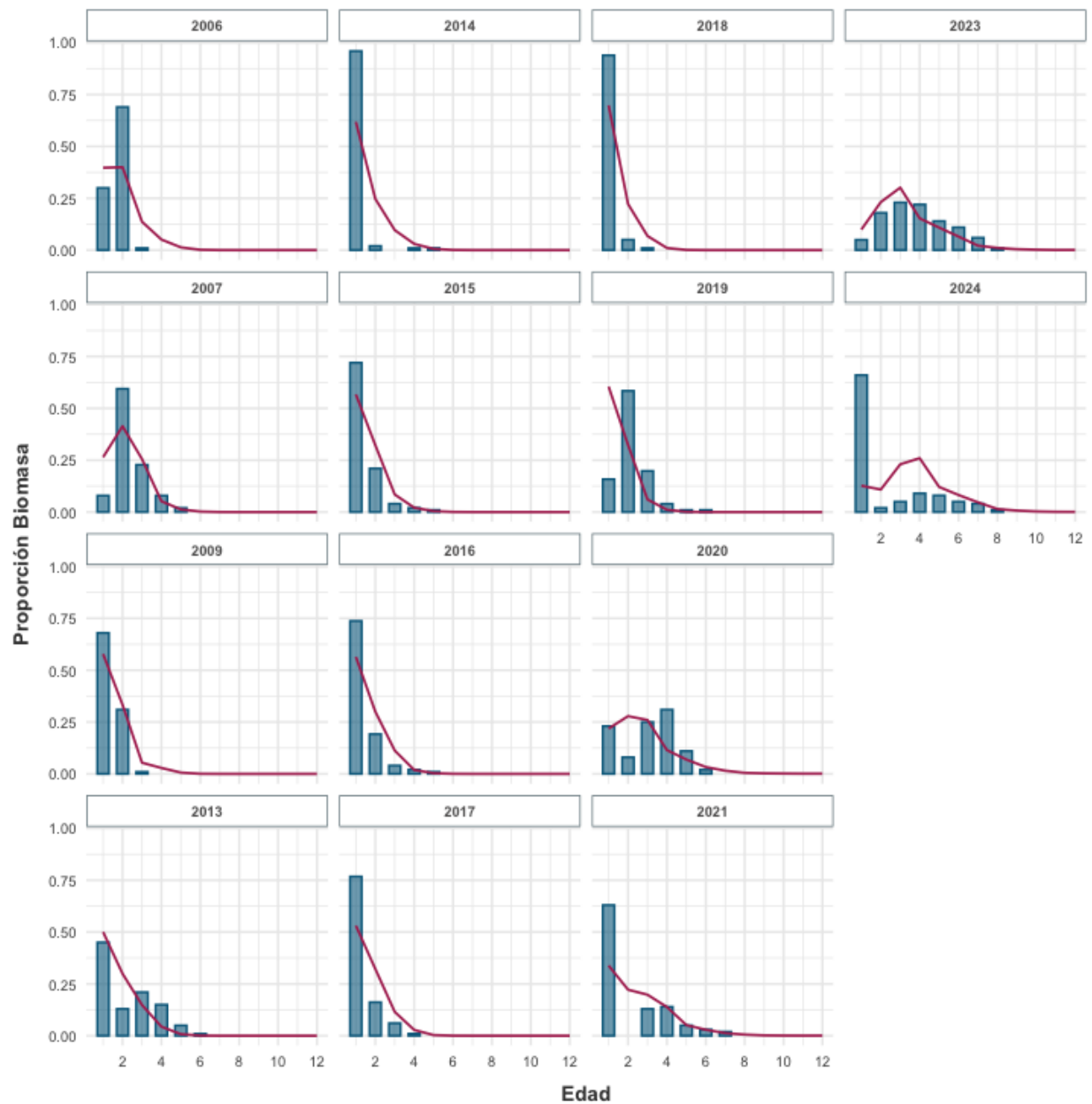


Figura 69. Modelo *JJM_simple* ajustado a las composiciones de edades obtenidas durante los cruceros acústicos. Las barras representan los datos observados y las líneas las predicciones del modelo.

El análisis de residuales del ajuste del modelo *JJM_simple* muestra que la raíz del error cuadrático medio (RMSE) presenta valores aceptables, inferiores al 30% (Winker et al., 2018) en 3 de las 4 principales fuentes de información. Solo el ajuste del modelo a los datos acústicos de la zona norte exhibe un RMSE alto (72%). No obstante, la mayoría de los residuales estandarizados se ubican en el intervalo de confianza del 95% por lo que el modelo de los datos es estadísticamente significativo (**Figura 70**).

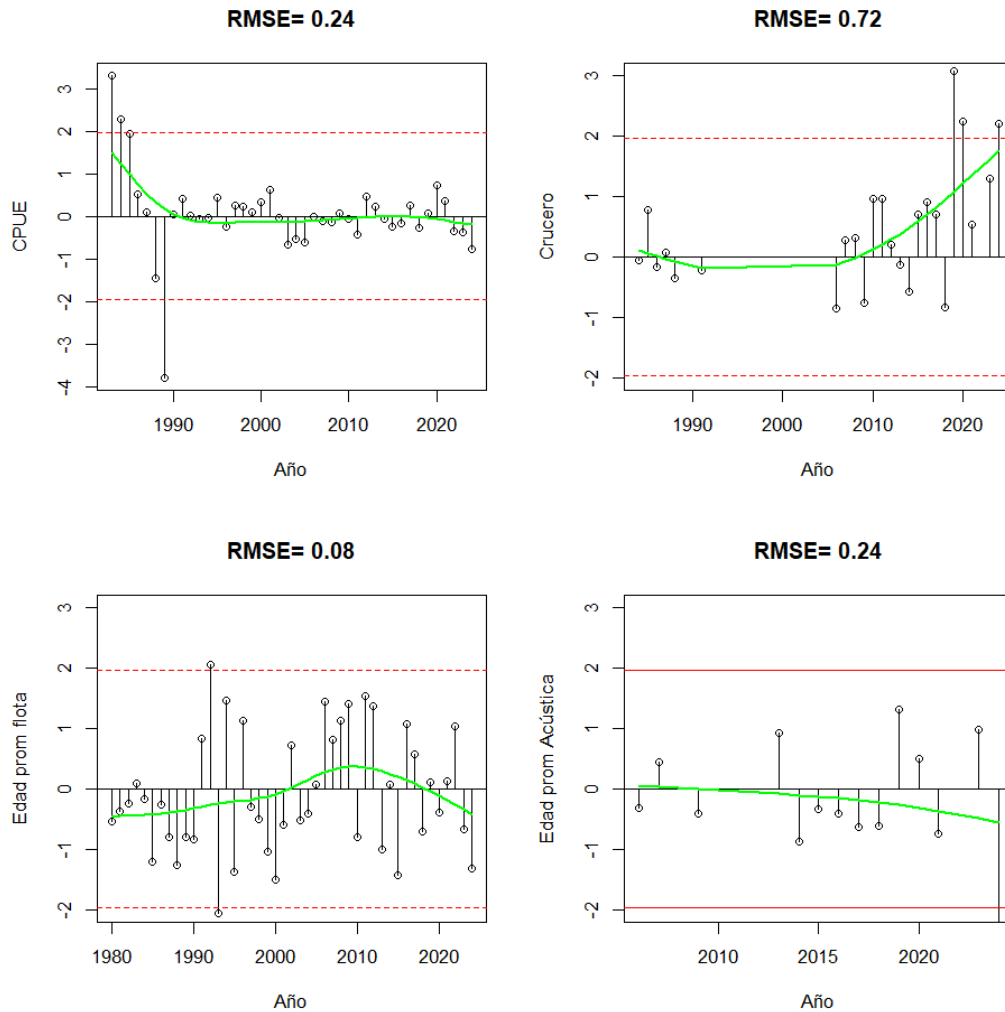


Figura 70. Residuales estandarizados por fuente de información y raíz del error cuadrático medio (RMSE) del modelo *JJM_simple*.

b) Selectividades

Se definieron dos patrones de explotación: uno para la captura comercial y otro para la parte de la biomasa vulnerable que prospecta el crucero acústico. Para describir la forma ascendente y descendente de la curva de selectividad, se utilizó una función doble normal (ver **Tabla 10**). En relación con la captura comercial, se implementó inicialmente que la forma descendente era constante respecto a las edades, manteniendo la máxima selectividad (varianza infinita) y formando una rama asintótica. Debido a cambios en las condiciones operativas de la flota comercial, y en consonancia con las variaciones significativas en las selectividades reportadas por el modelo *JJM-SPRFMO*, se ajustaron los parámetros en 18 bloques de selectividad. Aunque estos cambios operativos ocurrieron en más años, la modificación de la selectividad se implementó para resaltar el impacto en la fracción reclutada a la pesquería.

La **Figura 71** muestra las variaciones anuales en las selectividades para la flota comercial, indicando que las edades modales fluctuaron entre 4 y 6 años, y que en los años recientes se observó una mayor vulnerabilidad en un rango de edades más amplio, de 6 a 12 años. Los cambios en la selectividad por edad y año aplicados a la flota comercial del modelo *JJM_simple* son comparables a las variaciones identificadas de manera independiente por el modelo JJM-SPRFMO para las flotas comerciales del norte y centro-sur de Chile (**Figura 72**). Al unificarse, estas flotas deberían reflejar un comportamiento de selectividades similar al del modelo *JJM_simple*.

Para las selectividades que reflejan la proporción de biomasa vulnerable por el crucero acústico, se utilizaron cinco bloques temporales, alineados con los cambios identificados por el modelo JJM-SPRFMO. Específicamente, este modelo ha identificado dos grandes períodos: el primero, antes de 2005, donde las prospecciones se centraron en individuos adultos (y una pequeña fracción de juveniles), y el segundo, después de 2005, donde predomina una fracción de biomasa juvenil. Los resultados del modelo *JJM_simple* son consistentes con esta descripción de los cambios de selectividades reportados por la SPRFMO (**Figura 72**).

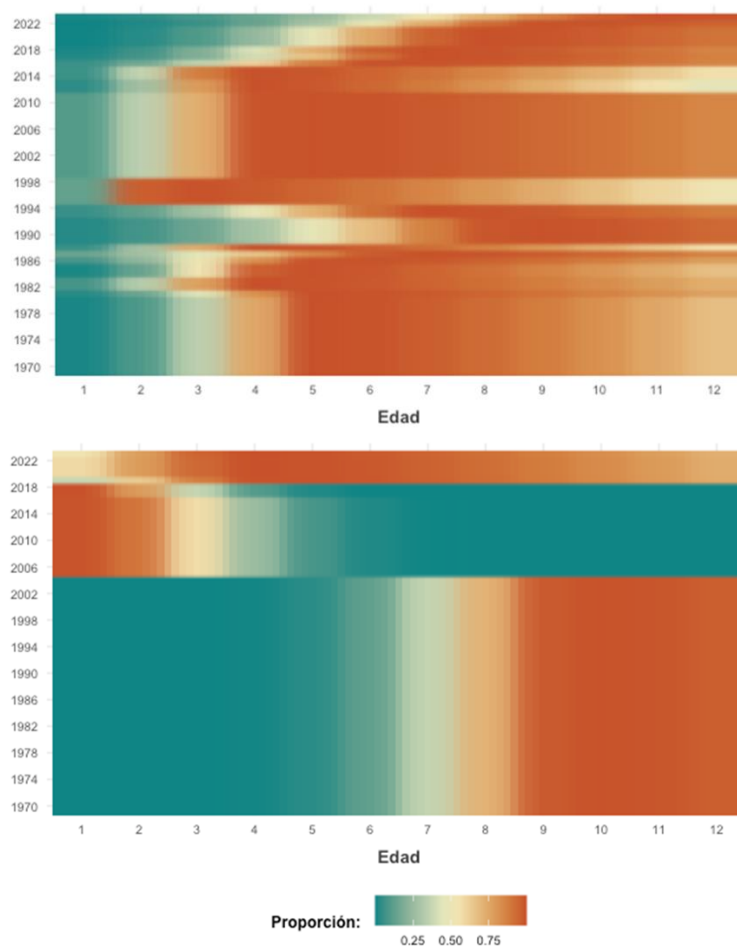


Figura 71. Mapa de calor de las selectividades de la flota comercial (arriba) y de los cruceros acústicos (abajo) obtenidas por el modelo *JJM_simple*.

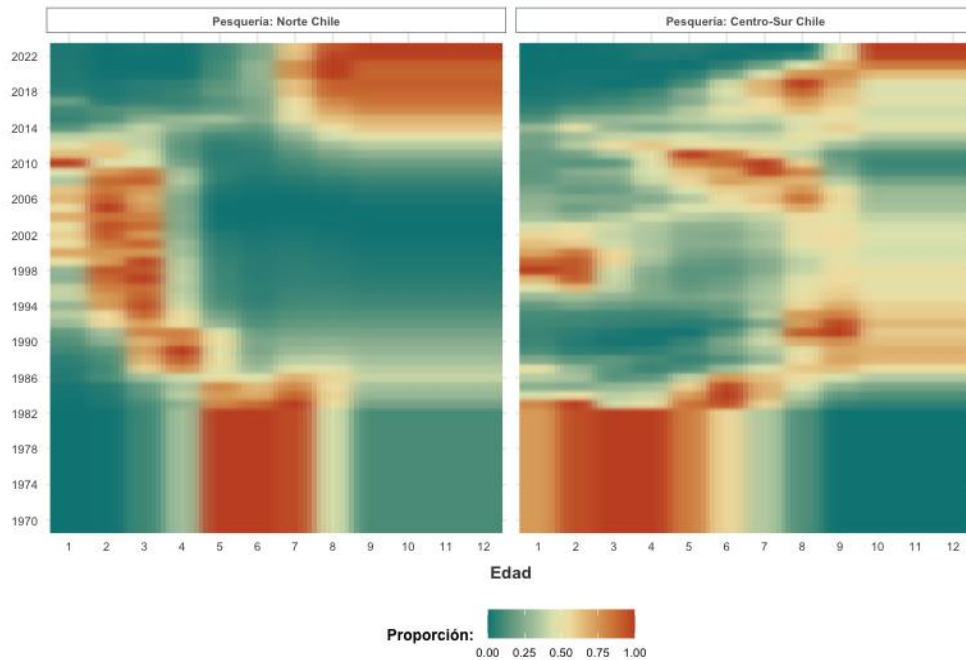


Figura 72. Mapa de calor de las selectividades de las flotas chilenas obtenidas por el modelo JJM de la SPRFMO.

c) Variables de estado

La **Figura 73** presenta un resumen del estado del stock, específicamente la biomasa desovante y su nivel de reducción. Se destaca que la biomasa ha experimentado un aumento constante en la última década, situándose actualmente por encima del 60% de la biomasa que se habría registrado en ausencia de actividad pesquera. En el panel izquierdo, correspondiente a la biomasa desovante, se superpone el intervalo de confianza del 90% informado por el Comité Científico de la SPRFMO en el año 2025 (SPRFMO, 2025). Asimismo, desde 1980, con la disponibilidad de estructuras de edad, ambos modelos muestran una elevada consistencia en los niveles de biomasa desovante. Las discrepancias al inicio de la serie se deben a distintas condiciones iniciales, pero no afectan la situación actual del jurel.

La **Figura 74** muestra la evolución temporal de la biomasa explotable y total. Para la biomasa total, las estimaciones del modelo *JJM_simple* coinciden con las reportadas por la SPRFMO en 2025. Actualmente, según el modelo *JJM_simple*, los niveles de biomasa total y explotable son de 25,3 y 5,6 millones de t, respectivamente, lo que representa una diferencia marginal y positiva del 1,5% y 0,7% en comparación con las estimaciones de biomasa de la SPRFMO de 2025. Las variables poblacionales estimadas resultaron ser muy similares a las informadas por la OROP-PS, con niveles de correlación parcial superiores al 90% (**Figura 75**). A partir de esto se concluye que el modelo *JJM_simple* representa de manera muy cercana lo que es el actual modelo de estimación del jurel y, por ende, se consideró candidato para su implementación en un full MSE.

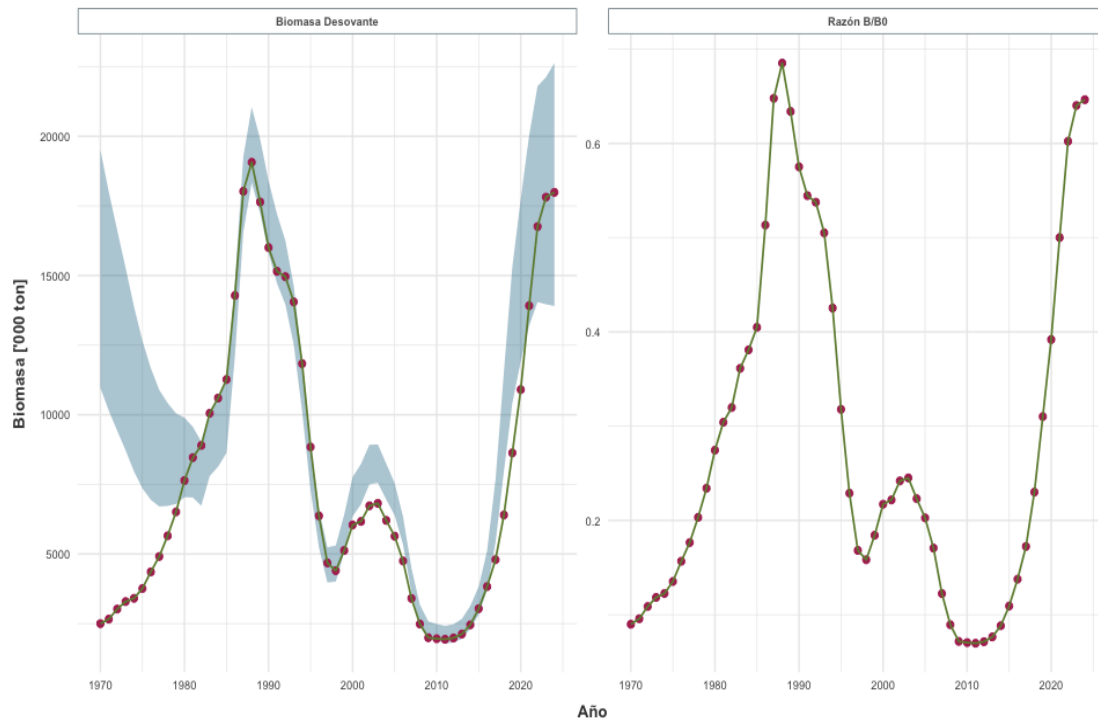


Figura 73. Estimaciones de la biomasa desovante y de la proporción de biomasa desovante que se habría producido en ausencia de pesca, a partir de 1970. La zona sombreada muestra las estimaciones del modelo JJM-SPRFMO presentadas por el Comité Científico en el año 2025.

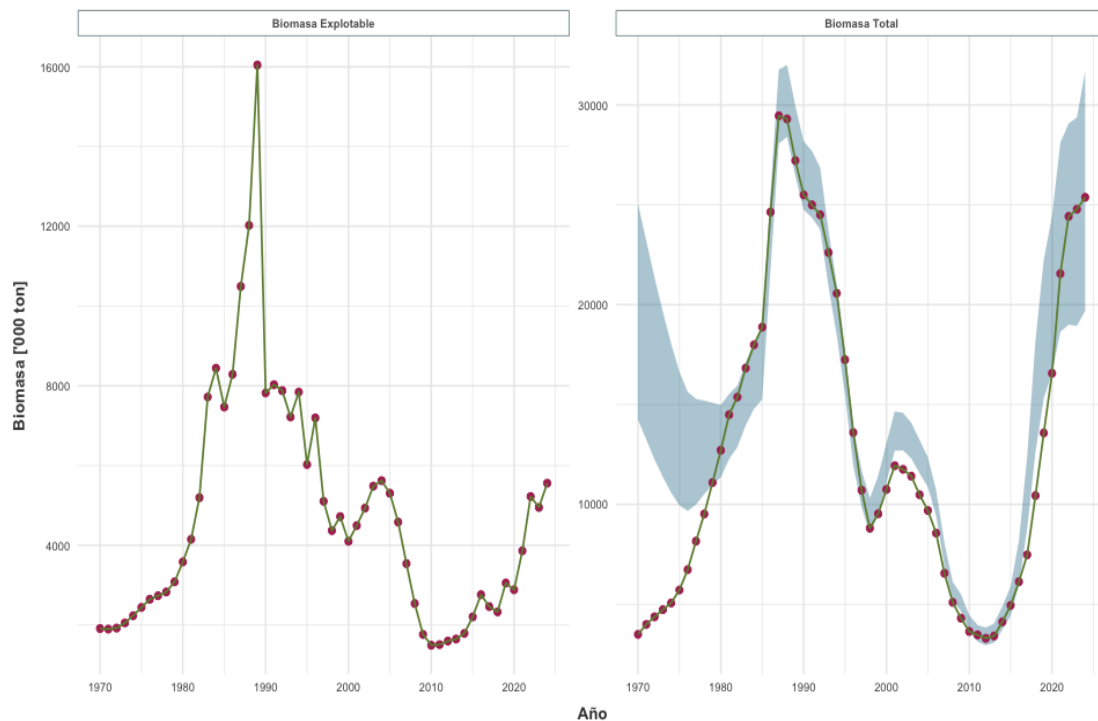


Figura 74. Estimaciones de la biomasa explotable y la biomasa total, a partir de 1970. La zona sombreada muestra las estimaciones del modelo JJM-SPRFMO presentadas por el Comité Científico en el año 2025.

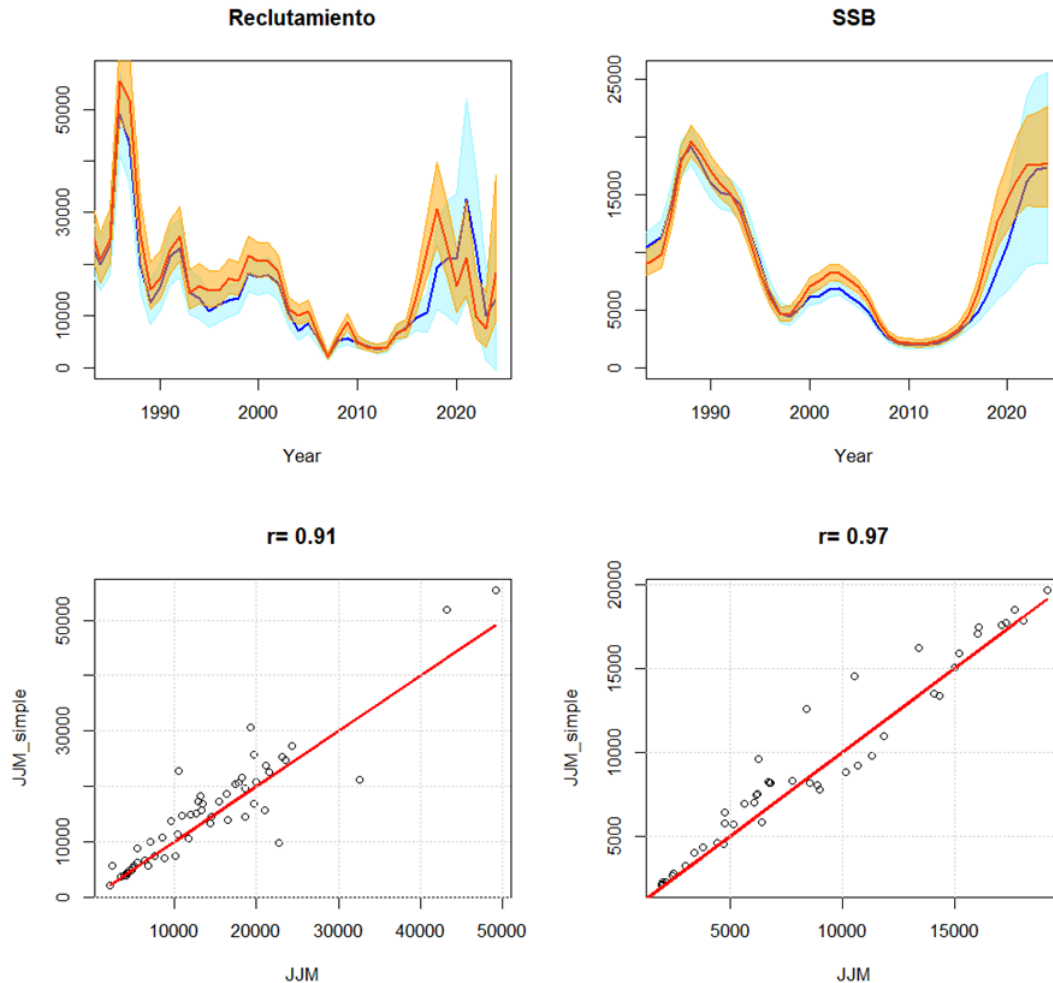


Figura 75. Reclutamiento y biomasa desovante del jurel estimados por los modelos JJM original (línea roja) y *JJM_simple* (línea azul).

Basado en un análisis retrospectivo, la SPRFMO señaló que los reclutamientos de los últimos años están ligeramente subestimados. Este sesgo negativo probablemente se deba a que los reclutamientos en la última década han sido muy altos, comparables solo con los de mediados de los años 80. El modelo *JJM_simple*, en consonancia con el JJM-SPRFMO, reproduce los altos niveles de reclutas para el período 2015-2022, con estimaciones recientes que vuelven a una media a más largo plazo, según lo indican las desviaciones de los reclutas anuales (**Figura 76**).

Del mismo modo, el error retrospectivo (**Figura 77**) indica que el modelo tiende a sobreestimar la biomasa en un 12% y subestimar la mortalidad por pesca en un 15% cuando los datos del año más reciente son retirados del análisis. Sin embargo, estos niveles se encuentran dentro de lo declarado como aceptable (Hurtado-Ferro et al., 2015) y de magnitud similar al del modelo JJM original empleado en la OROP.

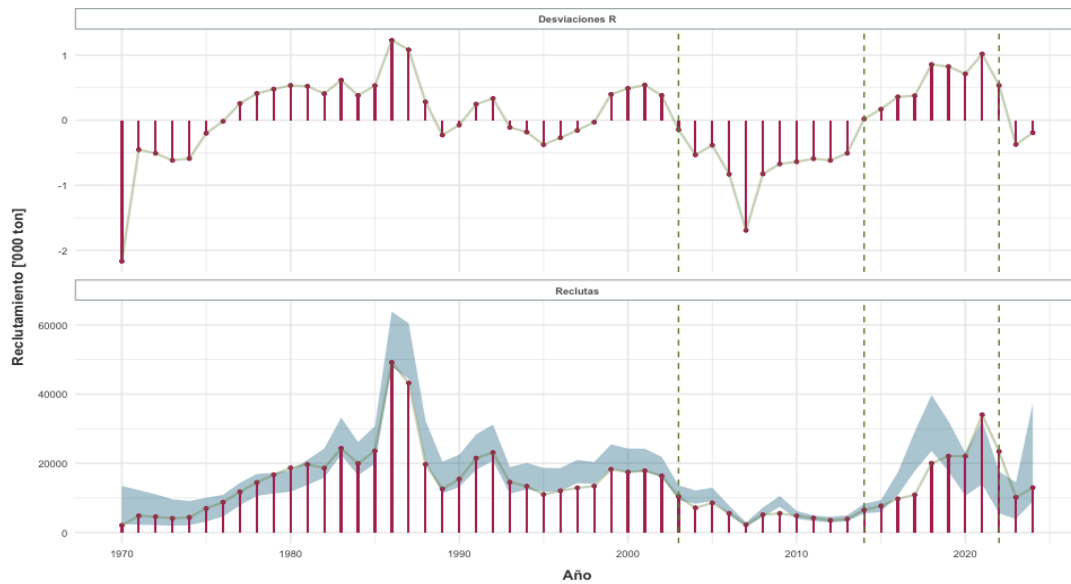


Figura 76. Estimaciones de reclutamientos y sus desvíos anuales, a partir de 1970. La zona sombreada muestra las estimaciones del modelo JJM-SPRFMO presentadas por el Comité Científico en el año 2025.

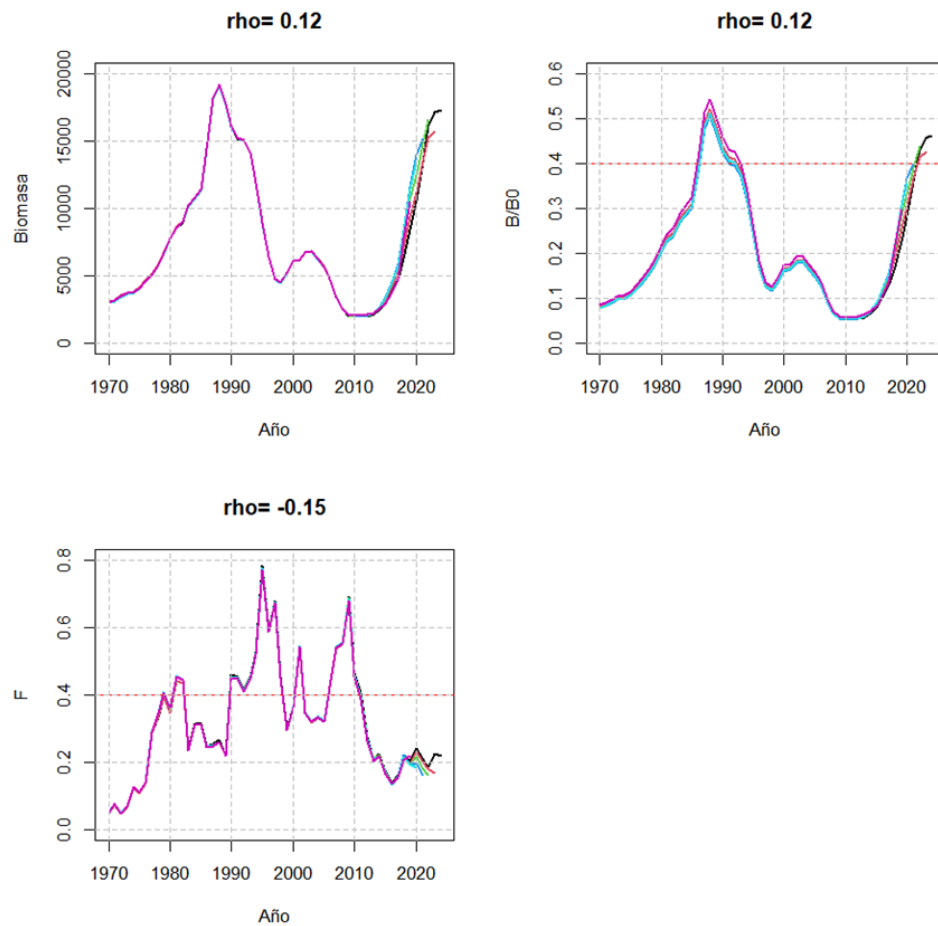


Figura 77. Análisis retrospectivo de biomasa, reducción poblacional y mortalidad por pesca del jurel, estimadas mediante *JJM_simple*. Procedimiento de manejo actual MP2. Versión **FULL MSE**.

d) Comparación del ciclo de simulación vs estimación

La simulación del procedimiento de manejo considera la biomasa estimada mediante *JJM_simple*, comparada con la biomasa simulada mediante el modelo operativo base (**Figura 78**). Una regresión lineal en escala log entre la biomasa “verdadera” y la biomasa estimada por el modelo de evaluación, indica que la relación es de un 86% (**Figura 79**), lo cual sugiere que la estimación es posible de emular vía shortcut MSE, y justifica su empleo para optimizar el tiempo de computación para múltiples modelos operativos y procedimientos de manejo. El sesgo de estimación de la biomasa del modelo *JJM_simple* se calcula en 5.7% y el coeficiente de variación de la estimación en 20% (**Figura 79**).

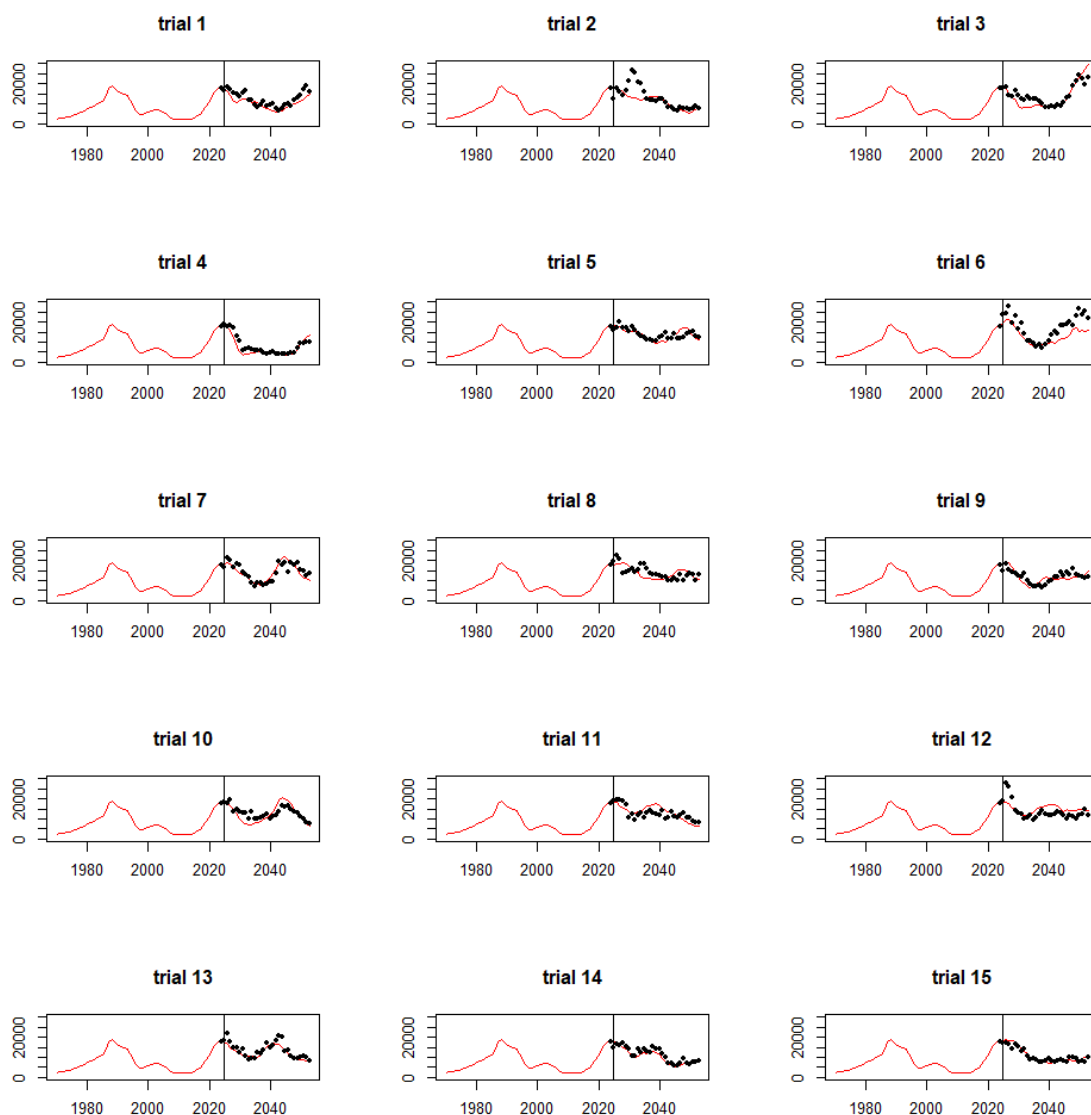


Figura 78. Ejemplos de simulación-estimación de biomasa del jurel mediante *JJM_simple*. Los puntos representan las estimaciones y la línea roja la biomasa verdadera.

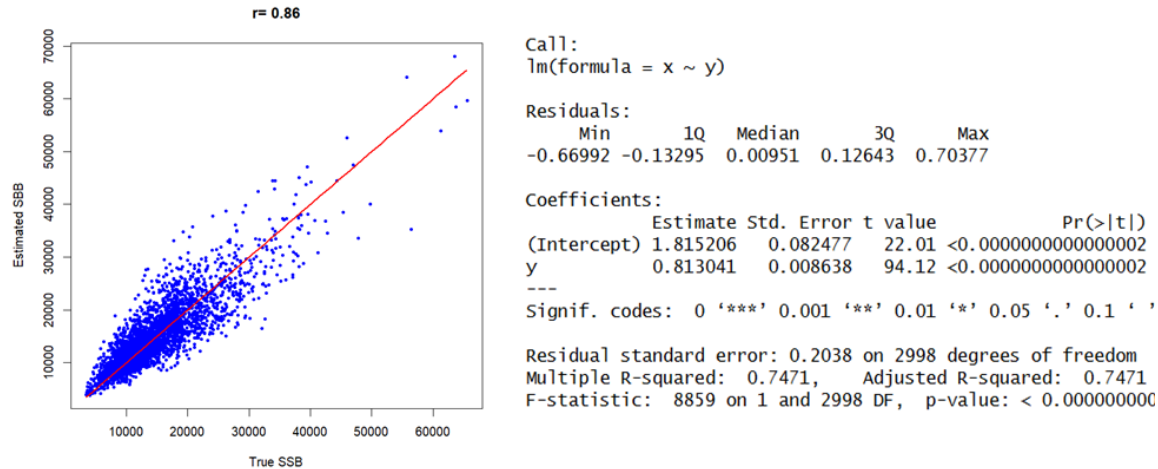


Figura 79. Relación entre la biomasa verdadera y la biomasa estimada por el modelo de evaluación de stock *JJM_simple* para el jurel.

6.4.7. Evaluación de estrategias de manejo mediante full MSE

Se presentan los resultados de una EEM completa, en términos relativos y complementarios a los obtenidos en la plataforma OpenMSE. Los resultados indican que la simplicidad del modelo *JJM_simple* es adecuada para obtener elementos que faciliten la discusión y la posible selección de un procedimiento de manejo para el jurel.

Cada procedimiento de manejo se evaluó mediante 100 simulaciones estocásticas solo para el modelo operativo 2 (base). Este número de simulaciones representó un equilibrio entre la eficiencia computacional y la precisión estadística. Aumentar el número de simulaciones (n) más allá de este nivel, si bien produce mejoras en la precisión de las métricas de rendimiento, incrementa sustancialmente el tiempo de cálculo sin generar cambios relevantes en las conclusiones generales.

Si bien con $n=100$ las medidas de riesgo de conservación, como valor absoluto, podrían estar sobreestimadas (mayor probabilidad de encontrar valores de biomasa bajo un valor de referencia), las comparaciones finales fueron realizadas en términos de sus valores relativos, lo cual permitió discriminar aquel procedimiento de manejo con mejor desempeño en los atributos de interés. Una simulación por Monte Carlo de la biomasa promedio del último año de proyección muestra que el coeficiente de variación y el rango intercuartílico se reducen a la mitad cuando se incrementa de $n=100$ a $n=300$. Sin embargo, en ambos casos, el CV es menor al 10% y se observa una significativa similitud en los valores promedio de biomasa en torno a 15,4 millones de toneladas y que en ambos casos se verifica que $p(B < B_{msy}) = 0$ (**Figura 80**).

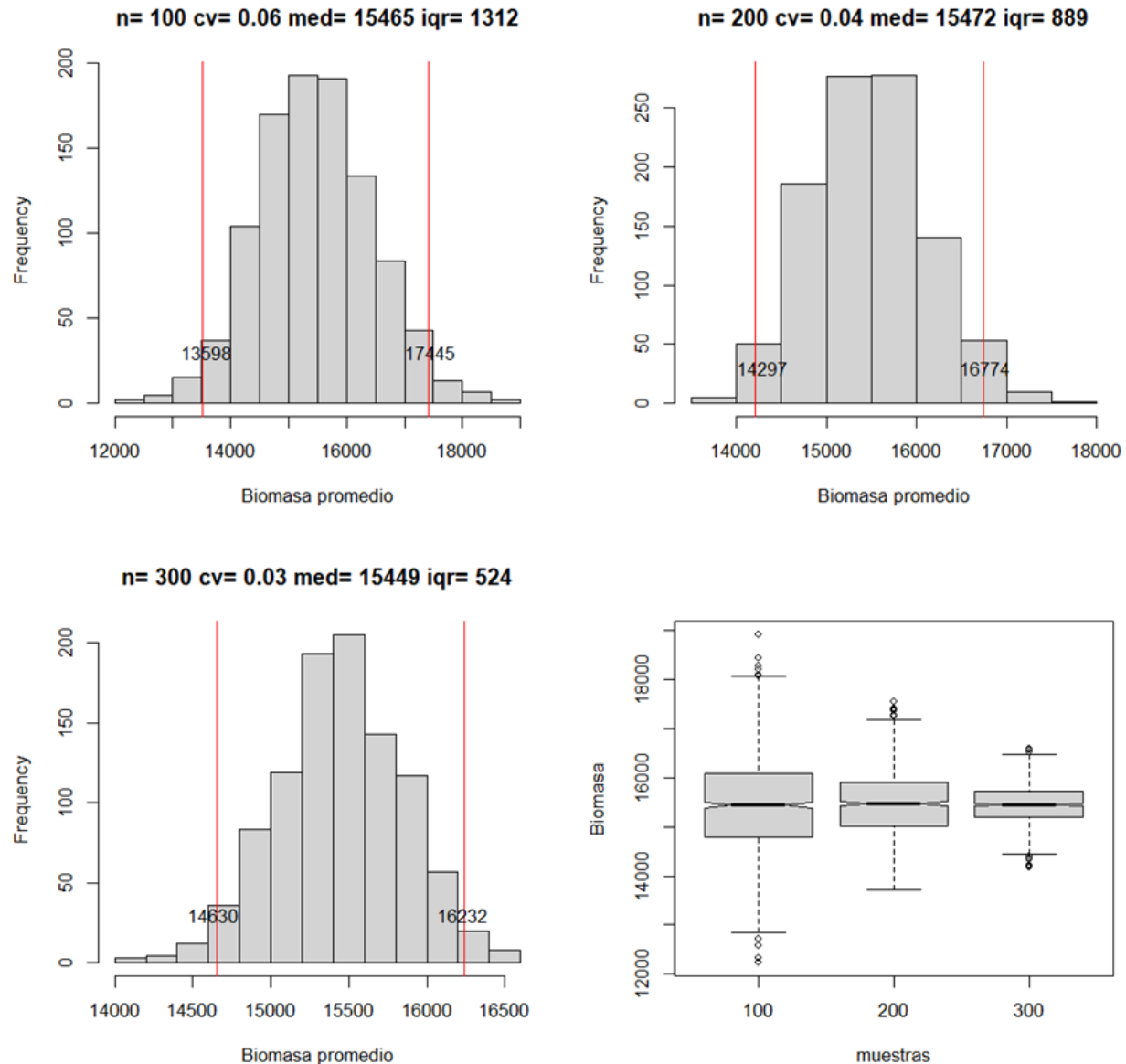


Figura 80. Frecuencia relativa y boxplot de las estimaciones de biomasa de largo plazo del jurel generadas mediante el modelo *JJM_simple* para dos tamaños de muestra ($n=100$, $n=200$ y $n=300$).

a) Biomasa

Independientemente del tipo de MP aplicado, los resultados muestran que los niveles de recuperación de la biomasa desovante dependen en gran medida del escenario de productividad en el MO. La **Figura 81** indica que ningún MP permite que la biomasa (promedio o mediana) se recupere por encima de los niveles del año 2024 cuando la productividad del stock es baja (MO1).

Por el contrario, cuando la productividad se asume por encima de la media histórica (MO3), la velocidad de recuperación o de alcanzar valores máximos depende del MP.

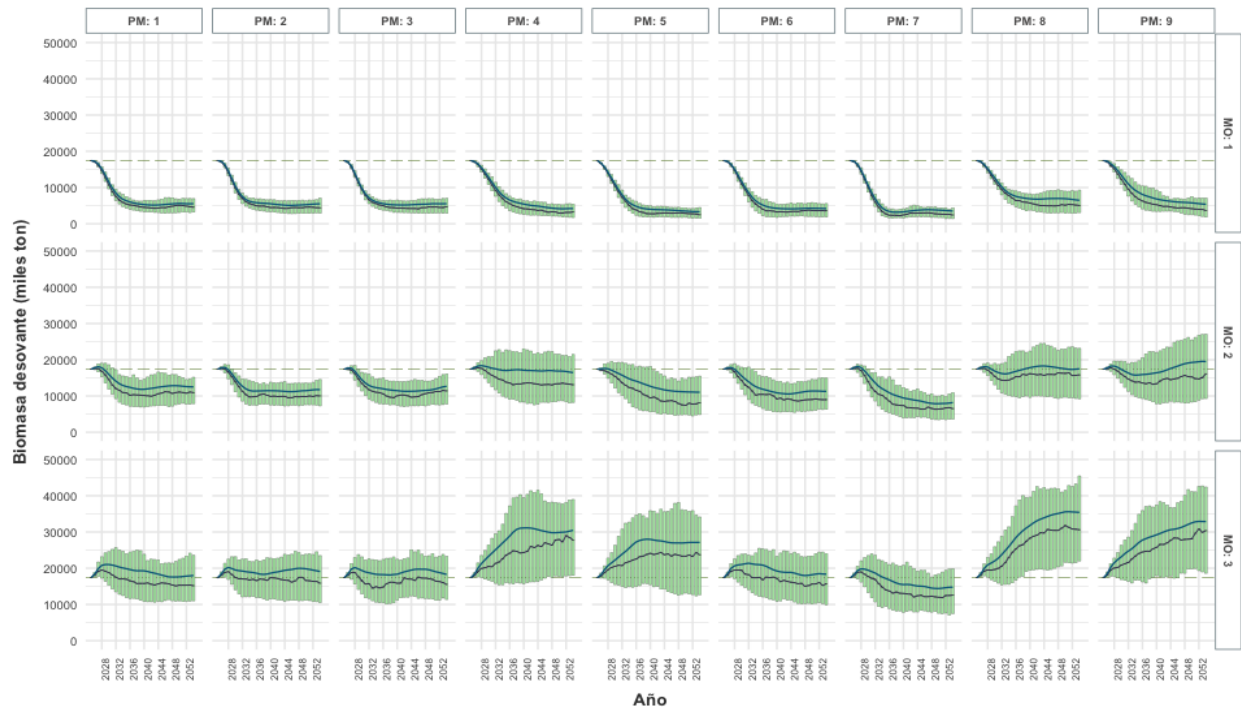


Figura 81. Proyección de la biomasa desovante por MP y MO a 30 años. La línea segmentada horizontal indica la biomasa desovante más reciente. Las líneas continuas representan el promedio (azul) y la mediana (gris).

La biomasa desovante en el MSY (B_{MSY}) muestra una notable similitud entre los distintos MP y MO, resaltando además que la variabilidad interanual es mínima (**Figura 82**). La invarianza persistente de la B_{MSY} hace que las diferencias en el estado de explotación, como situar al stock por encima o por debajo del MSY, se deban principalmente al MO y luego a los elementos que componen los MP (**Figura 83**). De hecho, todos los MP implementados bajo el supuesto de baja productividad (MO1) no permiten una recuperación (en promedio o mediana) del stock por encima del MSY. En cambio, cuando la productividad supera la media histórica (MO3), al final del periodo de proyección, todos los MP muestran un stock por encima del MSY.

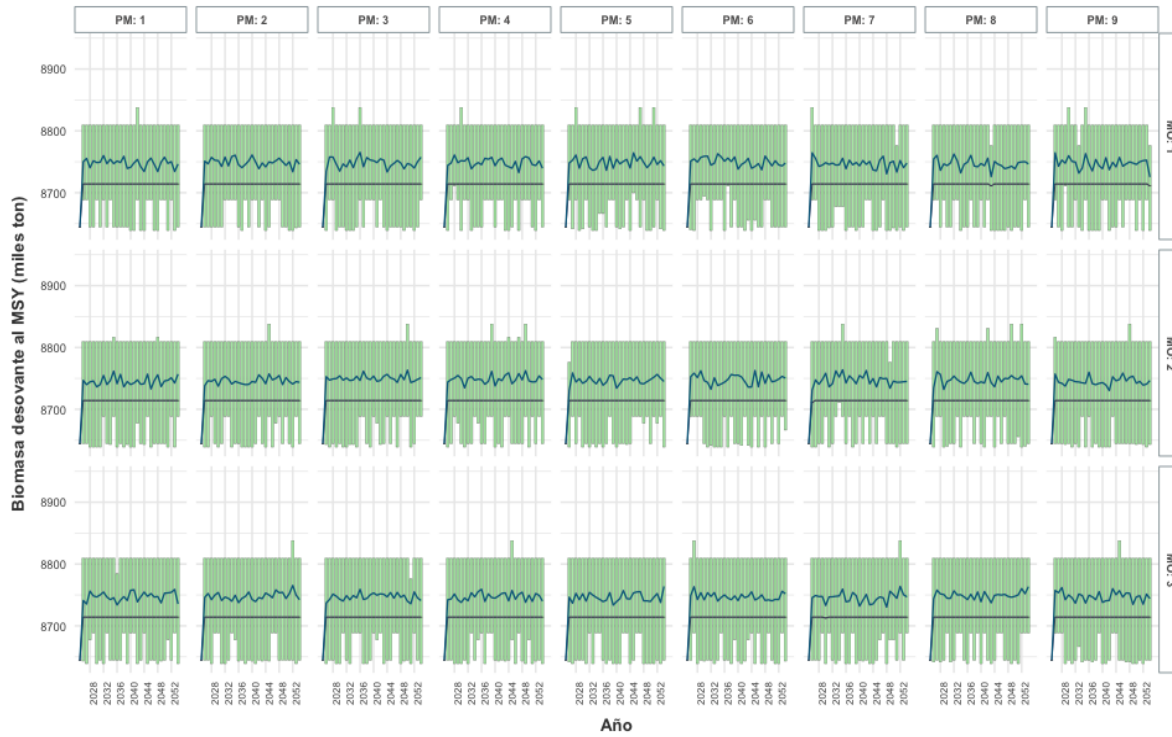


Figura 82. Biomasa desovante al MSY según la combinación de MP y MO. Las líneas continuas representan la biomasa desovante al MSY promedio (azul) y mediana (gris).

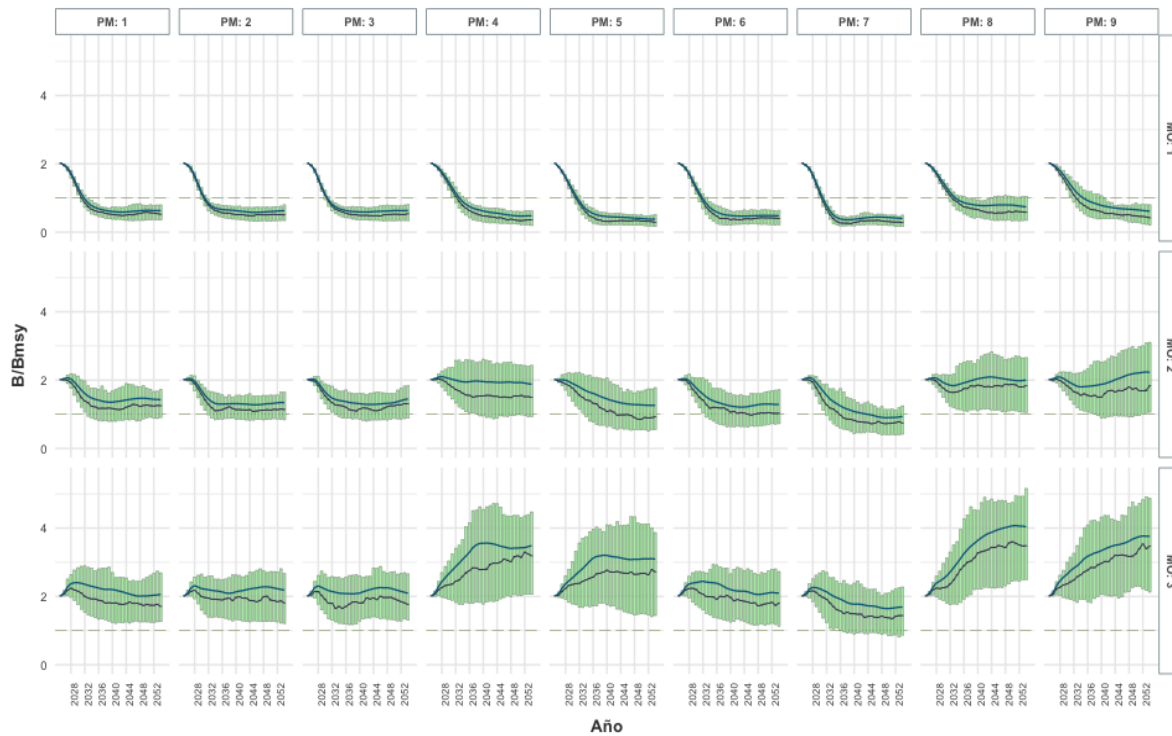


Figura 83. Biomasa desovante relativa a la biomasa en el rendimiento máximo sostenible (B_{MSY}). Las líneas continuas representan el promedio (azul) y la mediana (gris) de B/B_{msy} .

Los resultados muestran una alta incertidumbre en la biomasa que se incrementa con el paso del tiempo. En un escenario de baja productividad (MO1), la probabilidad de que el stock supere la biomasa al MSY es baja, lo cual se refleja en el área del intervalo de confianza que se sitúa por encima de la línea del MSY. Los MO que consideran escenarios de mayor productividad (MO2 y MO3) muestran el caso opuesto, con bajas probabilidades de estar por debajo del MSY. En la **Figura 84** se presenta una representación gráfica de estas probabilidades, expresadas en términos del riesgo de que la biomasa desovante esté por debajo de la biomasa correspondiente al MSY ($P(B < B_{MSY})$). Las simulaciones realizadas con el modelo *JJM_simple* indican que es posible identificar MP que disminuyan este riesgo, independientemente del escenario de productividad implementado (**Tabla 27**).

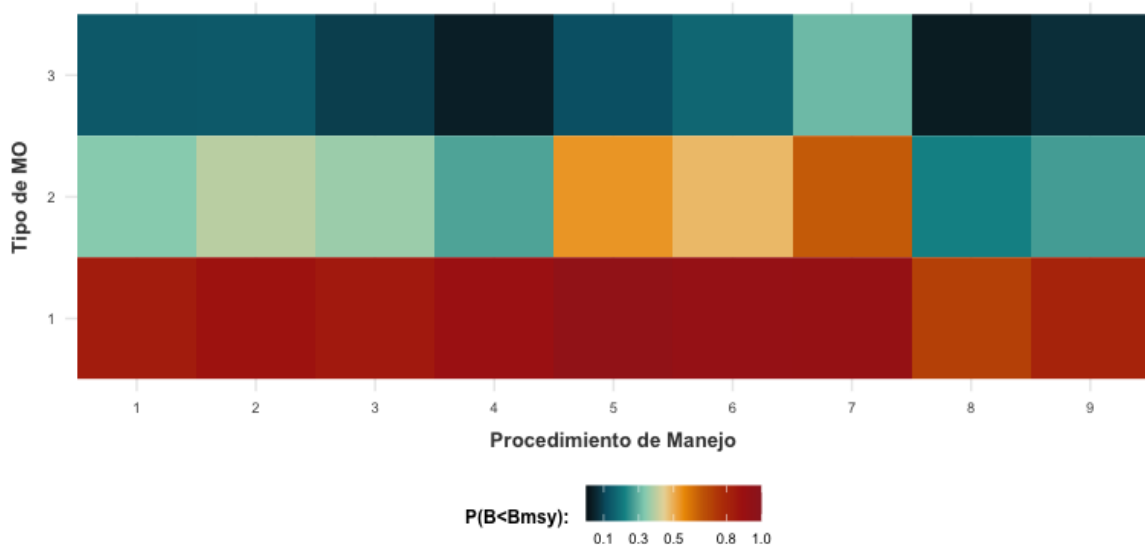


Figura 84. Riesgo de reducir la biomasa desovante por debajo de B_{msy} al final del periodo de proyección (últimos 5 años), para diferentes combinaciones de MP (columnas) y MO (filas).

Tabla 27. Riesgo de reducir la biomasa desovante por debajo de B_{MSY} considerando los 5 últimos años de la proyección, para diferentes combinaciones de modelos operativos (MO) y procedimientos de manejo (MP).

MO	MP								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.85	0.88	0.86	0.90	0.95	0.93	0.92	0.72	0.81
2	0.34	0.39	0.36	0.28	0.54	0.48	0.65	0.22	0.26
3	0.14	0.14	0.09	0.03	0.12	0.17	0.31	0.03	0.06

b) Mortalidad por pesca

La **Figura 85** muestra la progresión temporal de la razón entre la mortalidad por pesca (F_{act}) y la mortalidad por pesca al MSY (F_{MSY}), conocida por la sigla F/F_{MSY} . Contrario a los hallazgos derivados de las proyecciones de biomasa desovante, la condición de explotación basada en la mortalidad por pesca no es principalmente conducida por el tipo de MO, sino por los MP. Algunos MP logran mantener la mortalidad por pesca por debajo de F_{MSY} (sin sobrepesca). Sin embargo, otros, como MP5 a MP7, llevan a un estado de sobrepesca en la mayoría de los años simulados. Dado que este patrón se genera independientemente del MO implementado, las consecuencias de la sobrepesca son intrínsecas a la configuración del MP, definida tanto por la regla de control de captura, sus estabilizadores y la implementación de una captura objetivo.

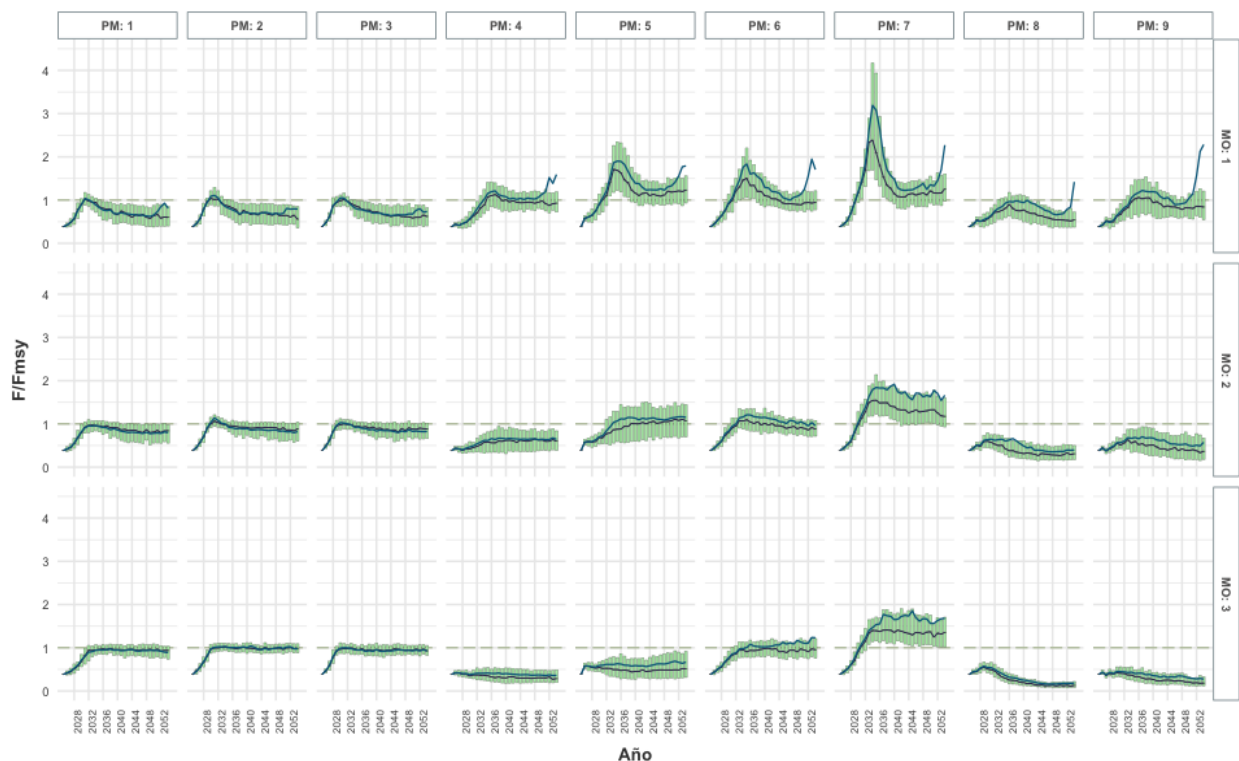


Figura 85. Mortalidad por pesca respecto de F_{MSY} para diferentes combinaciones de MP y MO. Las líneas continuas representan el promedio (azul) y la mediana (gris).

Los resultados del modelo *JJM_simple* permiten explorar los riesgos de que la mortalidad por pesca exceda la mortalidad en equilibrio bajo el MSY (**Figura 86**). Aunque estos riesgos varían considerablemente entre MP y MO, facilitan la identificación de escenarios en los que es posible minimizar la sobrepesca. La **Tabla 28** indica que los cambios más significativos en los riesgos ocurren a lo largo de los MP.

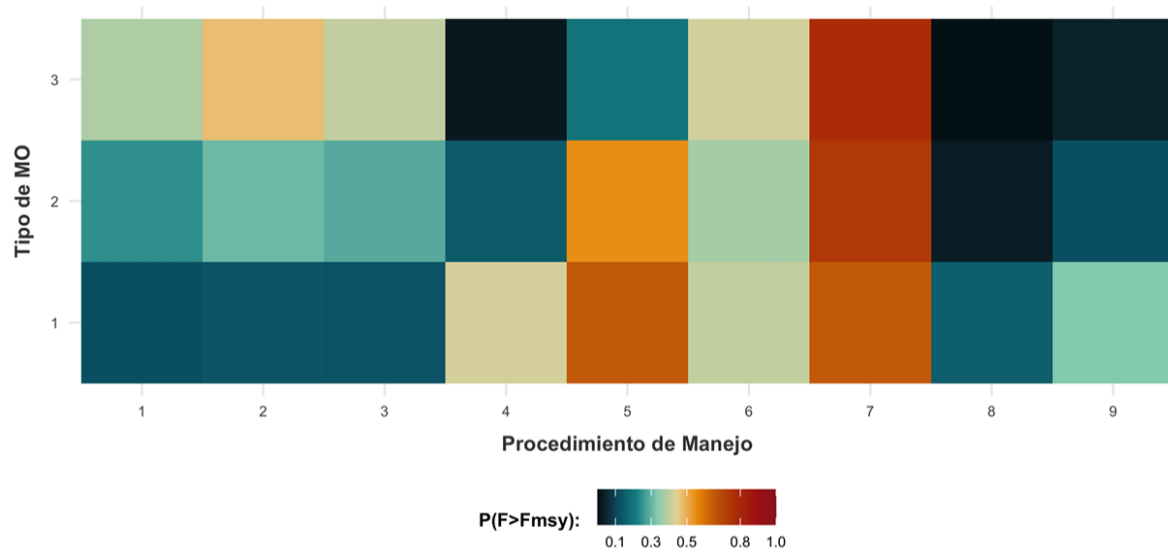


Figura 86. Riesgo de exceder F_{msy} al final del periodo de proyección (últimos 5 años) para diferentes combinaciones de MP (columnas) y MO (filas).

Tabla 28. Riesgo de exceder F_{msy} considerando los 5 últimos años de la proyección, para diferentes combinaciones de modelos operativos (MO) y procedimientos de manejo (MP).

MO	MP								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.11	0.13	0.12	0.43	0.65	0.41	0.65	0.15	0.33
2	0.24	0.31	0.28	0.14	0.55	0.37	0.74	0.03	0.11
3	0.38	0.47	0.40	0.02	0.19	0.42	0.78	0.00	0.04

c) Capturas

El uso del modelo *JJM_simple* permite identificar varias características a partir de las proyecciones de las capturas (**Figura 87**). En primer lugar, estas dependen principalmente del MP, en particular de la regla de control de captura aplicada y, en segundo lugar, del objetivo de captura definido como umbral. Asimismo, la variabilidad de la captura entre simulaciones para un mismo año es elevada en varias combinaciones de MP y MO, pero alcanza su máximo bajo la estrategia de captura actual implementada en la SPRFMO. Finalmente, algunos procedimientos de manejo no permiten estabilizar la captura (por ejemplo, MP8 y MP9). Estos resultados indican que un modelo simple de estimación y operativo es viable para identificar posibles MP, en función de los objetivos de gestión que se prioricen.

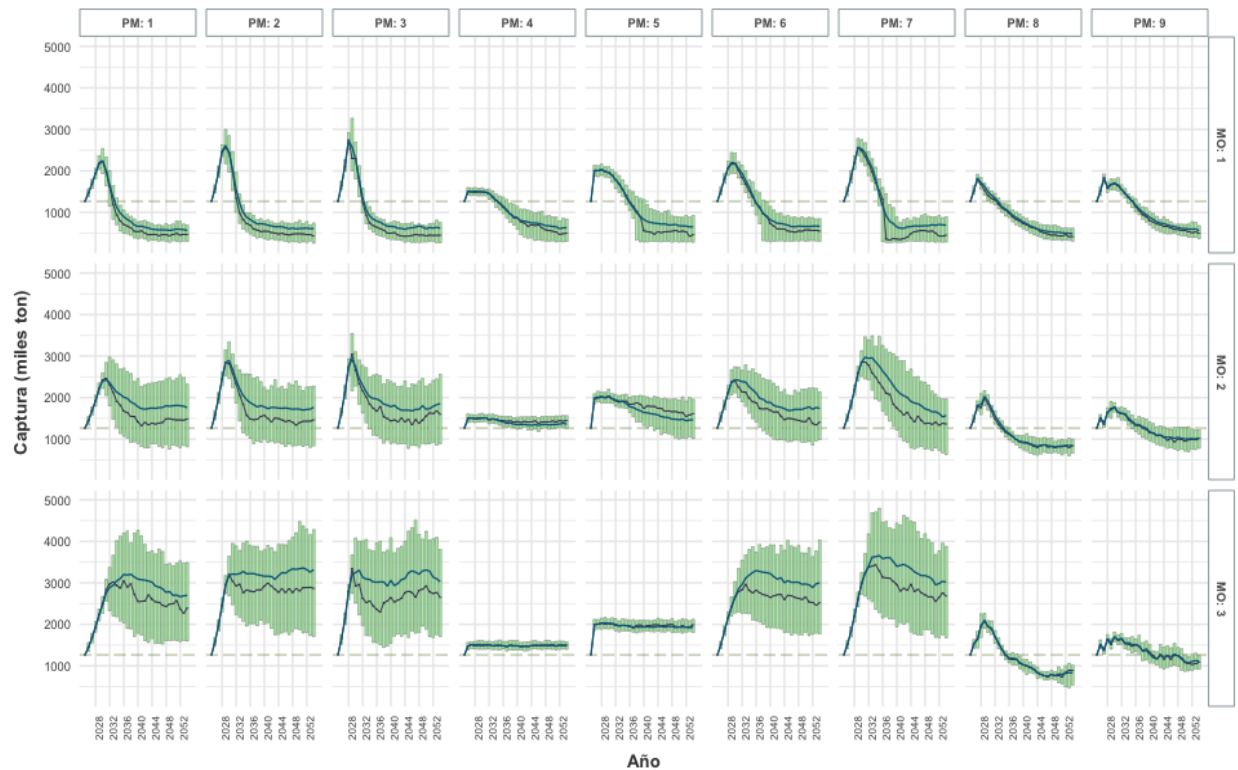


Figura 87. Capturas posibles bajo la combinación de MP y MO. La línea segmentada horizontal representa la captura más reciente y la línea continua, la captura promedio anual.

La **Figura 88** ilustra la variabilidad promedio en la captura entre años consecutivos. Aunque en general, todas las combinaciones de MP y MO es inferior al 20%, lo cual favorece la estabilidad pesquera y apoya las proyecciones productivas del sector pesquero, se pueden identificar combinaciones de MP y MO que deberían evitarse debido a su alta variabilidad interanual. Por ejemplo, los MP8 y MP9 fluctúan anualmente entre un 3% y un 7% durante los últimos 10 años de las proyecciones. Desde una perspectiva productiva, estos cambios en las capturas promedio podrían no ser favorables para la proyección del sector productivo. Este tipo de indicador se centra en respaldar decisiones productivas más que de conservación biológica del stock de jurel, pero junto con análisis de riesgos, como los mostrados en las **Figura 84** y **Figura 86**, proporcionan una perspectiva general de las ventajas y desventajas de las diferentes estrategias de manejo.

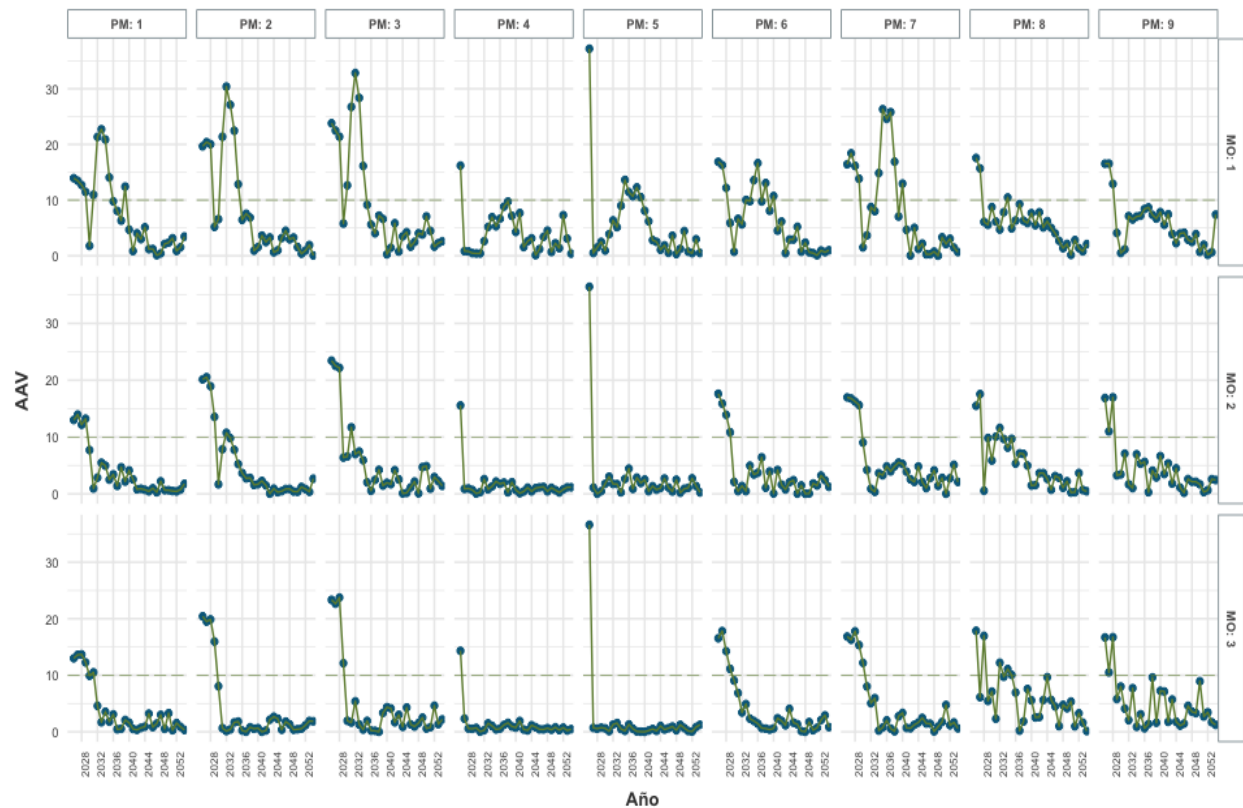


Figura 88. Promedio de la variabilidad interanual de la captura entre dos años consecutivos respecto de la captura promedio.

d) Compensaciones

Las compensaciones entre diferentes indicadores de desempeño, como los presentados en la **Figura 87** y **Figura 83**, permiten identificar MP que generan resultados que están en conflicto, por ejemplo, maximizar la captura y minimizar el riesgo de que la $B < B_{MSY}$. Los resultados de la MSE implementada utilizando como modelo operativo el *JJM_simple* muestran que es posible construir gráficos de compensaciones que facilitan clasificar los diferentes MP. La **Figura 89** presenta un gráfico de compensación entre el riesgo $B < B_{MSY}$ y $F > F_{MSY}$, donde se evidencia que los escenarios de productividad son impulsores de cambios significativos en los indicadores de desempeño. No obstante, es posible identificar ciertos MP que pueden ser óptimos según criterios basados en los planes de manejo del stock de jurel. Por ejemplo, las simulaciones bajo el MO de productividad media (MO2) sugieren que los MP4, MP8 y MP9 son adecuados para reducir ambos riesgos.

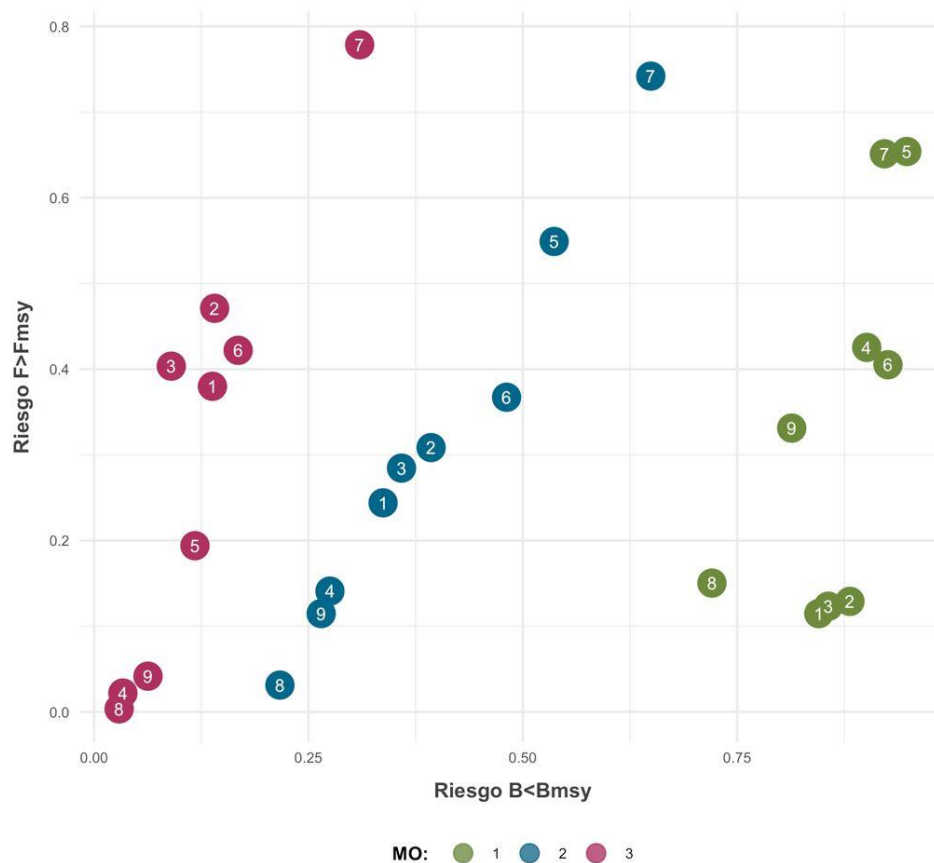


Figura 89. Compensación entre los indicadores de desempeño de la biomasa desovante ($B < B_{msy}$) y la mortalidad por pesca ($F > F_{msy}$) para las diferentes combinaciones de MP y MO. Las compensaciones muestran el desempeño para los últimos 5 años de la proyección.

6.4.8. Comparación full vs. shortcut MSE

Un análisis comparativo del desempeño de ambas aproximaciones muestra en general muy pocas diferencias. Las medianas de biomasa, capturas y mortalidad por pesca y sus bandas de variabilidad son muy similares, con ligeras diferencias en algunos de los procedimientos de manejo analizados (**Figura 90 y Figura 91**).

Los diagramas de Kobe que resumen el desempeño de los nueve procedimientos de manejo (MP) muestran patrones cualitativamente consistentes entre el full MSE (MSE 1) y el shortcut MSE (MSE 2) (**Figura 92**). En ambos enfoques, los MP tienden a ocupar regiones similares del espacio de estados definido por la biomasa relativa (B/B_{msy}) y la mortalidad por pesca relativa (F/F_{msy}), lo que indica que la aproximación simplificada (shortcut) recoge adecuadamente la tendencia

central de la dinámica del sistema. Sin embargo, la principal diferencia radica en la representación de la incertidumbre. La aproximación full MSE exhibe una mayor dispersión de los resultados, con elipses más amplias y una mayor frecuencia de simulaciones en zonas de riesgo (amarilla y roja). En contraste, el shortcut MSE produce distribuciones más compactas, reduciendo la variabilidad y la ocurrencia de estados extremos, lo que sugiere una subestimación del riesgo.

Los MP conservadores (MP4, MP8 y MP9) muestran el mejor desempeño en ambos enfoques, concentrando la mayoría de sus resultados en la zona verde ($B/B_{msy} > 1$ y $F/F_{msy} < 1$). No obstante, bajo full MSE se observan incursiones ocasionales hacia zonas precautorias, lo que refleja episodios de mayor variabilidad no capturados plenamente por shortcut MSE, que tiende a sobreestimar su desempeño.

Los MP intermedios (MP1, MP2, MP3, MP5 y MP6) se ubican en torno a los puntos de referencia, evidenciando una alta sensibilidad a la variabilidad del sistema. En la aproximación full MSE, estos procedimientos presentan una mayor proporción de resultados en zonas de riesgo, mientras que la aproximación shortcut MSE atenúa esta señal, sugiriendo un sesgo optimista en la evaluación. El MP7 destaca como el de peor desempeño, con una alta proporción de simulaciones en la zona roja en ambos enfoques, indicando condiciones persistentes de sobrepesca y biomasa reducida. Este resultado es consistente entre ambas aproximaciones. Algunos MP (particularmente MP5 y MP8) muestran un claro trade-off entre biomasa y mortalidad por pesca, evidenciado por distribuciones alargadas en la full MSE. Este patrón se ve atenuado en la aproximación shortcut MSE, lo que limita la representación de la covariabilidad entre ambas variables.

En conjunto, si bien la aproximación shortcut MSE reproduce adecuadamente las tendencias generales, subestima ligeramente la incertidumbre y el riesgo, especialmente en procedimientos cercanos a los puntos de referencia, lo que podría influir en decisiones de manejo más optimistas. En este sentido, destacan los MP8 y MP9, pues la aproximación full MSE produce mayor variabilidad en las capturas y el esfuerzo respecto de la aproximación shortcut MSE (**Figura 93**). En términos generales, los resultados destacan por la consistencia entre ambas aproximaciones, y el uso de shortcut MSE resulta muy apropiado para análisis exploratorios iniciales, mientras que la evaluación final de desempeño podría considerar el uso de un full MSE una vez identificados los MP de interés.

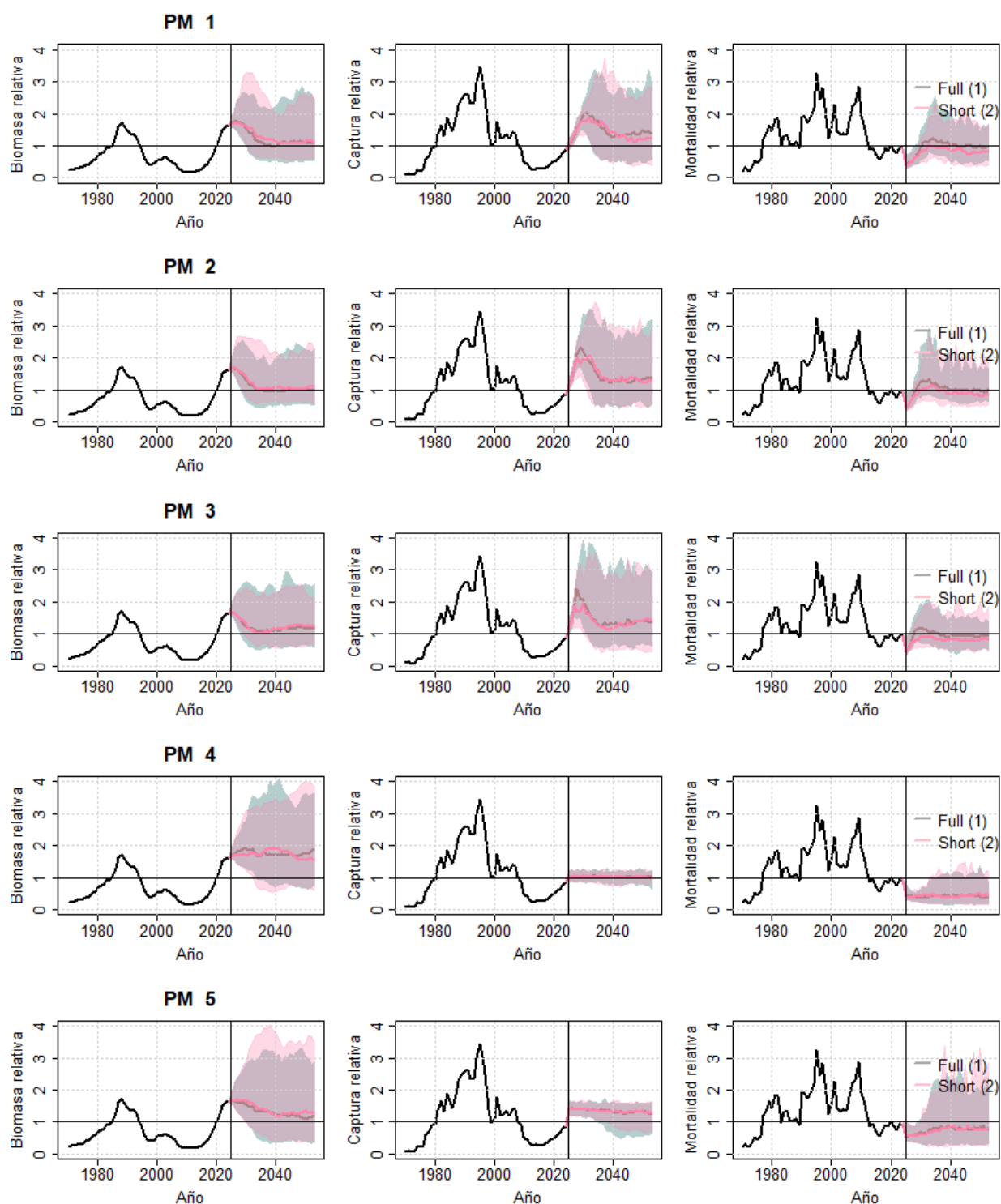


Figura 90. Biomasa, captura y mortalidad por pesca relativa para distintos procedimientos de manejo (PM) y dos métodos de simulación-estimación en MSE (1= full, 2= shortcut). La sombra indica el rango de confianza al 95%.

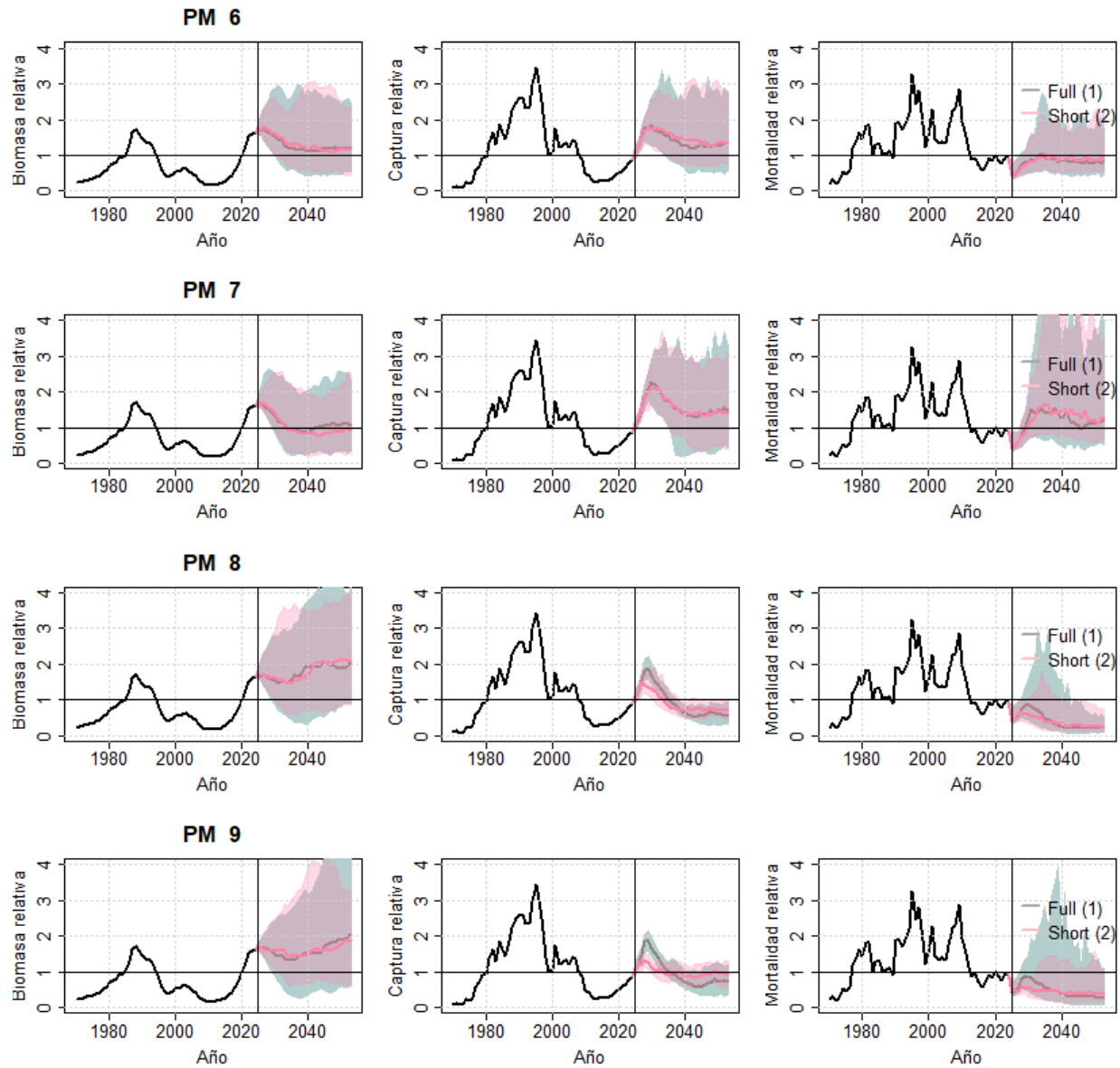


Figura 90. Continuación.

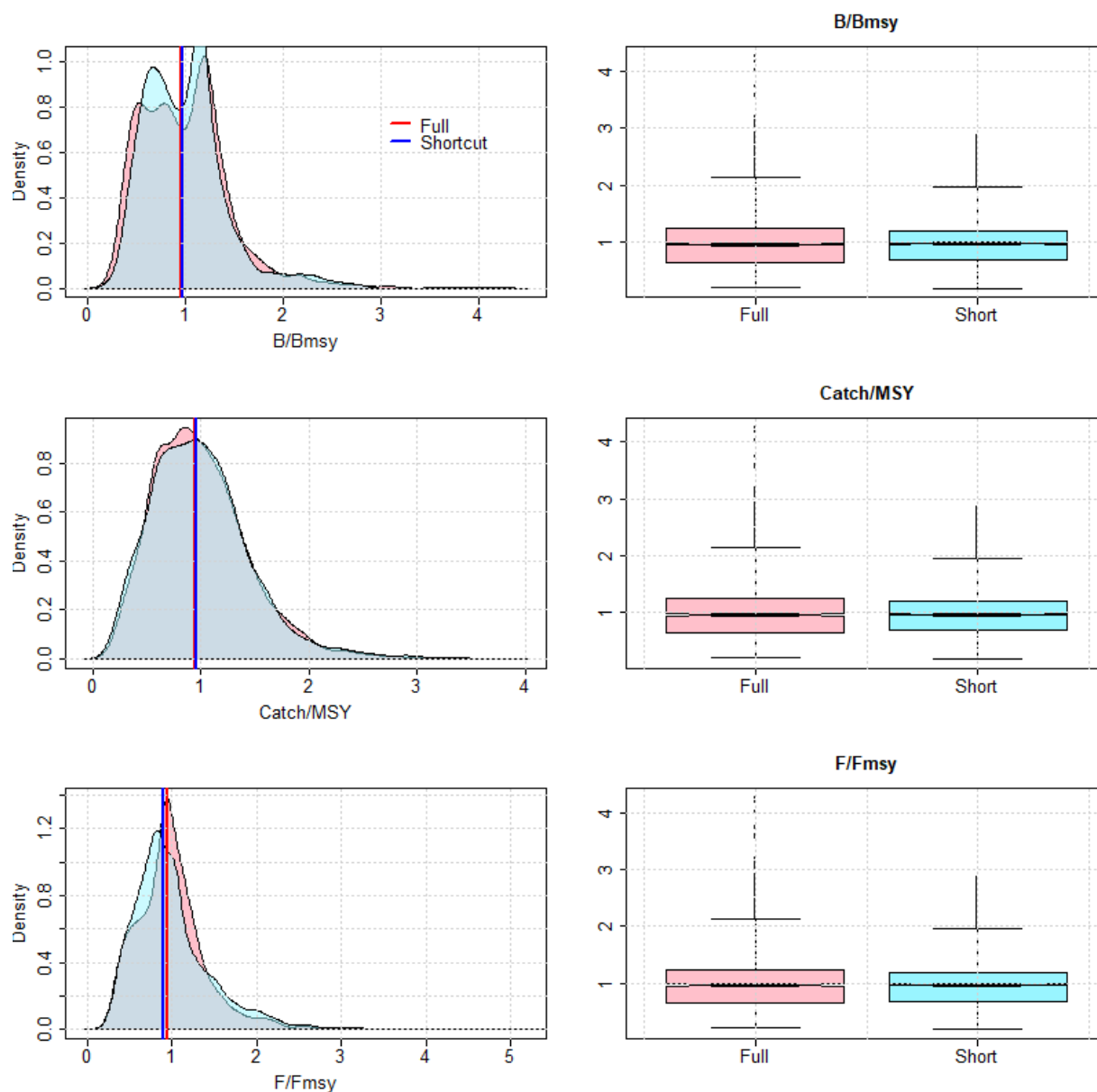


Figura 91. Biomasa, captura y mortalidad por pesca relativa en el largo plazo para el procedimiento de manejo actual y dos aproximaciones de MSE (full y shortcut).

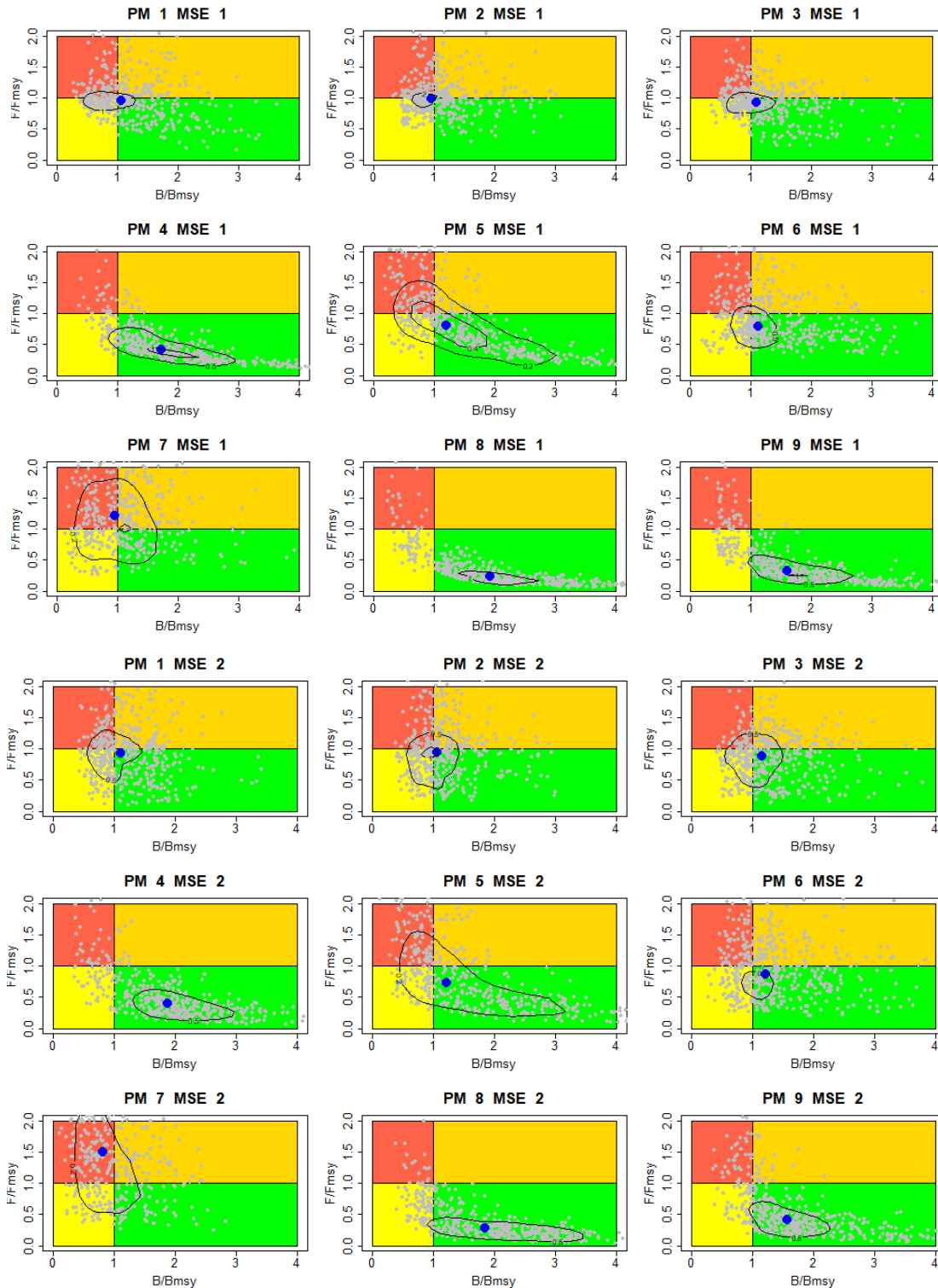


Figura 92. Diagrama de Kobe comparativo del desempeño de distintos procedimientos de manejo (PM) y dos métodos de simulación-estimación en MSE (1= full, 2= shortcut) para los últimos 5 años de proyección. El punto azul señala la mediana y la línea de contorno la zona de mayor densidad.

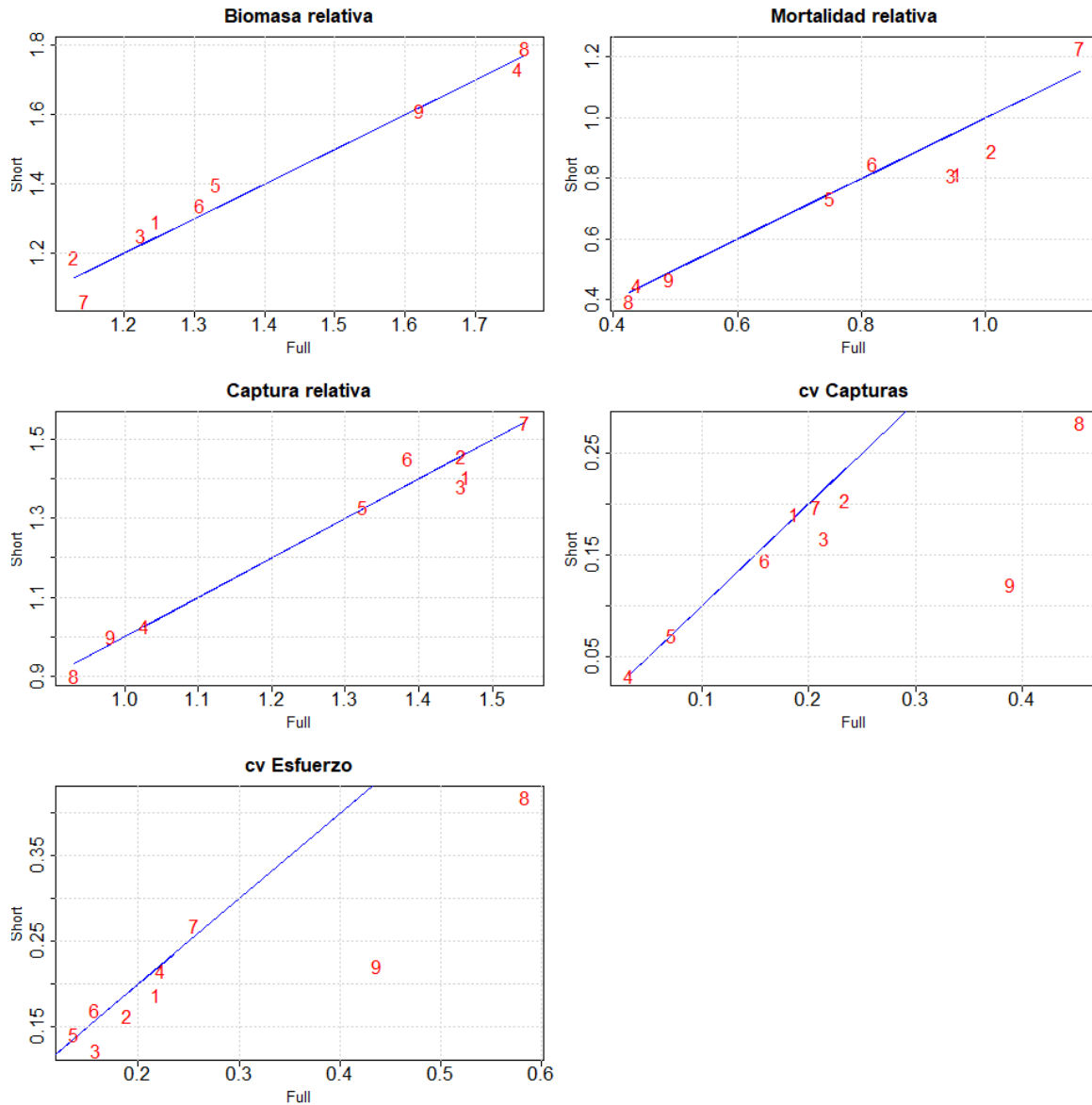


Figura 93. Diagrama de dispersión de valores de indicadores de desempeño promedio para distintos procedimientos de manejo (PM) y dos métodos de simulación-estimación en MSE (full y shortcut). Los números en rojo indican el PM. La línea azul indica el procedimiento full MSE.

6.4.9. Reglas de control de captura mediante optimización estocástica en el espacio de las decisiones (SOPS).

a) Desempeño en todo el espacio de parámetros

Captura (rendimientos): La superficie de rendimiento reveló una marcada cresta diagonal en lugar de un gradiente simple (**Figura 94**). La región de alto rendimiento (≥ 2 MM t/año) abarca 60 combinaciones ($Q_{slope} = 0,30-1,0$, $B_{min} = 0-6$ MM toneladas), todas fuera del espacio de políticas seguras. Para alcanzar rendimientos ≥ 2 MM t/año se requiere un Q_{slope} mínimo de 0,30 con $B_{min} = 0$ (2.05 MM t/año), y se necesita un Q_{slope} progresivamente mayor a medida que aumenta B_{min} .

La región de rendimiento moderado (1.5-2.0 MM t/año) rodea la cresta, con su límite inferior elevándose desde entre $Q_{slope} = 0,10$ y $0,15$ en $B_{min} = 0-2$ MM toneladas, a entre $Q_{slope} = 0,15$ y $0,20$ en $B_{min} = 3-4$ MM toneladas, a entre $Q_{slope} = 0,20$ y $0,25$ en $B_{min} = 5-6$ MM toneladas, y continuando elevándose con el aumento de B_{min} . Solo 2 de los 5 HCR seguros se encuentran en este rango ($Q_{slope} = 0,15$, $B_{min} = 0$ y 1 MM toneladas), alcanzando un rendimiento seguro máximo de 1.6 MM t/año. Los 3 HCR seguros restantes se sitúan en la región de bajo rendimiento (<1.5 MM t/año), que abarca $Q_{slope} \leq 0,10$ para cualquier B_{min} y todas las combinaciones con $B_{min} \geq 12$ MM toneladas.

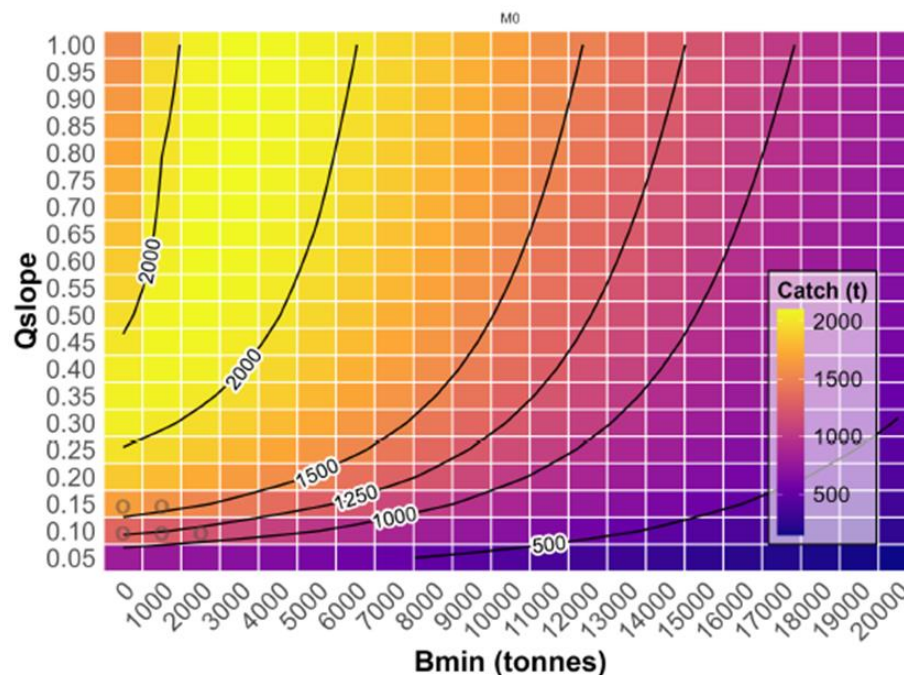


Figura 94. Captura media realizada (toneladas/año) según la regla de control de la pesca durante una proyección de 50 años. Los valores mostrados son promedios de 500 repeticiones. Los círculos abiertos indican reglas de control de la pesca seguras que cumplen con todas las restricciones de precaución.

b) Métricas de riesgo para la conservación

Riesgo de agotamiento $P(SSB < SSB_{MSY})$: La superficie de riesgo de agotamiento reveló que B_{min} es el factor protector dominante (**Figura 95**). Con $Q_{slope} = 0,30$, aumentar B_{min} de 0 a 6 MM toneladas redujo el riesgo de agotamiento de 0,73 a 0,20, una reducción del 73 %. En cambio, con $B_{min} = 0$, reducir Q_{slope} de 0,30 a 0,15 redujo el riesgo de 0,73 a 0,34, una reducción del 54 %. Con una biomasa de 2 MM toneladas, una pendiente $Q_{slope} \leq 0,15$ permitió alcanzar un riesgo de agotamiento $\leq 0,24$, lo que demuestra que una protección moderada de la biomasa, combinada con tasas de cosecha conservadoras, constituye una vía eficaz hacia la sostenibilidad.

El umbral de seguridad de 0,40 se cruza entre $Q_{slope} = 0,15$ y 0,20 en $B_{min} = 0$ -1. MM toneladas ($P = 0,34$ y 0,49 respectivamente en $B_{min} = 0$), pasando a entre $Q_{slope} = 0,20$ y 0,25 en $B_{min} = 2$. MM toneladas, a entre $Q_{slope} = 0,25$ y 0,30 en $B_{min} = 3$. MM toneladas, y continúa aumentando con el incremento de B_{min} . Para $B_{min} \geq 8$ MM toneladas, todas las combinaciones se mantienen por debajo del umbral, independientemente de Q_{slope} . Los 5 HCR seguros se sitúan por debajo de este umbral, con un riesgo de agotamiento que oscila entre 0,13 ($Q_{slope} = 0,10$, $B_{min} = 2$ MM toneladas) y 0,34 ($Q_{slope} = 0,15$, $B_{min} = 0$).

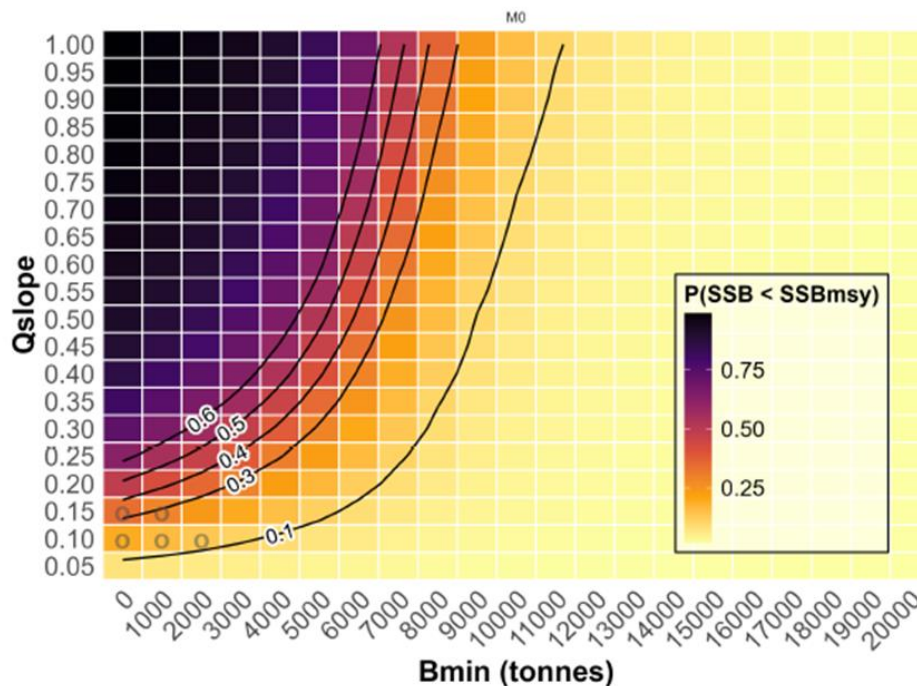


Figura 95. Probabilidad de que la biomasa del stock reproductor caiga por debajo de B_{msy} . Probabilidades más bajas indican un menor riesgo de agotamiento. El umbral de riesgo aceptable es 0,40. Los círculos abiertos indican HCR seguros.

Riesgo de sobrepesca $P(F > FMSY)$: La superficie de riesgo de sobrepesca mostró una fuerte sensibilidad a ambos parámetros, con un riesgo que disminuye drásticamente a medida que $Qslope$ disminuye o $Bmin$ aumenta (**Figura 96**). El umbral de seguridad de 0,50 se cruza entre $Qslope = 0,15$ ($P = 0,32$) y $0,20$ ($P = 0,60$) en $Bmin = 0$, pasando a entre $Qslope = 0,20$ y $0,25$ en $Bmin = 1$. MM-2. MM toneladas, a entre $Qslope = 0,25$ y $0,30$ en $Bmin = 3$. MM toneladas, y a entre $Qslope = 0,35$ y $0,40$ en $Bmin = 4$. MM toneladas. Con biomasa ≥ 6 MM t, todas las combinaciones se mantienen por debajo del umbral de 0,50, independientemente de $Qslope$.

Con $Qslope = 0,20$, el riesgo disminuye rápidamente de 0,60 con biomasa = 0 a 0,28 con biomasa = 3 MM toneladas y a 0,17 con biomasa = 5 MM toneladas, lo que demuestra cómo una protección moderada de la biomasa reduce sustancialmente el riesgo de sobrepesca, incluso con tasas de captura moderadas. Los 5 HCR seguros abarcan un amplio rango de riesgo de sobrepesca, desde casi cero ($Qslope = 0,10$, biomasa = 2 MM toneladas; $P = 0,04$) hasta 0,32 ($Qslope = 0,15$, biomasa = 0), todos cómodamente por debajo del umbral de 0,50.

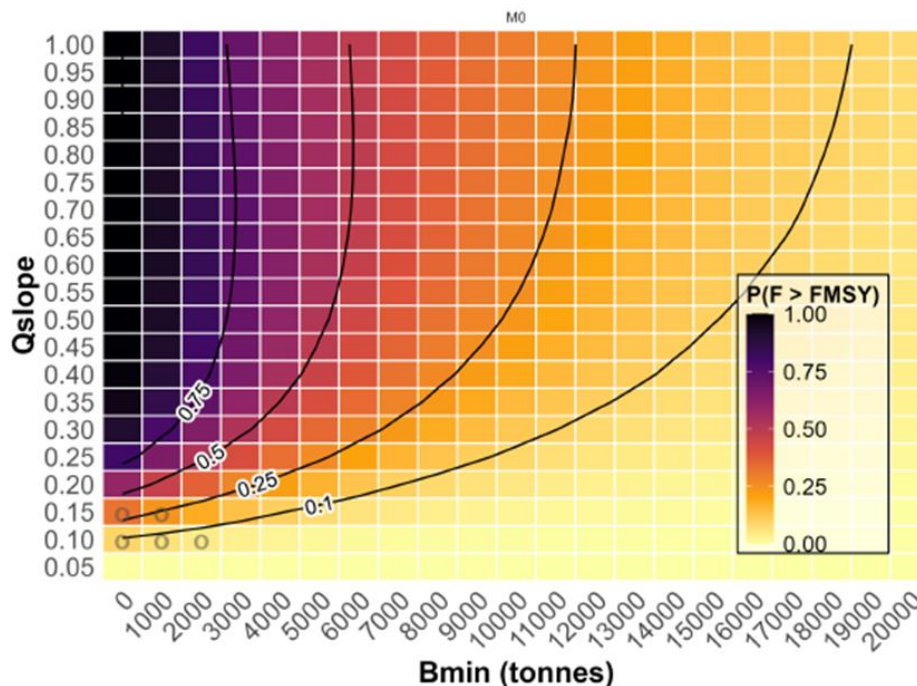


Figura 96. Probabilidad de que la mortalidad por pesca supere la mortalidad por pesca. Esto mide directamente si la presión pesquera se mantiene dentro de los límites biológicamente sostenibles. El umbral de riesgo aceptable es 0,50.

Riesgo de sobrecaptura P ($\text{Captura} > \text{RMS}$): La superficie de riesgo de sobrepesca mostró un patrón no monótono distinto al de las demás métricas (**Figura 97**). El riesgo máximo ($P = 0,46$) se produce en $Q_{\text{slope}} = 0,30$ con biomasa = 0, y no en los valores más altos de Q_{slope} , lo que refleja que las estrategias de pesca muy agresivas agotan la biomasa y, por lo tanto, generan menos capturas por encima del RMS. El riesgo disminuye monótonamente con el aumento de la biomasa: con $Q_{\text{slope}} = 0,20$, P baja de 0,42 con 0 biomasa a 0,37 con 2 MM toneladas y a 0,30 con 5 MM toneladas.

Con valores altos de Q_{slope} ($\geq 0,50$), la superficie disminuye progresivamente tanto con el aumento de la biomasa como con el de Q_{slope} , ya que el agotamiento de la biomasa limita cada vez más las capturas en relación con el RMS. Entre las 5 estrategias de captura seguras, el riesgo de sobrepesca varía de 0,14 ($Q_{\text{slope}} = 0,10$, $B_{\text{min}} = 2$ MM toneladas) a 0,34 ($Q_{\text{slope}} = 0,15$, $B_{\text{min}} = 0$), lo que refleja que incluso las estrategias seguras pueden producir capturas que superen el RMS durante periodos favorables para el reclutamiento.

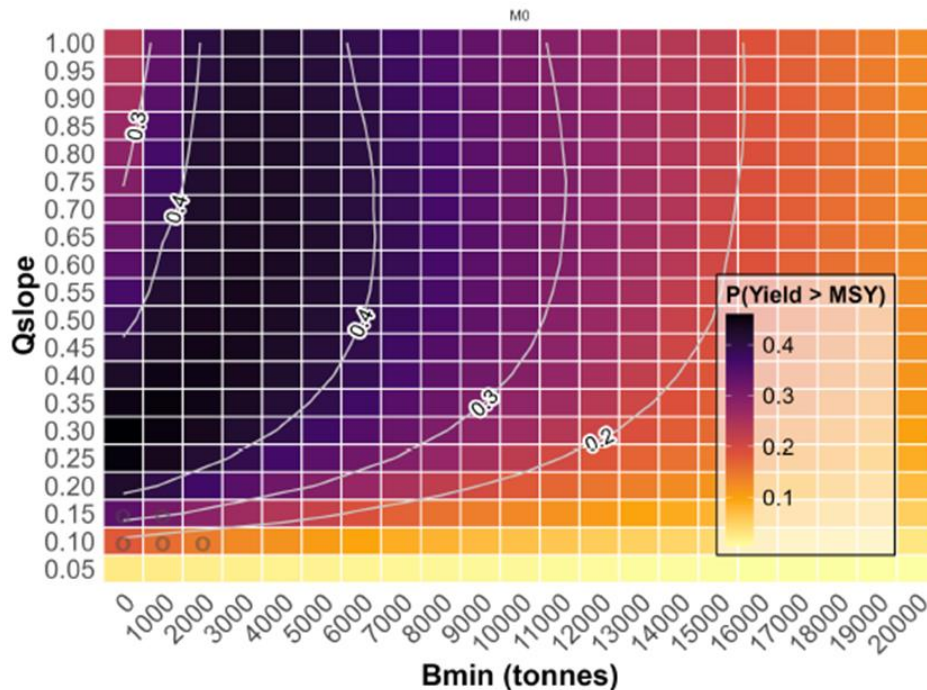


Figura 97. Probabilidad de que la captura realizada exceda el Rendimiento Máximo Sostenible (RMS). Probabilidades más bajas indican estrategias de explotación más conservadoras que se mantienen dentro de límites sostenibles.

c) Estabilidad de las capturas

La superficie de AAV aumentó monótonamente con Q_{slope} y B_{min} , y solo 13 de 420 combinaciones (3 %) alcanzaron el umbral de seguridad de 0,30 al considerar únicamente AAV (**Figura 98**). La isolínea de 0,30 cruza entre $Q_{slope} = 0,35$ y $0,40$ en $B_{min} = 0$ (AAV = 0,29 y 0,31 respectivamente), desplazándose hacia abajo hasta situarse entre $Q_{slope} = 0,20$ y $0,25$ en $B_{min} = 1$ MM toneladas, y entre $Q_{slope} = 0,10$ y $0,15$ en $B_{min} = 2$ MM toneladas. Más allá de $B_{min} = 2$ MM toneladas, todas las combinaciones superan el umbral, independientemente de Q_{slope} . Los 5 HCR seguros se encuentran dentro de la región estable, con AAV que va desde 0,26 ($Q_{slope} = 0,10$, $B_{min} = 0$) hasta 0,29 ($Q_{slope} = 0,10$, $B_{min} = 2$, MM t).

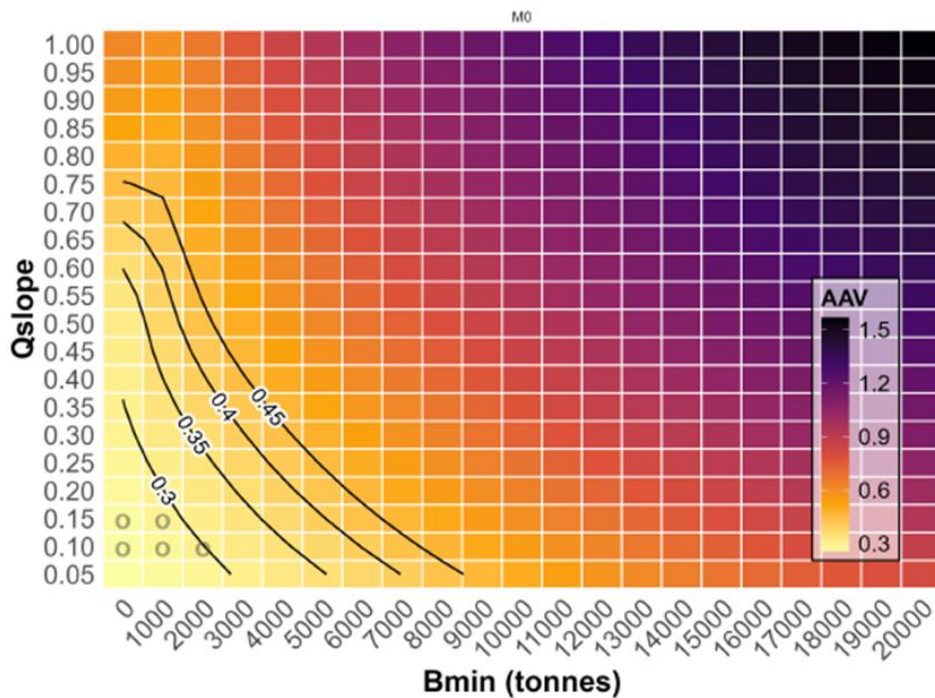


Figura 98. Variabilidad de la captura: el umbral aceptable es 0,30.

6.4.10. Síntesis del objetivo específico 4

Se evaluaron 10 procedimientos de manejo considerando distintas combinaciones de estabilizadores de captura (15-25%), capturas objetivo de 1,5 y 2 millones de t, la implementación de un sistema de *Banking & Borrowing* del 10% y cuatro reglas de control de captura: (i) la actualmente utilizada por la OROP-PS, (ii) rampa, (iii) lineal y (iv) doble potencial. Todas las reglas consideraron una captura mínima de 270 mil t en condiciones de agotamiento o colapso. Para ello, se desarrolló un modelo de estimación simplificado (*JJM_simple*), estructurado por edad, capaz de reproducir más del 90% de la variabilidad observada en el reclutamiento y la biomasa desovante estimados por el modelo JJM. La comparación entre Full MSE y Shortcut MSE mostró diferencias menores en el desempeño general de los procedimientos de manejo, aunque el enfoque abreviado tendió a subestimar levemente el riesgo biológico. Asimismo, la implementación de OpenMSE permitió establecer un modelo operativo base representativo de la pesquería, identificándose desafíos asociados a la convergencia del modelo de estimación y a la representación de las selectividades.

Respecto de los procedimientos empíricos, se evaluaron seis alternativas basadas en distintas combinaciones de reglas de control de captura, estabilizadores y niveles de captura objetivo. Estos procedimientos consideraron las mismas reglas anteriores, con excepción de la RCC1, utilizando como índice de abundancia la biomasa estimada por los cruceros acústicos de la zona norte de Chile. En términos generales, las capturas recomendadas por estos procedimientos tendieron a generar disminuciones de la biomasa desovante en los escenarios de reclutamiento bajo y medio (MO1 y MO2). Entre las alternativas evaluadas, el MP4, basado en el desempeño del crucero acústico (RCC2) y una captura de referencia de 1,5 millones de toneladas, presentó el mejor desempeño relativo respecto de los demás procedimientos empíricos.

Finalmente, se aplicó el método SOPS (Optimización Estocástica en el Espacio de las Decisiones), demostrando que una búsqueda sistemática en cuadrícula sobre un marco de gestión pesquera lineal de dos parámetros permite identificar estrategias de captura capaces de balancear múltiples objetivos de manejo. La HCR óptima con restricciones ($Q_{slope} = 0,15$, $B_{min} = 1$ millón de toneladas) alcanzó una captura media de 1.6 millón de t anuales (91 % del RMS) con un riesgo de agotamiento de 0,29, un riesgo de sobrepesca de 0,24 y un AAV de 0,29, todos dentro de los límites aceptables.

6.5. Objetivo específico 5: Evaluar la efectividad de los procedimientos de manejo desarrollados, para alcanzar los objetivos de manejo establecidos en el marco legal vigente (LGPA), los tratados internacionales vinculantes (e.g. OCDE, OROP-PS u otros) y órganos asesores respectivos.

6.5.1. Indicadores de desempeño entre procedimiento de manejo y modelos operativos

Independientemente de las condiciones de productividad, ninguno de los MP registra riesgos de sobrepesca en el corto plazo (NSP_CP), ni de caer en el cuadrante rojo del diagrama de Kobe (NZR_CP), y todos presentan una alta probabilidad de alcanzar capturas de 1 millón de t en el corto plazo (C10_CP) (**Figura 99, Figura 100, Figura 101**). En condiciones de baja productividad (MO1), los MP con mejor desempeño respecto de no registrar riesgos de sobrepesca en el largo plazo (NSP_LP) corresponden a MP2, MP4, MP6, MP8 y MP9. Entre estos, destaca MP8, al ser el único MP que no registra riesgos de caer en la zona roja en el largo plazo (NZR_LP), aun en condiciones de baja productividad (MO1).

Independientemente del MP y del MO, las capturas promedio de corto plazo no discrepan mayormente (CBAprom_CP) y solo se destacan sus diferencias en el largo plazo. En períodos de baja productividad (MO1), las capturas de largo plazo (CBAprom_LP) podrían variar en torno a 500 mil t anuales (**Figura 99**), mientras que en períodos normales (MO2) el promedio podría llegar a 1,5 millones de t anuales (**Figura 100**). En períodos de alta abundancia (MO3), estas se elevarían por sobre los 2 millones de t anuales (**Figura 101**). En condiciones de productividad promedio (MO2), las mayores diferencias se observaron en la probabilidad de estar en la zona verde en el largo plazo (ZV_LP), siendo MP2, MP4, MP5 y MP8 los de mejor desempeño (**Figura 100**).

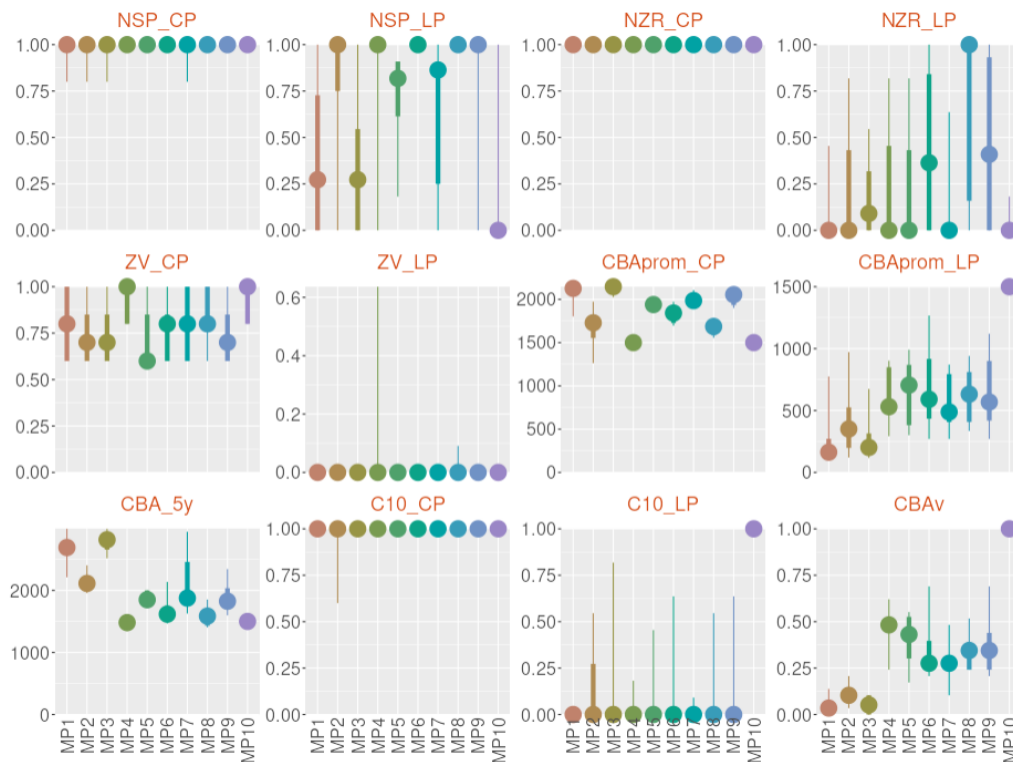


Figura 99. Comparación del desempeño de los MP mediante boxplots para el escenario de baja productividad (MO1), basada en distintos indicadores.

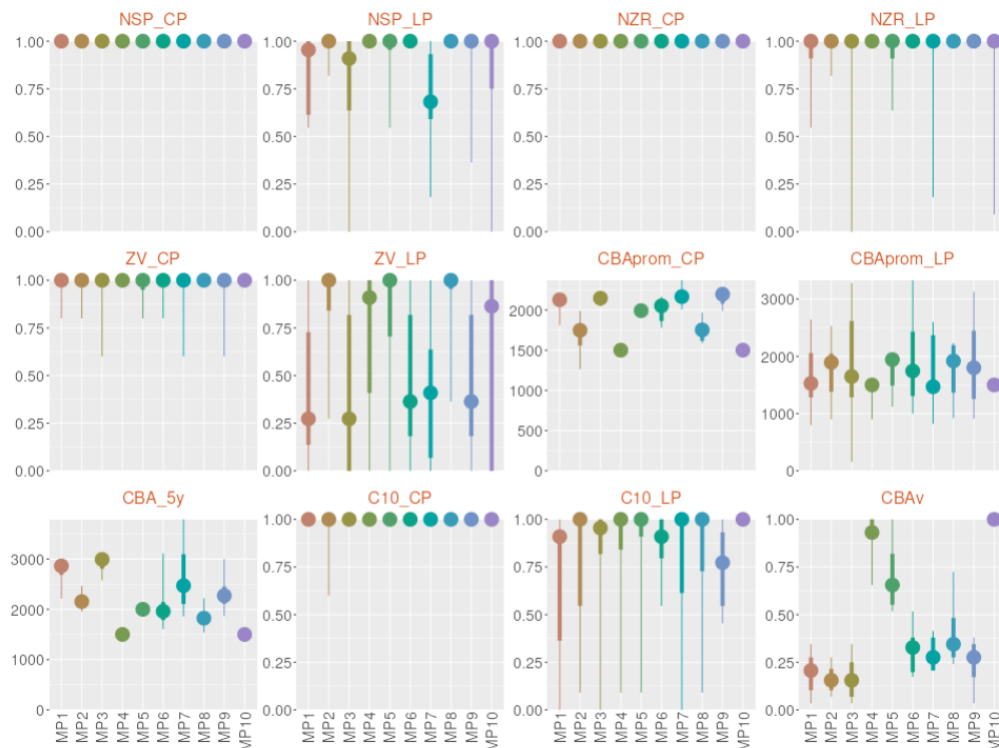


Figura 100. Comparación del desempeño de los MP mediante boxplots para el escenario de productividad promedio (MO2), basada en distintos indicadores.

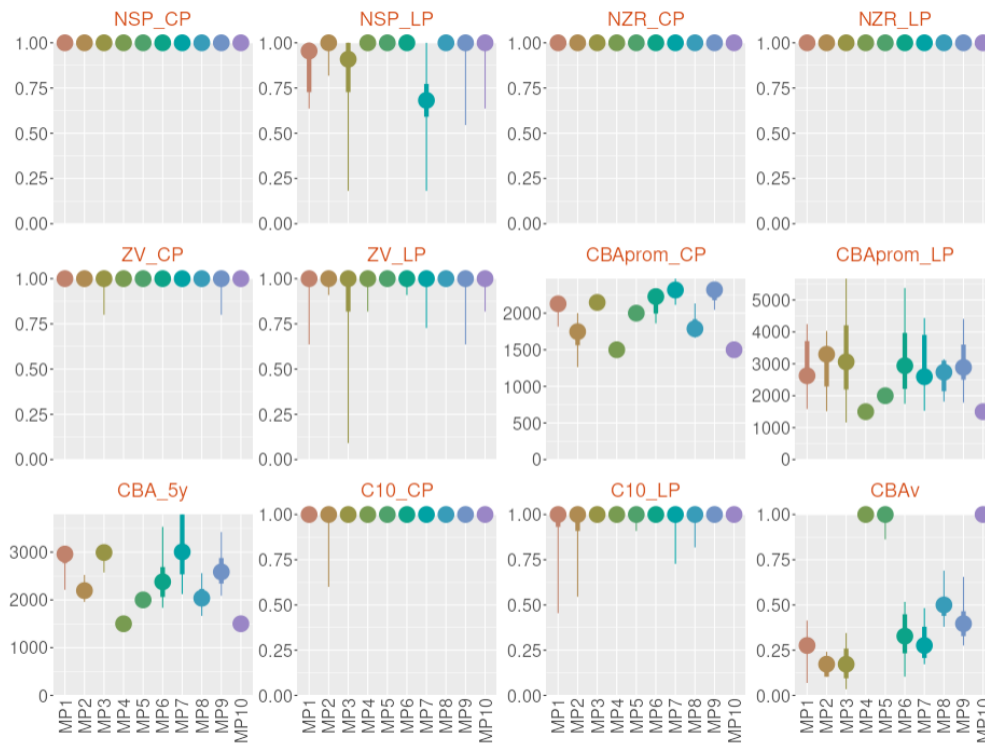


Figura 101. Comparación del desempeño de los MP mediante boxplots para el escenario de alta productividad (MO3), basada en distintos indicadores.

El resultado también se ve considerando el desempeño relativo entre las variables analizadas respecto del máximo para cada condición ambiental (MO). En este sentido, para un escenario límite de baja productividad (MO1) (**Figura 102**), todos los procedimientos de manejo registraron valores menores o iguales a 40 puntos (de 100 posibles), destacando entre ellos MP8 (40 pts) con máximo puntaje (100) en la dimensión “No sobrepesca en el largo plazo” (NSP_LP), y poco más de 50 puntos en la dimensión “No zona roja en el largo plazo” (NZR_LP). En este mismo escenario ambiental, el MP4 registra 38 puntos de desempeño general, y comparte la máxima puntuación en NSP_LP, pero favorece la dimensión de baja variabilidad interanual de las capturas (<10%) (CBAav) (**Figura 102**). En condiciones de productividad promedio (MO2) y alta (MO3), destacan con los mayores puntajes MP4, MP8 y MP10 (**Figura 103** y **Figura 104**). En particular, MP4 destaca en cuatro de las cinco dimensiones analizadas, siendo estas NSP_LP, NZR_LP, ZV_LP y de baja variabilidad de las capturas. Con un desempeño general levemente inferior destaca MP6, el que, si bien tiene menor puntuación en la variabilidad de las capturas, mantiene altos puntajes en NSP_LP, NZR_LP y particularmente altos en las capturas promedio de largo plazo, comprometiendo a la vez la probabilidad de permanecer en la zona verde a largo plazo (ZV_LP).

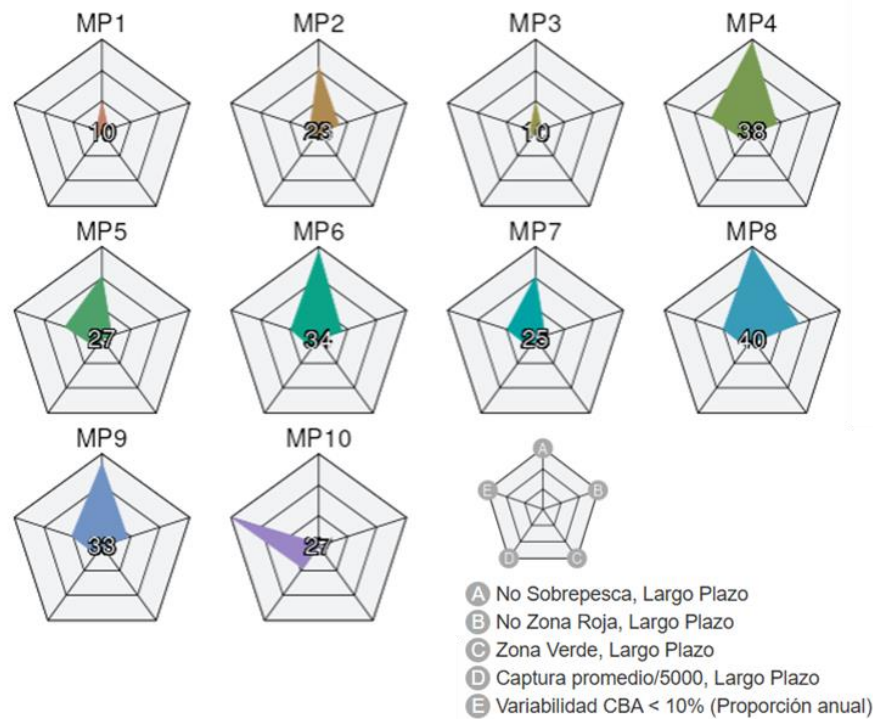


Figura 102. Desempeño relativo de los MP basado en indicadores de largo plazo. Las puntuaciones globales corresponden a la media de 5 indicadores de desempeño para el escenario de baja productividad (MO1).

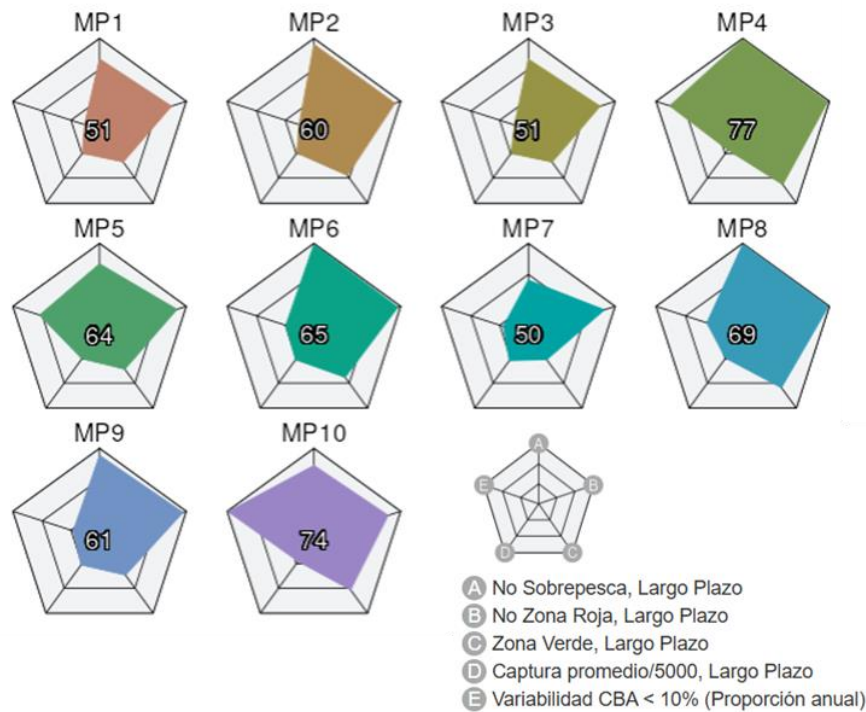


Figura 103. Desempeño relativo de los MP basado en indicadores de largo plazo. Las puntuaciones globales corresponden a la media de 5 indicadores de desempeño para el escenario de productividad media (MO2).

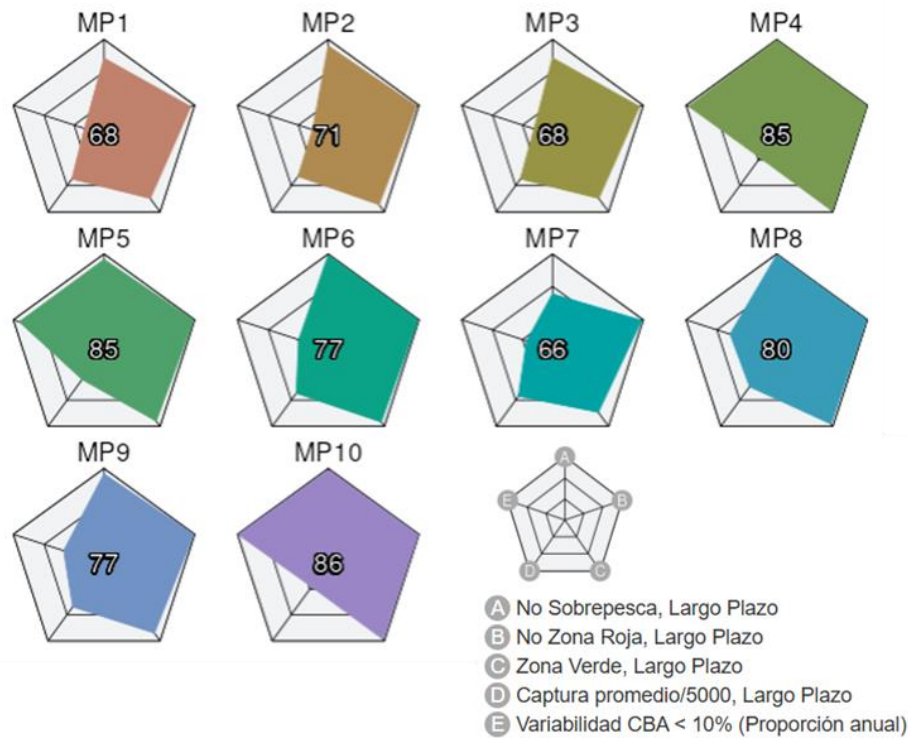


Figura 104. Desempeño relativo de los MP basado en indicadores de largo plazo. Las puntuaciones globales corresponden a la media de 5 indicadores de desempeño para el escenario de alta productividad (MO3).

El detalle extendido de los indicadores de desempeño por procedimiento de manejo y modelo operativo se resume en la **Tabla 29**. Se destaca que, en el corto plazo, los indicadores de desempeño no se verían mayormente afectados, incluso en un escenario de baja productividad (MO1). Exceptuando MP10, la captura promedio en condiciones de baja productividad (MO1) es aproximadamente un tercio de la que se obtendría en condiciones promedio (MO2). Al respecto, bajo estas últimas condiciones, las capturas promedio a largo plazo variarían entre 1,4 millones de t (MP4) y 1,78 millones de t (MP7), mientras que en el corto plazo podrían variar desde 1,5 millones de t (MP4 y MP10) hasta 2,2 millones de t (MP1 y MP7).

El resumen de los indicadores promedio en escala relativa y en el largo plazo, muestra que las variables NZR, CBA y CBAav son las más heterogéneas (**Tabla 30**). Del mismo modo, pero en el corto plazo, los valores promedio resultan ser más homogéneo entre variables, con valores que oscilan entre 0.790 (MP2) y 0.938 (MP10), mientras que en el largo plazo el valor más bajo se registra en MP3 (0.647) y el más alto MP4 (0.881). En este sentido, si bien MP10 tiene el segundo mejor puntaje (0.870), presenta más descendidas en todas las dimensiones de conservación (NSP_LP y NZR_LP y ZV_LP) (**Tabla 30**).

Tabla 29. Indicadores de desempeño por MP y MO. El color indica el rango mínimo (menos intenso) a máximo (más intenso) de cada indicador de desempeño.

Reclutamiento bajo (MO1)

	NSP_CP	NSP_LP	NZR_CP	NZR_LP	ZV_CP	ZV_LP	CBA_CP	CBA_LP	CBA_5y	C10_CP	C10_LP	CBAv
MP1	0.974	0.323	1.000	0.073	0.740	0.004	2100	290	2700	1.000	0.041	0.063
MP2	0.996	0.707	1.000	0.234	0.838	0.018	1750	432	2000	0.974	0.070	0.102
MP3	0.974	0.319	1.000	0.071	0.740	0.004	2110	290	2710	1.000	0.039	0.059
MP4	1.000	0.979	1.000	0.282	0.924	0.020	1490	634	1460	1.000	0.112	0.470
MP5	1.000	0.686	1.000	0.112	0.742	0.002	1970	571	1850	1.000	0.096	0.424
MP6	1.000	0.959	1.000	0.265	0.808	0.011	1810	619	1640	1.000	0.104	0.320
MP7	0.998	0.678	1.000	0.110	0.710	0.002	2080	561	2030	1.000	0.094	0.326
MP8	1.000	0.992	1.000	0.536	0.848	0.041	1700	563	1540	1.000	0.079	0.332
MP9	1.000	0.908	1.000	0.294	0.734	0.009	2020	565	1910	1.000	0.074	0.347
MP10	1.000	0.026	1.000	0.026	0.920	0.004	1500	1500	1500	1.000	1.000	1.000

Reclutamiento medio (MO2)

	NSP_CP	NSP_LP	NZR_CP	NZR_LP	ZV_CP	ZV_LP	CBA_CP	CBA_LP	CBA_5y	C10_CP	C10_LP	CBAv
MP1	1.000	0.783	1.000	0.837	0.948	0.445	2110	1630	2800	1.000	0.735	0.176
MP2	1.000	0.944	1.000	0.942	0.974	0.629	1760	1610	2060	0.976	0.770	0.172
MP3	1.000	0.780	1.000	0.835	0.948	0.447	2110	1630	2800	1.000	0.743	0.162
MP4	1.000	0.998	1.000	0.987	0.996	0.755	1500	1400	1490	1.000	0.912	0.850
MP5	1.000	0.784	1.000	0.901	0.962	0.475	1990	1660	1970	1.000	0.891	0.698
MP6	1.000	0.998	1.000	0.976	0.978	0.586	1950	1730	2050	1.000	0.884	0.328
MP7	0.994	0.603	1.000	0.885	0.942	0.345	2230	1780	2550	1.000	0.862	0.291
MP8	1.000	1.000	1.000	0.995	0.988	0.729	1800	1620	1830	1.000	0.847	0.418
MP9	1.000	0.932	1.000	0.971	0.954	0.488	2140	1740	2320	1.000	0.830	0.307
MP10	1.000	0.821	1.000	0.864	0.994	0.691	1500	1500	1500	1.000	1.000	1.000

Reclutamiento alto (MO3)

	NSP_CP	NSP_LP	NZR_CP	NZR_LP	ZV_CP	ZV_LP	CBA_CP	CBA_LP	CBA_5y	C10_CP	C10_LP	CBAv
MP1	1.000	0.812	1.000	0.965	0.992	0.834	2110	2890	2850	1.000	0.953	0.217
MP2	1.000	0.942	1.000	0.985	0.996	0.915	1770	2720	2110	0.976	0.954	0.174
MP3	1.000	0.815	1.000	0.968	0.992	0.833	2110	2890	2860	1.000	0.952	0.205
MP4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.994	1500	1500	1500	1.000	0.998	0.981
MP5	1.000	0.952	1.000	0.998	0.992	0.940	2000	1970	1990	1.000	0.996	0.943
MP6	1.000	0.998	1.000	1.000	0.998	0.953	2080	2880	2470	1.000	0.995	0.328
MP7	0.992	0.586	1.000	0.992	0.990	0.825	2330	3070	3010	1.000	0.991	0.287
MP8	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.978	1890	2450	2090	1.000	0.993	0.519
MP9	1.000	0.953	1.000	0.999	0.992	0.907	2240	2820	2660	1.000	0.989	0.450
MP10	1.000	0.991	1.000	1.000	1.000	0.989	1500	1500	1500	1.000	1.000	1.000

Tabla 30. Indicadores de desempeño relativos de corto y largo plazo por MP. El color indica el rango de mínimo (menos intenso) a máximo (más intenso) de cada indicador de desempeño.

Corto plazo

	NSP_CP	NZR_CP	ZV_CP	CBA_CP	C10_CP	CBAv	Promedio
MP1	0.974	1.000	0.740	0.995	1.000	0.063	0.795
MP2	0.996	1.000	0.838	0.829	0.974	0.102	0.790
MP3	0.974	1.000	0.740	1.000	1.000	0.059	0.796
MP4	1.000	1.000	0.924	0.706	1.000	0.470	0.850
MP5	1.000	1.000	0.742	0.934	1.000	0.424	0.850
MP6	1.000	1.000	0.808	0.858	1.000	0.320	0.831
MP7	0.998	1.000	0.710	0.986	1.000	0.326	0.837
MP8	1.000	1.000	0.848	0.806	1.000	0.332	0.831
MP9	1.000	1.000	0.734	0.957	1.000	0.347	0.840
MP10	1.000	1.000	0.920	0.711	1.000	1.000	0.938

Largo plazo

	NSP_LP	NZR_LP	ZV_LP	CBA_LP	C10_LP	CBAv	Promedio
MP1	0.783	0.837	0.445	0.916	0.735	0.176	0.649
MP2	0.944	0.942	0.629	0.904	0.770	0.172	0.727
MP3	0.780	0.835	0.447	0.916	0.743	0.162	0.647
MP4	0.998	0.987	0.755	0.787	0.912	0.850	0.881
MP5	0.784	0.901	0.475	0.933	0.891	0.698	0.780
MP6	0.998	0.976	0.586	0.972	0.884	0.328	0.791
MP7	0.603	0.885	0.345	1.000	0.862	0.291	0.664
MP8	1.000	0.995	0.729	0.910	0.847	0.418	0.817
MP9	0.932	0.971	0.488	0.978	0.830	0.307	0.751
MP10	0.821	0.864	0.691	0.843	1.000	1.000	0.870

- **Compensaciones entre indicadores de desempeño por procedimiento de manejo**

Se analiza la relación entre los indicadores de CBA promedio de largo y corto plazo, respecto de la probabilidad de estar en la zona verde (**Figura 105**). Los MP2, MP4, MP6, MP8 y MP10 presentan valores de $ZV_LP > 0.5$, mientras que el menor se observa en MP7. La situación cambia completamente si se considera el corto plazo (5 años), donde todos los MP tienen $ZV_CP > 0.75$, y MP7 es el que genera la mayor captura. Del mismo modo, se destaca una relación lineal 1:1 entre la captura de corto plazo y la captura promedio a 5 años, lo cual indica que la decisión de captura inmediata no cambiará los desembarques en los próximos 5 años, y que la magnitud dependerá solo del MP elegido. Por su parte, al considerar la probabilidad de una baja variación ($<10\%$) de la captura respecto de su nivel (**Figura 106**), destacan MP10, MP4 y MP5, con probabilidades mayores a 0.6 tanto en el corto como en el largo plazo.

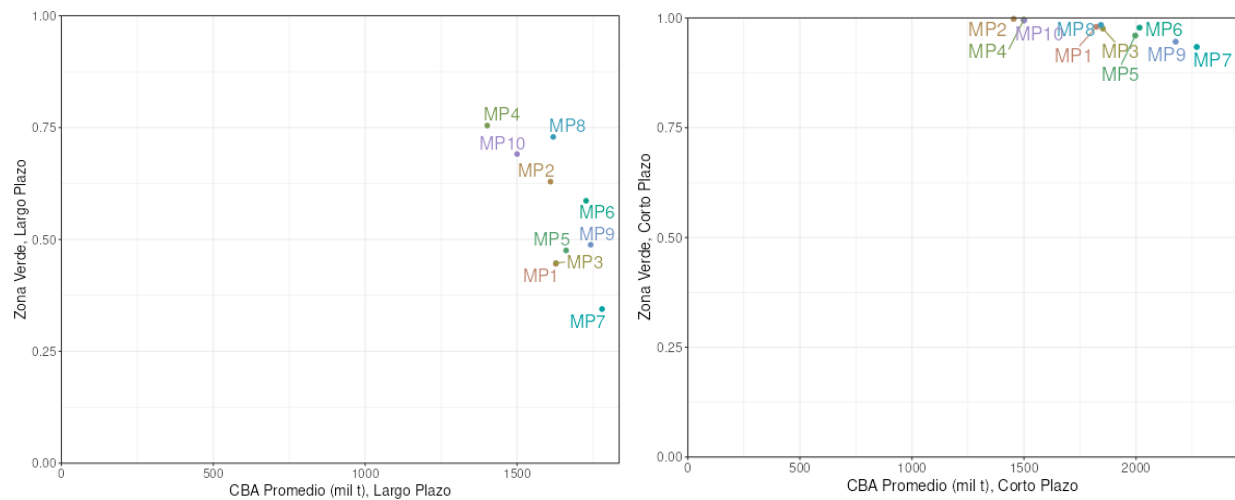


Figura 105. Compensaciones (“trade-off”) entre la captura promedio de largo y corto plazo, y la probabilidad de estar en la zona verde, para los diferentes MP considerando productividad promedio (MO2).

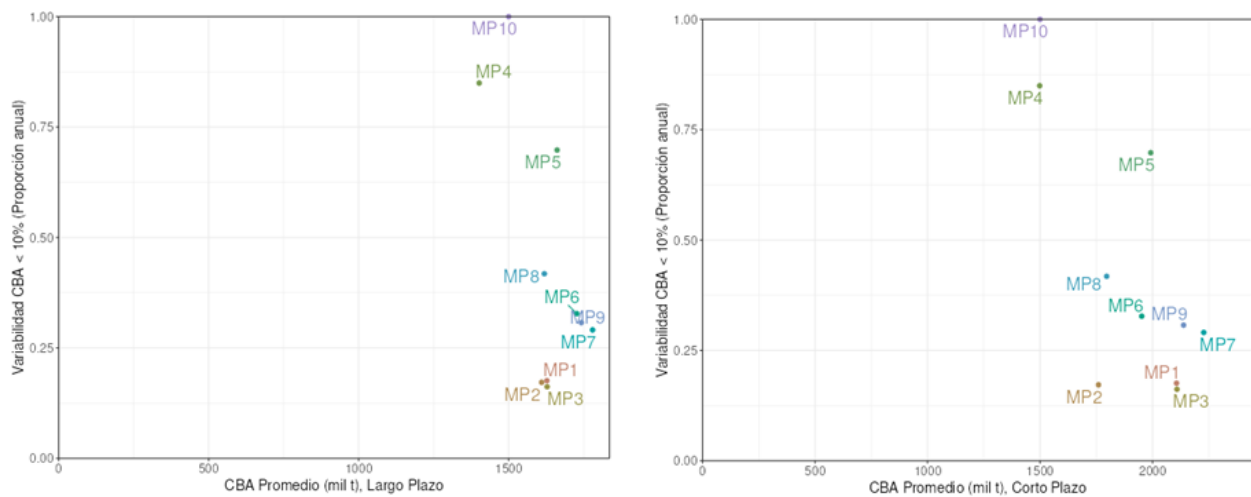


Figura 106. Compensaciones (“trade-off”) entre la captura promedio de largo y corto plazo, y la probabilidad de una baja variación de la captura (<10%), para los diferentes MP considerando productividad promedio (MO2).

6.5.2. Análisis multicriterio

Los resultados muestran que para el MO2 (base), la relación entre indicadores de conservación e indicadores pesqueros ubica a MP4 en el vértice de las mejores puntuaciones (**Figura 107**), siendo además el mejor en la mayoría de los escenarios de ponderación de conservación mayores al 60% (**Tabla 31**). Sin perjuicio de esto y en la medida que el ponderador de las variables de conservación aumenta, el desempeño general de MP6 y MP8 incrementa, aproximándose al desempeño de MP4. De la misma forma y considerando la peor condición ambiental definida por el MO1, la relación entre indicadores de conservación e indicadores pesqueros destaca con mayor énfasis MP4 en el vértice de las mejores puntuaciones (**Figura 108**). Los resultados muestran que MP4 es mejor que el resto de los MP, incluso con niveles de ponderación de conservación mayor al 40% (**Tabla 32**).

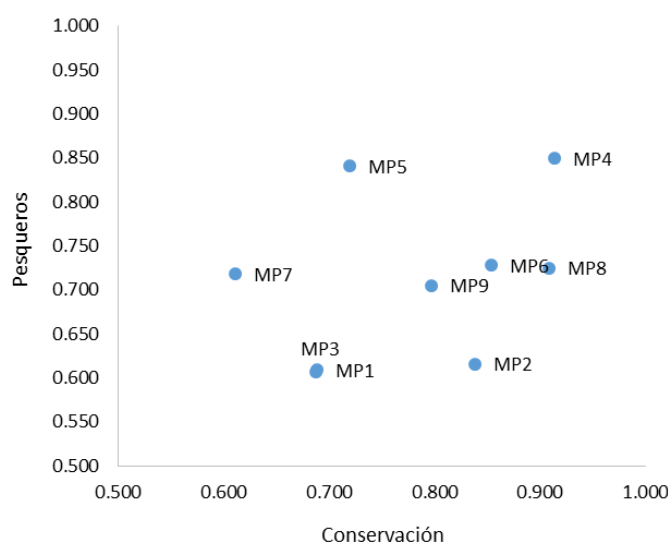


Figura 107. Relación entre indicadores de conservación e indicadores pesqueros en base a MO2 (base).

Tabla 31. Puntuación promedio considerando distintos niveles de ponderación a los índices de conservación en el largo plazo por MP. El color indica el rango de mínimo (menos intenso) a máximo (más intenso) del indicador de desempeño total. Modelo Operativo MO2.

	Ponderación en conservación			
	0.2	0.4	0.6	0.8
MP1	0.625	0.641	0.657	0.672
MP2	0.660	0.705	0.749	0.794
MP3	0.623	0.639	0.655	0.671
MP4	0.862	0.875	0.888	0.901
MP5	0.816	0.792	0.768	0.744
MP6	0.753	0.778	0.803	0.828
MP7	0.696	0.675	0.654	0.632
MP8	0.762	0.798	0.835	0.871
MP9	0.723	0.742	0.760	0.779
MP10	0.916	0.885	0.854	0.823

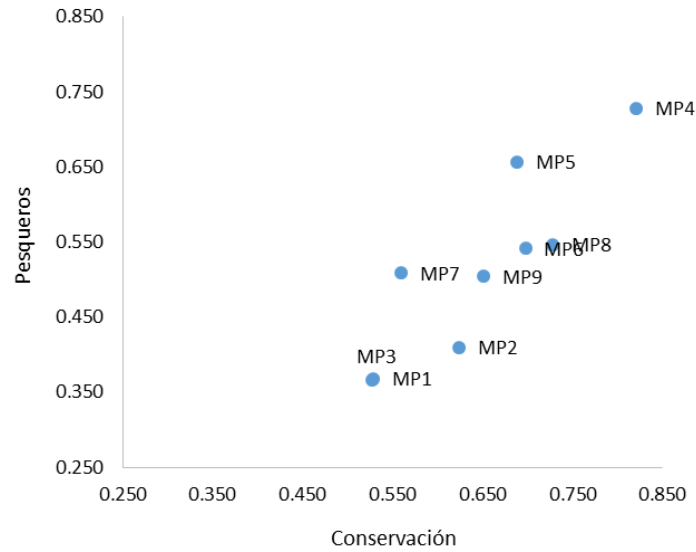


Figura 108. Relación entre indicadores de conservación e indicadores pesqueros en base a MO1 (baja productividad).

Tabla 32. Puntuación promedio considerando distintos niveles de ponderación a los índices de conservación en el largo plazo por MP. El color indica el rango de mínimo (menos intenso) a máximo (más intenso) del indicador de desempeño total. Modelo Operativo MO1.

	Ponderacion en conservación			
	0.2	0.4	0.6	0.8
MP1	0.400	0.432	0.464	0.496
MP2	0.453	0.496	0.539	0.581
MP3	0.398	0.430	0.462	0.495
MP4	0.747	0.765	0.784	0.802
MP5	0.663	0.669	0.676	0.682
MP6	0.573	0.604	0.635	0.666
MP7	0.519	0.529	0.540	0.550
MP8	0.583	0.619	0.655	0.691
MP9	0.534	0.563	0.592	0.622
MP10	0.979	0.958	0.938	0.917

6.5.3. *Síntesis objetivo específico 5*

Los resultados de este objetivo abordan únicamente aquellos obtenidos mediante procedimientos de manejo modelo-basados, evaluando su desempeño mediante 12 indicadores orientados a cuantificar la efectividad de las distintas alternativas de manejo en horizontes de corto plazo (1–5 años) y largo plazo (20–30 años). Estos incluyeron la probabilidad de que la biomasa desovante se ubicara en las distintas zonas del diagrama de Kobe, así como indicadores pesqueros asociados al nivel promedio de captura, su variabilidad y la probabilidad de alcanzar niveles referenciales de captura. La estimación de estos indicadores se realizó mediante proyecciones a 30 años, considerando un total de 100 simulaciones independientes por cada procedimiento de manejo.

La identificación de los procedimientos de manejo (MP) con mejor desempeño se realizó mediante la aplicación complementaria de distintos métodos de evaluación, incluyendo comparaciones gráficas, análisis de indicadores en escalas original y relativa, integración de métricas de desempeño y análisis de compensaciones entre objetivos de manejo. Los resultados obtenidos evidencian que el desempeño de los procedimientos de manejo difiere significativamente en función del balance entre objetivos de conservación, rendimiento pesquero y estabilidad de capturas. No obstante, el procedimiento MP4 (regla de control tipo rampa, captura mínima de 270 mil toneladas y CBA máxima de referencia de 1,5 millones de t) emerge como la alternativa más equilibrada, al presentar simultáneamente altos niveles de protección biológica y estabilidad pesquera, con resultados productivos adecuados. Por otro lado, procedimientos más conservadores, como MP8, mostraron un alto desempeño biológico y buenas capturas de largo plazo, mientras que reglas más intensivas, como MP7, incrementaron el riesgo de deterioro del recurso pese a generar mayores capturas en el corto plazo.

Complementariamente, se realizó un análisis multicriterio para evaluar el desempeño del indicador global bajo distintos esquemas de ponderación (0,2–0,8) para los indicadores de conservación de largo plazo (NSP_LP, NZR_LP y ZV_LP). Este análisis, consideró que los indicadores de desempeño de la pesquería (CBA_LP, C10_LP y CBAv) disminuyen de manera complementaria conforme se aumenta el peso de los indicadores de conservación. Los resultados mostraron que, tanto para el MO1 como para el MO2, el procedimiento MP4 alcanzó las puntuaciones globales más altas. No obstante, a medida que aumentó el peso asignado a los indicadores de conservación, el desempeño relativo de MP6 y MP8 mejoró, aproximándose al obtenido por MP4.

6.6. Objetivo específico 6: Fortalecer el desarrollo de capacidades internas para el alcance de compromisos nacionales asociados a EEM en el marco de la OROP-PS.

i) Reuniones mensuales de transferencia de competencias estratégicas con profesionales de la SUBPESCA y delegados de OROP-PS

De acuerdo con la disponibilidad de los profesionales de la SUBPESCA y del equipo del proyecto, se realizaron seis reuniones en modalidad on-line (**Tabla 33**).

Tabla 33. Cronograma de reuniones periódicas y temas abordados.

Fecha de reunión	Ítem
17 de marzo de 2025	Reunión de coordinación según hito de avance: Revisión de encuesta técnica y preparación del primer taller de inducción (Anexo 1.b).
20 de mayo de 2025	Reunión mensual: Participación del CCT-J (Anexo 1.c).
12 de junio de 2025	Reunión de coordinación para revisión de informes sancionados del proyecto: Revisión de primer informe de avance (Anexo 1.d).
23 de julio de 2025	Reunión mensual: Planificación del tercer taller y encuesta (Anexo 1.e).
26 de septiembre de 2025	Reunión mensual: Coordinación taller técnico (Anexo 1.f).
21 de octubre de 2025	Reunión mensual: Reporte de avance (Anexo 1.g).

ii) Reuniones de transferencia de competencias específicas a CM, CCT-J y partes interesadas

La transferencia de las competencias vinculadas al diseño e implementación de la EEM se realizó mediante los tres talleres teóricos-prácticos contemplados en el objetivo 1, junto con dos talleres técnicos orientados a la implementación de los modelos operativos y procedimientos de manejo en la plataforma OpenMSE, en el marco del objetivo 3 (**Tabla 34**). Cabe destacar que el segundo taller técnico fue una actividad adicional, enfocada exclusivamente en la presentación de resultados y la explicación del enfoque metodológico empleado.

Tabla 34. Cronograma de talleres teóricos-prácticos y del taller técnico de implementación de OpenMSE.

Fecha de taller	Ítem
24 de marzo de 2025	Primer taller: Objetivos operacionales y variables de desempeño (Anexo 2.f).
24 de junio de 2025	Segundo taller: Procedimientos de Manejo (Anexo 2.g).
29 de julio de 2025	Tercer taller: Fuentes de incertidumbre (Anexo 2.h).
18 – 21 y 29 de agosto de 2025	Taller técnico 1: Implementación de OpenMSE (Anexo 4.d).
19 de enero de 2026	Taller técnico 2 (adicional): Presentación de resultados.

6.6.1. Capacidades instaladas

El desarrollo del presente proyecto generó un impacto sustancial en las capacidades instaladas del equipo técnico del Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), permitiendo al país elevar su nivel de participación y autonomía en los foros científicos de la Organización Regional de Ordenación Pesquera del Pacífico Sur (OROP-PS). La mejora en las competencias internas se estructuró en cuatro ejes fundamentales:

- **Adopción y dominio de plataformas avanzadas de simulación (OpenMSE):** Históricamente, el seguimiento de la Evaluación de Estrategias de Manejo (EEM) en la OROP-PS obligaba al equipo nacional a actuar principalmente como revisor de las rutinas programadas por consultores externos en la plataforma FLR. A través de este proyecto, el equipo técnico logró la transición hacia el dominio operativo de la plataforma OpenMSE. Esto se tradujo en la capacidad de programar rutinas en R para la extracción de datos desde el modelo base (JJM), la implementación de modelos operativos y procedimientos de manejo y el condicionamiento rápido mediante RCM (Rapid Conditioning Model). La institución avanzó en el desarrollo de una arquitectura funcional y reproducible que permita testear escenarios propios sin depender exclusivamente de las modelaciones externas.
- **Autonomía metodológica en el diseño de procedimientos de manejo:** El equipo adquirió la destreza técnica para configurar, ejecutar y diagnosticar diferentes enfoques de EEM. Particularmente, se logró una profunda comprensión y aplicación de la Evaluación de Estrategias de Manejo (EEM) mediante metodología simplificada, logrando parametrizar el error de estimación sin requerir simulaciones explícitas del modelo de stock en cada paso temporal. Asimismo, se consolidó la capacidad de proyectar y evaluar el desempeño de reglas empíricas basadas directamente en índices de abundancia (como los cruceros acústicos y CPUE), dotando a la delegación chilena de herramientas cuantitativas para proponer alternativas de manejo que resguarden la estabilidad de la cuota nacional.
- **Entrenamiento avanzado y estandarización técnica:** La ejecución del proyecto facilitó el entrenamiento directo con expertos internacionales, destacando el taller de trabajo para el condicionamiento de modelos operativos multiflota. Esta transferencia de conocimientos permitió al equipo de investigadores enfrentar los desafíos numéricos de tensiones estructurales entre índices acústicos y pesqueros. A nivel institucional, el proyecto fomentó una rigurosa coordinación interna, incluyendo la edición cruzada y validación de informes técnicos de alta sensibilidad entre profesionales del departamento, garantizando que los documentos de posición país ante el Comité Científico de la OROP-PS cumplan con los más altos estándares de rigor científico.

- **Liderazgo en la transferencia de conocimientos a nivel nacional:** El fortalecimiento interno del IFOP permitió nivelar los conocimientos de los investigadores participantes del Departamento de Evaluación de Recursos, reforzando los aprendizajes y desarrollos previos implementados para otras pesquerías a nivel nacional, posicionando al Instituto como un agente clave en la ejecución de EEM a través de la plataforma OpenMSE en Chile. En síntesis, el proyecto permitió mejorar la capacidad instalada del IFOP, pasando de un rol de monitoreo pasivo del proceso internacional a un rol de modelamiento activo de estrategias de manejo para el jurel. Hoy, la institución posee el capital humano y las herramientas computacionales necesarias para liderar pruebas de robustez, proponer escenarios de reclutamiento consistentes con la realidad costera chilena, y defender técnicamente los intereses de conservación y rendimiento de la pesquería de jurel en el marco de los compromisos de la OROP-PS.

6.6.2. *Síntesis del objetivo específico 6*

Este objetivo se desarrolló mediante una serie de reuniones periódicas entre el equipo de trabajo del proyecto y la contraparte de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, orientadas a la coordinación de actividades, revisión de aspectos técnicos, seguimiento de avances y retroalimentación de los productos generados. Estas instancias permitieron mantener una comunicación fluida y un trabajo colaborativo durante toda la ejecución del proyecto, facilitando la toma de decisiones y la implementación oportuna de los ajustes requeridos.

Asimismo, este objetivo contempló la realización de talleres con los integrantes del Comité de Manejo (ver Objetivo Específico 1). La información recopilada respecto a indicadores, procedimientos de manejo y fuentes de incertidumbre permitió diseñar y evaluar estrategias de manejo representativas de los intereses y preocupaciones de los distintos actores de la pesquería. Paralelamente, estas actividades contribuyeron al fortalecimiento de capacidades técnicas de los participantes mediante la difusión de conceptos asociados a la EEM destacando como resultado la elaboración de material audiovisual de carácter educativo para apoyar la comprensión de aspectos específicos de la metodología.

Finalmente, el objetivo incluyó reuniones de trabajo y actividades de capacitación interna orientadas al fortalecimiento de las capacidades técnicas del equipo ejecutor. En este contexto, el taller especializado liderado por la Dra. Robyn Forrest constituyó un hito fundamental para la implementación de la metodología. Como resultado, IFOP fortaleció capacidades institucionales en la aplicación de plataformas avanzadas de simulación como OpenMSE, el diseño y evaluación de procedimientos de manejo, la estandarización de metodologías de trabajo y la transferencia de conocimientos para el desarrollo futuro de procesos de EEM.

7. Discusión

- Talleres teórico-práctico

El primer taller estuvo enfocado en definir aquellos objetivos operacionales y variables relevantes que debieran ser consideradas para establecer una estrategia de manejo adecuada para la pesquería del jurel. Como elemento fundamental se consideró la opinión del Comité de Manejo (CM) en la modalidad de encuesta semi-abierta. En esta se combinaron preguntas cerradas con una opción abierta para una respuesta no prevista, y preguntas que requerían una respuesta breve y específica, pero con un cierto grado de elaboración por parte del encuestado. Esta metodología buscó obtener tanto datos uniformes y fáciles de tabular como reflexiones personales y datos detallados que no se cubren en las opciones predefinidas. Entre los objetivos operacionales más apreciados por el Comité de Manejo destacaron; el reducir el esfuerzo de pesca expresado en términos del número de viajes, evitar grandes cambios en las capturas entre años (estabilización) y reducir episodios de sobrepesca. Además de estos se destacó el objetivo de propender a garantizar las máximas capturas sostenibles, evitar la sobreexplotación del recurso y en caso de que esto último suceda, garantizar mecanismos para una rápida recuperación. Otra variable de interés fueron los rangos de capturas admisibles y deseables para Chile entre 270-300 mil t como mínimo y 2,0 millones de t como máximo.

De los objetivos operacionales propuestos, se destaca el interés de maximizar las capturas a la vez de reducir el riesgo de sobreexplotación. Esto último se traduce en generar niveles poblacionales por sobre el valor de referencia relativo a la biomasa que genera el Rendimiento Máximo Sostenible (B_{RMS}). Si bien esto puede resultar contradictorio pues son variables de desempeño que van en sentidos opuestos, son objetivos que a menudo son empleados en el marco de la Evaluación de Estrategias de Manejo (e.g. Punt, 2017). Del mismo modo, se destacó la necesidad de garantizar una pesquería estable por medio de factores de estabilización de las capturas, lo cual *a priori* podría generar incrementos en la mortalidad por pesca en períodos de disminución poblacional, o el desaprovechamiento productivo en períodos de bonanza como es el caso actual. La reducción del esfuerzo de pesca (días de pesca) se traduciría en la disminución de la mortalidad por pesca y por consiguiente el incremento poblacional, razón por la cual, el objetivo de minimizar el riesgo de sobrepesca y sobreexplotación podría estar medianamente definido a la hora de elegir algún procedimiento de manejo candidato. Igualmente, destacable resulta el deseo de garantizar mecanismos para una rápida recuperación en caso de sobreexplotación, lo que sin duda podría entrar en conflicto con el objetivo de capturas máximas y estables. Esto se explica porque la única forma de recuperar una población sobreexplotada es la reducción de la mortalidad por pesca y por ende las capturas, incluso por debajo de sus puntos de referencia.

Por otro lado, el segundo taller se orientó a definir lo que podrían ser las reglas de control de capturas alternativas para esta pesquería. Sin duda uno de los elementos principales destacados por los integrantes del CM fue el rango de variación de la cuota entre años y el valor mínimo de esta. Respecto de esto último se recomendó que, en casos de agotamiento, la cuota fuese constante y no menor a 270-300 mil t. La variación interanual de cuota se definió dependiendo del estado de la población. De este modo y en caso de plena explotación, se aceptaría una variación máxima del 15% en caso de disminución y de un máximo del 30% en caso de aumento, mientras que en el caso de sub-explotación el incremento podría llegar a más 30% entre años consecutivos.

Complementariamente se discutió sobre el concepto de préstamo y ahorro de cuota, lo cual y según lo define Reimer et al. (2025), consiste en trasladar al año siguiente la cuota de captura anual no utilizada, mientras que el "préstamo de cuotas" permite a los pescadores anticipar una parte de su cuota del año siguiente durante el año en curso. Estos mecanismos de ajuste de cuotas proporcionan flexibilidad, permitiendo a los pescadores adaptar sus actividades a las fluctuaciones biológicas y a las condiciones económicas, pero deben gestionarse con rigor para evitar la sobrepesca y garantizar la sostenibilidad a largo plazo. Se aclaró que este concepto no debe ser confundido con la normativa de remanentes de la pesquería de pequeños pelágicos. Como medida la discusión se identificó que solo se debe considerar en casos de una condición de plena explotación de la población y como máximo considerar el 20% de la cuota anual, aunque la mayoría de los usuarios manifestó preferencia por un umbral más conservador de 10%.

En complemento a lo anterior, y además del MP actual considerado por la OROP-PS, se propusieron cuatro reglas adicionales de control de capturas. La primera corresponde a una RCC tipo rampa, con una captura mínima de 270-300 mil t en condiciones de agotamiento y de 2,0 millones de t en caso de plena explotación, mientras que en la zona de transición, la cuota debiese variar proporcionalmente a los cambios en la biomasa. Al respecto, varios trabajos demuestran que la RCC tipo rampa suele superar o igualar a otras RCC alternativas, especialmente cuando el objetivo está en maximizar la biomasa a largo plazo y mantener estabilidad en las capturas. Aunque a corto plazo puede generar menores capturas, sus beneficios en recuperación y sostenibilidad a mediano y largo plazo la convierten en una alternativa robusta (e.g., Zahner & Branch, 2024). Las otras RCC consideradas fueron: una RCC tipo escalonada, en el cual se sustituye la componente lineal de la RCC tipo rampa por un nivel de captura constante entre 400 mil y 800 mil t, una tercera RCC del tipo lineal con la opción del cierre de la pesquería, y una cuarta RCC del tipo lineal con captura mínima constante en caso de agotamiento. A estas reglas se agregan los elementos de estabilización previamente descritos. No obstante, se descartaron aquellas RCC que no representaban adecuadamente las preferencias más categóricas de los usuarios, tales como evitar el cierre total de la pesquería en escenarios de colapso y privilegiar ajustes interanuales graduales en la cuota.

El tercer y último taller con los integrantes del CM consideró la identificación de las principales fuentes de incertidumbre, esto es, aquellos forzantes de características estocásticas, ambientales o antrópicas, que escapan al control del manejo pesquero, imposibles de predecir y que podrían comprometer el éxito de cualquier estrategia de manejo. Si bien se discutió sobre variadas y potenciales fuentes en esta pesquería, no todas estas pueden ser incluidas en un modelo de simulación como es OpenMSE. Esto se debe a que este tipo de plataformas está orientado a evaluar la forma en que la mortalidad por pesca es aplicada sobre la población y sus efectos futuros tanto para el recurso como para el desempeño de la pesquería concentrada principalmente en las capturas y esfuerzo (mortalidad por pesca). A menudo, las principales fuentes de incertidumbre se centran en los procesos naturales como es el reclutamiento, crecimiento individual y mortalidad natural. Otros aspectos son los ligados a la estructura espacial de las poblaciones y proceso migratorios de las mismas (e.g. Siple et al., 2021). En particular, para el jurel se reconocen cambios de régimen en la escala de los reclutamientos, así como eventos de reclutamientos inusualmente altos relacionados con posterioridad a fenómenos del El Niño.

- **Revisión bibliográfica de literatura científica nacional e internacional**

Es relevante considerar los avances tanto a nivel nacional como internacional respecto a la EEM para la pesquería de jurel. Los resultados presentados dan cuenta del estado actual del trabajo orientado al desarrollo e implementación de modelos operativos, procedimientos de manejo y pruebas de simulación para la población de jurel chileno, en el marco del mandato de la OROP-PS. Durante este proceso, se ha acordado una formulación clara de las fuentes de incertidumbre, los escenarios alternativos, los candidatos a MP y el diseño de la simulación mediante reuniones del grupo de trabajo de EEM de jurel de la OROP-PS. Actualmente, se han realizado pruebas iniciales en la mayoría de las combinaciones de MP y MO. Se espera que los resultados proporcionen a los científicos y gestores de la OROP-PS un conjunto de candidatos a MP que demuestren ser suficientemente robustos y exitosos para alcanzar los objetivos de manejo de la población.

A nivel nacional, el CCT-J ha estado permanentemente informado a través de presentaciones en sesiones ordinarias y en talleres de Evaluación de Estrategias de Manejo. Destacan los aportes al análisis de tasas de migración, en el contexto de los resultados de análisis genéticos que respaldan la hipótesis de una sola unidad de stock. También han sido relevantes las discusiones sobre el cambio de asignación de edad, la madurez a la edad, la mortalidad natural y la longevidad. Además, se ha propuesto desarrollar un procedimiento para ponderar las diferentes hipótesis de unidades de stock, basado en el concepto de “pedigree” desarrollado para los modelos Ecopath y Ecosim (Susini & Toldó, 2021), el cual propone un índice de calidad de los modelos en función de los supuestos considerados y los datos que los respaldan.

- **Uso de la plataforma OpenMSE para la pesquería de jurel**

La implementación de la plataforma OpenMSE permitió condicionar un modelo operativo base el cual consideró las cuatro flotas que actualmente se consideran en la evaluación de stock (Perú, norte de Chile, centro-sur de Chile y flota internacional frente a Chile y fuera de la ZEE) y sus respectivos índices de abundancia. Del mismo modo y junto a la Dra. Robyn Forrest, se implementaron experimentalmente las RCC base y su desempeño fue evaluado empleando la versión shortcut MSE el que consiste en emular (imitar) una evaluación de stock mediante el muestreo de la biomasa, la abundancia y la mortalidad por pesca del MO (incluyendo errores de observación, autocorrelación y sesgo), en lugar de ajustar un modelo de estimación. Lo anterior se debió a que el condicionamiento rápido del modelo de estimación (RCM) tuvo problemas de convergencia a subsanar mediante el uso de distribuciones a priori, principalmente en los coeficientes de capturabilidad de los índices de abundancia. Cabe señalar que el RCM permite optimizar los MO. Esto se logra a partir de un modelo SCA que sustituye al modelo de estimación original y es ajustado a los datos y permite obtener estimaciones de los niveles poblacionales y la mortalidad por pesca. El RCM es flexible y puede configurarse como un modelo de estimación, aunque su propósito principal no es el de ser empleado como modelo de evaluación de poblaciones. Durante el taller se advirtieron además problemas en el proceso RCM debido a las formas de selectividad generadas por el modelo actualmente empleado JJM, las que al ser del tipo no-paramétricas y de gran cantidad de parámetros, resultaron difíciles de reproducir mediante RCM.

Cabe destacar que sin ser lo ideal, la aproximación shortcut MSE resulta muy útil para evaluar el desempeño solo de RCC en las cuales el proceso de estimación formal no está considerado. De hecho y de acuerdo con ICES (2020), el enfoque shortcut MSE es un método válido por sí mismo, y ha sido ampliamente utilizado por este organismo en el pasado para evaluar estrategias de gestión y no debe considerarse inferior al enfoque MSE completo (full MSE). Más bien, se trata de una cuestión de optimización de recursos: este enfoque simplificado permite realizar evaluaciones con menos recursos y/o centrarse en aspectos distintos al modelo de evaluación (por ejemplo, estrategias de gestión alternativas o una dinámica del modelo operativo más realista). De hecho, en un MSE completo se emplea un modelo de estimación cuya convergencia podría tomar hasta 2 minutos como es el caso del modelo JJM (considérese el tiempo de computación en una proyección a 20 años y 200 réplicas por RCC y MO). Aquí subyacen algunas interrogantes frente a la rapidez de RCC como supuesta mejor opción, por ejemplo, el proceso de una evaluación real tarda realmente algunos minutos?, el sesgo retrospectivo del RCC es acaso el mismo del modelo de estimación empleado (e.g. JJM)?, acaso no será preferible emplear shortcut MSE haciendo explícito los niveles de sesgo y precisión ya conocidos?. Además, la configuración (ponderadores de la información, patrones de selectividades, periodos de diferente productividad) debe ser ajustada frecuentemente, lo cual no se puede hacer en un proceso

automático de ajuste como el que se requiere en un MSE. Por último, se debería considerar un modelo de estimación distinto al JJM original para evaluar la robustez de las estrategias frente a otra probable fuente de incertidumbre de estimación.

- **JJM_simple, full MSE vs shortcut MSE**

En atención a lo anterior, se formuló un modelo de estimación original (*JJM_simple*) edad-estructurado más sencillo al modelo JJM original que podría mejorar la aproximación shortcut MSE. Este modelo considera las composiciones de edades de las capturas de manera agregada junto al índice de abundancia CPUE de la zona centro-sur, el índice de biomasa acústica de la zona norte, junto a su respectiva frecuencia de edades. El modelo consideró similar variabilidad anual de los patrones de explotación empleados en el modelo JJM original, pero esta vez se consideraron modelos paramétricos en la forma de una función doble-normal. El modelo se implementó en ADMB y su convergencia se obtuvo en 6 segundos, con lo cual el tiempo total para 100 simulaciones a 30 años futuros fue de 5 horas por procedimiento de manejo y modelo operativo. El nuevo modelo reprodujo tanto la escala como las variaciones del reclutamiento y la biomasa desovante en más del 90%, haciéndolo entonces viable de considerar para realizar un MSE completo y, alternativamente, considerarlo para implementarlo en la plataforma OpenMSE.

La implementación de full MSE ad-hoc permitió verificar los puntos discordantes respecto de la aproximación abreviada shortcut MSE. En este ejercicio, se demostró que las diferencias son mínimas no obstante en la versión abreviada se registró ligera subestimación del riesgo de sobrepesca y sobreexplotación. Cabe señalar que esto último depende intrínsecamente de las características y capacidad del modelo de estimación, por lo que los resultados podrían variar dependiendo del modelo que sea empleado.

La plataforma OpenMSE emerge como una solución no exenta de los mismos problemas antes identificados, esto es, dependencia de un modelo de estimación que no es el modelo realmente empleado para fines de la decisión de captura. Al respecto, la plataforma OpenMSE no emplea un modelo único de estimación de stock por defecto, sino que permite incorporar distintos tipos de modelos de evaluación, desde estimadores empíricos simples hasta modelos estructurados complejos, dependiendo del diseño del procedimiento de manejo. En muchas aplicaciones prácticas se utilizan estimadores empíricos o enfoques tipo shortcut, en los que las variables de estado se simulan directamente con error, evitando el ajuste formal de un modelo de evaluación. En este sentido, y sin perjuicio de los resultados obtenidos, el paso siguiente sería implementar el modelo *JJM_simple* o similar en la plataforma OpenMSE condicionado a la historia de la biomasa y reclutamientos. Esto permitiría confirmar los resultados obtenidos en este trabajo y servir de herramienta para la evaluación formal y expedita de estrategias de manejo para la

pesquería del jurel. Además, para futuros análisis es recomendable ampliar los análisis a escenarios para explorar el efecto de eventos extremos o excepcionales, por ejemplo, con un CV más elevado y/o la presencia de un sesgo importante (Wiedenmann et al., 2015).

Por otro lado, el uso del método abreviado (Shortcut) resultó en una alternativa válida para la implementación de MSE de jurel, ya que permitió un mayor análisis de un mayor número de modelos operativos y procedimientos de manejo. El uso de este método, sumado al uso del paquete “Slick” de OpenMSE resultó en una combinación muy potente, la cual permite analizar un gran número de combinaciones y selecciones de diferentes modelos operativos y procedimientos de manejo en forma rápida. Debido a esto es recomendable usar el archivo slick generado para jurel en complemento a los resultados presentados en este informe.

Se debe considerar que al implementar cualquier MSE en la pesquería del jurel, sin el modelo de evaluación original JJM, se está incorporando un nivel de sesgo difícil de precisar y de imitar o emular. Cualquier modelo de estimación alternativo es un candidato como emulador al original, y por ende generará respuestas similares, pero no iguales al original con las implicancias que tienen las medidas de incertidumbre o imprecisión. En este sentido, la aproximación shortcut tiene la ventaja de su simpleza, velocidad y flexibilidad de incluir de manera directa los niveles de sesgo, precisión y correlación del modelo original, y con esto alcanzar mayor similitud posible con las características estadísticas del modelo JJM original. En este sentido, el trabajo realizado consideró de manera precisa estas particularidades del modelo, con lo cual los resultados obtenidos permiten concluir sobre el efecto de distintos procedimientos de manejo y condiciones ambientales (modelos operativos), respecto de las variables de interés para la pesquería.

- **JJM_simple y su uso en MSE**

El núcleo del MSE se basa en el marco de simulación, que depende de dos tipos de modelos: el operativo y el de estimación. A diferencia del modelo de estimación, que busca la mejor estimación de los datos, el modelo operativo actúa como un generador de realidades posibles. En el caso del jurel, el modelo JJM simple resultó ser óptimo en la estimación de los parámetros históricos, reduciendo los tiempos de estimación y mejorando la calidad de convergencia en comparación con el modelo JJM-SPRFMO.

Los resultados del MSE full demuestran que el empleo del modelo *JJM_simple* facilita la captura de la incertidumbre de proceso asociada a la variabilidad intrínseca en el reclutamiento, que puede afectar otros procesos como el crecimiento y la mortalidad. La incertidumbre de observación referido a los errores asociados al muestreo de datos y a la generación de series de abundancia, y la incertidumbre de implementación, en la cual la captura real o permisible puede estar limitada por decisiones de manejo o no coincidir con la captura efectuada. Las ventajas del

JJM_simple en la rápida estimación de parámetros (6 segundos) y el manejo de la incertidumbre, sumadas a su capacidad para replicar la dinámica del jurel en relación con las composiciones de edades (y posiblemente tallas), alternativas en la relación stock-recluta, temporalidad en la supervivencia, cambios en selectividades, entre otros procesos de interés, hacen del modelo un candidato adecuado para las MSE que se planeen implementar en jurel.

- **Modelos operativos y ejes de incertidumbre**

Los MO analizados consideraron 3 escalas de reclutamientos futuros. En este caso y debido a que el stock en el 2024 tuvo una biomasa muy alta ($SB > SB_{MSY}$), las proyecciones de reclutamiento sin pesca fueron altas y estables, cercanas al reclutamiento máximo del modelo Beverton y Holt. Todos los MO proyectados con niveles de reclutamientos altos pudieron mantener los MP simulados, no así los MO con reclutamientos bajos, lo cual sugiere que la reducción del 50% de las desviaciones de los reclutamientos pudo ser muy extrema. Los MO con niveles de reclutamiento medios y con selectividades de 2025 fueron capaces de mantener la mayoría de los MP en las proyecciones. Sin perjuicio de esto, es recomendable en futuros análisis, considerar diferentes escenarios de selectividad y el recalcu de los FMSY según la selectividad proyectada. Es importante recordar que la mayoría de los MP analizadas no incluyen FMSY, excepto la regla vigente en la OROP-PS (MP2). Otra fuente de incertidumbre recomendable de analizar en estudios futuros es el porcentaje de cada flota en la captura total lo cual generaría efectos netos sobre el patrón de explotación. Si bien diversas dificultades propias de la investigación no permitieron implementarlas en OpenMSE, el full MSE realizado de manera ad-hoc con el modelo *JJM_simple* consideró la variabilidad del patrón de explotación de los últimos 15 años, en atención a la incertidumbre que podría generar esta reasignación del esfuerzo y las capturas entre flotas. Un escenario futuro alternativo es que el recurso se redistribuya hacia aguas oceánicas como en la década de los años noventa, afectando el porcentaje de participación de las otras flotas.

- **Desempeño de los procedimientos de manejo**

Los resultados obtenidos evidencian que el desempeño de los procedimientos de manejo difiere significativamente en función del balance entre objetivos de conservación, rendimiento pesquero y estabilidad de capturas, lo que coincide con el principio ampliamente reconocido en evaluación de estrategias de manejo de que no existe un procedimiento óptimo universal, sino soluciones que representan distintos compromisos entre objetivos en conflicto (Butterworth y Punt, 1999; Punt et al., 2016). En este contexto, el procedimiento MP4 (regla de control tipo rampa, captura mínima de 270 mil toneladas y CBA máxima de referencia de 1,5 millones de t) emerge como la alternativa más equilibrada, al presentar simultáneamente altos niveles de protección biológica y estabilidad pesquera, con resultados productivos adecuados.

La combinación de altas probabilidades de evitar sobrepesca y mantener al stock en zona segura sugiere que este procedimiento ofrece una alta resiliencia frente a variabilidad ambiental y fluctuaciones en el reclutamiento, un aspecto particularmente relevante en la pesquería del jurel, caracterizada por alta variabilidad interanual en productividad.

Por su parte, MP10 (CBA constante de 1,5 millones) igualmente destaca por su desempeño superior en estabilidad y predictibilidad de capturas, atributos que son frecuentemente valorados por los sectores productivos y por los sistemas de gestión que buscan minimizar fluctuaciones socioeconómicas. Sin embargo, su menor desempeño relativo en indicadores biológicos sugiere que su implementación podría requerir salvaguardas adicionales, especialmente en escenarios de baja productividad. Por su lado, el procedimiento MP8 (regla de control potencial, captura mínima de 270 mil toneladas y CBA máxima de referencia de 1,5 millones de t), representa una alternativa particularmente robusta desde el punto de vista biológico, mostrando los mejores resultados en los indicadores de conservación. De hecho, este MP genera las mayores capturas en el LP cercanos a 1,6 millones de toneladas. Este comportamiento es consistente con estrategias precautorias diseñadas para minimizar el riesgo de sobrepesca a largo plazo, aun cuando ello implique aceptar niveles moderados de variabilidad en las capturas.

La presencia de procedimientos con alta captura promedio (1,7 millones de t) pero bajo desempeño biológico, como MP7, confirma que estrategias excesivamente intensivas pueden maximizar el rendimiento en el corto plazo, pero a costa de aumentar significativamente el riesgo de deterioro del recurso. Este patrón ha sido documentado en múltiples aplicaciones de MSE, donde reglas de control agresivas tienden a incrementar el riesgo de sobreexplotación en el largo plazo (Punt et al., 2016). En términos generales, los resultados sugieren que las estrategias que logran un equilibrio entre niveles moderados de captura y altos niveles de protección biológica, como MP4, presentan el mejor desempeño global. Este resultado es consistente con la literatura internacional, que destaca la importancia de reglas de control que combinen criterios precautorios con mecanismos que limiten la variabilidad interanual de capturas (Butterworth y Punt, 1999; Punt et al., 2016).

- **Selección multicriterio**

La selección del MP no debiera hacerse por “el mayor puntaje promedio” solamente, sino en dos etapas: En la primera se debiera aplicar filtros de aceptabilidad y descarte de MP que no cumplan umbrales mínimos en la probabilidad de colapso, baja probabilidad de sobrepesca, capturas mínimas aceptables, baja variabilidad interanual de las capturas, entre otras. Esto es importante porque un MP no debería compensar alto riesgo biológico con alta captura. En MSE, la práctica recomendada es comparar estrategias frente a objetivos predefinidos, incertidumbres y trade-offs, no solo optimizar una métrica única.

Una vez descartados los MP inaceptables, se puede usar una ponderación multicriterio. Por ejemplo los de conservación como los más importantes (40-50%), rendimiento pesquero (20-25%), estabilidad operacional (15-20%) y robustez (desempeño esperado en situaciones extremas) (15-20%). La ponderación debe ser discutida con administradores, sectores pesqueros y científicos, porque los pesos son juicios de valor, no resultados puramente técnicos. La literatura reconoce que los actores muchas veces tienen dificultad para asignar pesos explícitos, por lo que también es válido presentar trade-offs sin forzar un ranking único. Se debe tener atención en normalizar los indicadores de 0 a 1, siendo 1 el mejor de los resultados.

Se debe seleccionar el MP que sea robusto, precautorio y operacionalmente estable. En particular, un buen MP debería: mantener alta probabilidad de SSB segura, evitar sobrepesca en escenarios de reclutamiento bajo o régimen desfavorable, sostener capturas razonables, evitar cambios bruscos de CBA y no depender excesivamente de un único supuesto de productividad. La decisión final debería presentarse como una matriz de trade-offs, no solo como un ranking. El ranking multicriterio ayuda, pero la selección debe quedar justificada por objetivos de manejo previamente acordados.

- **Reglas y MP alternativos**

Reglas empíricas

De manera similar, los resultados mostraron que el MP4 basado en el desempeño del crucero acústico (RCC2 con una captura de referencia de 1,5 millones de toneladas) es el procedimiento de manejo que presenta un desempeño relativamente superior con respecto a los otros MP empíricos. Esto se debe principalmente a que incorpora un límite superior en la captura, con un valor de referencia menor en comparación con los otros MP. De hecho, los otros MP empíricos (RCC3 y RCC4) no presentan un límite en la captura, aumentando la captura a medida que lo hace la biomasa del crucero acústico. Los niveles de captura recomendados por los MP empíricos en el corto plazo se traducen en disminuciones de la biomasa desovante para los MO1 y MO2. Este comportamiento, aumentos de la captura en el corto plazo a expensas de una disminución de la biomasa, podría estar vinculado a la banda de estabilización, en que la captura no puede bajar más de un 10% de la captura del año anterior, manteniendo las capturas elevadas a un costo de disminuir la biomasa del stock de jurel.

Reglas optimizadas

Este estudio consideró además la aplicación del método SOPS (optimización estocástica en el espacio de las decisiones). Este análisis demostró que la búsqueda sistemática en cuadrícula sobre

un marco de gestión pesquera lineal simple de dos parámetros permite identificar estrategias de captura que abarcan múltiples objetivos. La superficie de rendimiento reveló una estructura de cresta diagonal bien definida con un estrecho margen de seguridad: solo 5 de las 420 combinaciones analizadas cumplieron con las tres restricciones de precaución ($P(SSB < SSB_{MSY}) < 0,40$, $P(F > F_{MSY}) < 0,50$, $AAV < 0,30$), concentrándose exclusivamente en tasa de explotación ($Q_{slope} \leq 0,15$ y biomasa mínima (B_{min}) de 2 millones de toneladas.

La HCR óptima con restricciones ($Q_{slope} = 0,15$, $B_{min} = 1$ millón de toneladas) alcanzó una captura media de 1.6 millón de t anuales (91 % del RMS) con un riesgo de agotamiento de 0,29, un riesgo de sobrepesca de 0,24 y un AAV de 0,29, todos dentro de los límites aceptables. El enfoque de búsqueda en cuadrícula permite visualizar directamente la superficie completa de compensación entre rendimiento y riesgo, reemplazando las tablas de decisión pasivas y los gráficos de radar con un mapa explícito de la frontera eficiente. La relación óptima de rendimiento-riesgo con restricciones se sitúa en la región eficiente de esta frontera, donde las ganancias de rendimiento por unidad de riesgo de conservación son mayores. Su ventaja sobre las reglas tradicionales se fortalece a medida que disminuye la incertidumbre, como lo confirman los escenarios de sensibilidad. Esta representación visual del espacio de políticas transforma la participación de las partes interesadas: en lugar de elegir entre un pequeño conjunto de alternativas arbitrarias, los gestores y las partes interesadas pueden identificar directamente su posición preferida en la superficie de compensación, fundamentando el debate en la realidad cuantitativa. Este marco es transferible a otros stocks y proporciona una alternativa transparente y basada en datos a la selección arbitraria de parámetros en el diseño de RCC.

- **Limitaciones del estudio**

Sin perjuicio de los hallazgos encontrados en este trabajo, se destacan algunas limitaciones a tener en cuenta para futuros trabajos. Una de estas es la implementación del condicionamiento rápido (RCM) en OpenMSE de un modelo de evaluación complejo, lo cual debe ser previamente considerado pues esto derivó en problemas que fueron advertidos en el taller de implementación junto a la Dra Robyn Forrest. La solución pasa por simplificar la estructura del modelo de estimación como sea posible, a no ser que dentro de los MP se quisiera evaluar particularidades de una de las flotas, que no ha sido el caso. Se destaca la incapacidad de OpenMSE para implementar y condicionar un modelo de estructura similar al JJM en la plataforma.

Por otra parte, se considera la previsión de haber incluido actividades específicas con los usuarios sobre la ponderación de las variables de desempeño para fines de selección de las MP, y abarcar otros Modelos Operativos como por ejemplo, los relacionados con las curvas de la relación S/R, escenarios de cambios en selectividad y estructura poblacional entre otras.

8. Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos, las conclusiones relevantes pueden sintetizarse en los siguientes puntos:

- La participación activa del Comité de Manejo y otros actores clave permitió definir objetivos operacionales coherentes con un enfoque precautorio, destacando la necesidad de equilibrar las capturas sostenibles, la estabilidad interanual y la reducción del riesgo de sobrepesca.
- Las reglas de control de captura definidas mediante talleres técnicos incorporaron explícitamente límites de variación interanual y mecanismos de estabilización, elementos fundamentales para compatibilizar objetivos biológicos y socioeconómicos en la pesquería del jurel.
- La implementación de la plataforma OpenMSE permitió estructurar un modelo operativo base representativo de la pesquería, aunque se identificaron dificultades asociadas a la convergencia del modelo de estimación original y a la complejidad de las selectividades.
- El modelo de condicionamiento rápido (RCM) desarrollado presenta un carácter preliminar, requiriendo ajustes adicionales en su condicionamiento antes de establecer una configuración definitiva para su uso en la evaluación de estrategias de manejo por medio del enfoque Full-MSE.
- El uso del enfoque shortcut MSE constituyó una alternativa metodológica válida y eficiente, permitiendo evaluar un mayor número de combinaciones de modelos operativos y procedimientos de manejo en tiempos computacionales razonables.
- El desarrollo del modelo *JJM_simple* representó un avance metodológico relevante, al mejorar la convergencia y reducir significativamente los tiempos de estimación, manteniendo una adecuada representación de la dinámica histórica del stock.
- Las comparaciones entre full MSE y shortcut MSE mostraron diferencias menores en el desempeño general, aunque el enfoque abreviado tendió a subestimar levemente el riesgo biológico, lo que sugiere la necesidad de cautela en su interpretación.
- El desempeño de los procedimientos de manejo mostró una fuerte dependencia de los niveles futuros de reclutamiento, evidenciando la relevancia de considerar explícitamente esta fuente de incertidumbre en el diseño de estrategias de manejo.

- Entre los procedimientos evaluados, MP4 (regla tipo rampa con captura mínima de 270 mil t y máxima de 1,5 millones de t) destacó como la alternativa más equilibrada, al presentar simultáneamente buenos resultados en protección biológica, estabilidad de capturas y rendimiento pesquero.
- Procedimientos más conservadores, como MP8, mostraron un alto desempeño biológico y buenas capturas de largo plazo, mientras que reglas más intensivas, como MP7, incrementaron el riesgo de deterioro del recurso pese a generar mayores capturas en el corto plazo.
- La aplicación del método de optimización estocástica (SOPS) permitió identificar configuraciones de reglas de control que satisfacen simultáneamente restricciones biológicas y de estabilidad, facilitando la identificación de soluciones eficientes en el espacio de decisiones.
- La aproximación metodológica empleada demuestra que la integración de procesos participativos, modelos operativos robustos y herramientas de simulación constituye un marco sólido para la evaluación de estrategias de manejo en la pesquería del jurel.
- Se recomienda implementar el modelo *JJM_simple* dentro de la plataforma OpenMSE y ampliar los análisis hacia escenarios de mayor incertidumbre y eventos extremos, con el fin de fortalecer la robustez de los procedimientos de manejo evaluados.
- El desarrollo alcanzado en este proyecto constituye un paso crítico hacia la implementación institucional de un sistema formal de evaluación de estrategias de manejo para el jurel, proporcionando herramientas metodológicas replicables y transparentes para apoyar la toma de decisiones pesqueras.

Para consolidar el sistema MSE se recomienda:

- a. Mejorar el condicionamiento del modelo operativo RCM en la plataforma OpenMSE,
- b. integrar formalmente la estructura del modelo JJM a través de un modelo equivalente o simplificado (e.g., *JJM_simple*),
- c. explorar escenarios extremos de productividad y sesgo,
- d. evaluar nuevas configuraciones de selectividad y estructura de flotas, y
- e. ampliar el uso de técnicas de optimización de reglas de control.

9. Referencias

- Aksnes, D. L., Giske, J. (1990). Habitat profitability in pelagic environments. *Marine Ecology Progress Series*, 64: 209e215.
- Arcos, D. A., Cubillos, L. A., Nuñez, S. P. (2001). The jack mackerel fishery and El Niño 1997–98 effects off Chile. *Progress in Oceanography*, 49: 597 –617.
- Barbieri, M. A., Córdova J., Lillo, S. (1998). Evaluación hidroacústica del recurso jurel en la zona centro-sur (fase crucero metodológico). Informe final Fondo de Investigación Pesquera n° 95-07. 113 pp.
- Barría, P., A. Aranís, S. Mora, G. Böhm, R. Serra, C. Martínez, V. Catasti, H. Reyes, G. Muñoz y A. Gómez. (2003). Diagnóstico de la Pesquería Chilena de jurel (*Trachurus symmetricus murphyi*). En E. Yáñez (ed) *Actividad Pesquera y de Acuicultura en Chile*. Pp 123-141.
- Bertrand, A., Barbieri, M. A., Córdova, J., Hernández, C., Gómez, F., and Leiva, F. (2004). Diel vertical behaviour, predator-prey relationships, and occupation of space by jack mackerel (*Trachurus murphyi*) off Chile. *ICES Journal of Marine Science*, 61: 1105e1112.
- Canales C., R. Serra, J.C. Saavedra, L. Caballero. (2013). Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales. Seguimiento del Estado de Situación de las Principales Pesquerías Nacionales. Subsecretaría de Pesca, Inst. Fom. Pesq. Valparaíso, Chile. 71p + anexos.
- Canales, C. (2014). Biological Reference Points (BRP project) for Chilean Fisheries: the case of Jack Mackerel. SPRFMO SC-02. <https://www.sprfmo.int/assets/Meetings/Meetings-2013-plus/SC-Meetings/2nd-SC-Meeting-2014/Papers/8669925b69/SC-02-JM-10-Biological-reference-points-for-Chilean-fisheries-the-case-of-Jack-mackerel-a.pdf>.
- Canales, C., Sánchez, N., Curiel, J., González, E., Arteaga, M., Sepúlveda, A., Gatica, C., San Martín, R., González, C., & Licandeo, R. (2025). Informe Final proyecto FIPA 202-02. Diseño e implementación de Evaluación de Estrategias de Manejo (EEM) en las pesquerías de anchoveta y sardina común: Fase 2. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 171 pp + Anexos.
- Cárdenas L, Silva A, Magoulas A, Cabezas J, Poulin E, Ojeda P. (2009). Genetic population structure in the Chilean jack mackerel, *Trachurus murphyi* (Nichols) across the Southeastern Pacific Ocean. *Fisheries research*. 100(2): 109-115.
- Cerna F. (2022). Life history parameters of jack mackerel (*Trachurus murphyi*, nichols 1920) based on the new validated ageing criterions. SCW14-WD04. <https://www.sprfmo.int/assets/02-SC10/SCW14-SPRFMO-SC-JM-Benchmark-Workshop/Working-Documents/SCW14-WD04-Life-History-Parameters-of-Jack-Mackerel-FCerna.docx>.
- Cerna F., G. Moyano, C. Valero, L. Muñoz, G. Plaza, y SE. Campana. (2022). Bomb Radiocarbon, Otolith Daily Increments and Length Modes Validate Age Interpretations of Chilean Jack Mackerel (*Trachurus murphyi*). *Front. Mar. Sci.* 9:906583. doi: 10.3389/fmars.2022.906583.
- Elizarov, A.A., Grechina, A.S., Kotenev, B.N., Kuzetsov, A.N., 1993. Peruvian jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*, in the open waters of the South Pacific. *J. Ichthyol.* 33, 86–104.
- Espíndola, F, JC Quiroz, R Wiff y E Yáñez. (2016). Incorporating sea surface temperature into the stock-recruitment relationship: Applications to jack mackerel (*Trachurus murphyi*) off Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 51(1): 137-145.
- FAO. (1995). Code of Conduct for Responsible Fisheries. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

- Ferrada S., Galleguillos R., Herrera-Yáñez V., Canales-Aguirre CB., Sepulveda A., Vásquez S., Nuñez S., Salas C., Alegria A., & Aguilera F. (2023). Informe Final FIPA N°2021-28: GENÉTICA POBLACIONAL DE JUREL (*TRACHURUS MURPHYI*) EN EL PACÍFICO SUR.
- Fischer S, J. A. De Oliveira, J.D. Mumford, and L.T. Kell. (2022). Exploring a Relative Harvest Rate Strategy for Moderately Data-Limited Fisheries Management. Edited by M S M Siddeek. ICES Journal of Marine Science 79 (6): 1730–41. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsac103>.
- Fournier, D. A., Skaug, H. J., Ancheta, J., Ianelli, J., Magnusson, A., Maunder, M. N., Nielsen, A., & Sibert, J. (2012). AD Model Builder: Using automatic differentiation for statistical inference of highly parameterized complex nonlinear models. *Optimization Methods and Software*, 27(2), 233-249.
- Gang, L., Xiaorong, Z., Xinjun, C., Yinqi, Z., Zhang, M. (2013). Standardization of CPUE for Chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*) from Chinese trawls fleets in the high seas of the Southeast Pacific Ocean. *J. Ocean Univ. China* 12, 441–451. doi: 10.1007/s11802-013-1987-1
- Gerlotto F, M. Gutierrez, & A. Bertrand. (2012). Insight on population structure of the Chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*). *Aquat. Living Resour.* 25, 341–355.
- Grechina, A.S. (1998). Historia de investigaciones y aspectos básicos de la ecología del jurel (*Trachurus symmetricus murphyi* (Nichols)) en alta mar del Pacífico Sur. In: Arcos, D. (Ed.), *Biología y ecología del jurel en aguas chilenas*. Instituto de Investigación Pesquera, Talcahuano, pp. 11–34.
- Guele, M. E. (2014). How to manage the fishery on Chilean jack mackerel: A South Pacific pelagic fish with large variation in recruitment regime? (Tesis doctoral, L'Institut Agro Rennes-Angers, Rennes, Francia).
- Hancock, J., Hart, J. B., Antezana, T. (1995). Searching behaviour and catch of horse mackerel (*Trachurus murphyi*) by industrial purse-seiners off south-central Chile. *ICES J. Mar. Sci.*, 52: 991e1004.
- Hurtado-Ferro, F., Szuwalski, C.S., Valero, J.L., Anderson, S.C., Cunningham, C.J., Johnson, K.F., Licandeo, R., McGilliard, C.R., Monnahan, C.C., Muradian, M.L., Ono, K., Vert-Pre, K.A., Whitten, A.R., & Punt, A.E. (2015). Looking in the rear-view mirror: Bias and retrospective patterns in integrated, age-structured stock assessment models. *ICES Journal of Marine Science*, 72, 99–110.
- ICES. 2020. The third Workshop on Guidelines for Management Strategy Evaluations (WKG MSE3). ICES Scientific Reports. 2:116. 112 pp. <http://doi.org/10.17895/ices.pub.7627>
- Kell, L. T., I. Mosqueira, P. Grosjean, J-M. Fromentin, D. Garcia, R. Hillary, E. Jardim, et al. (2007). “FLR: An Open-Source Framework for the Evaluation and Development of Management Strategies.” *ICES Journal of Marine Science* 64 (4): 640–46. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsm012>.
- Kimura, D. K., Tagart, J. V. (1982). Stock reduction analysis, another solution to the catch equations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 39(11), 1467-1472.
- Leal E., E. Díaz, J.C. Saavedra-Nievas., G. Claramunt. (2013). Ciclo reproductivo, longitud y edad de madurez de jurel *Trachurus murphyi*, en la costa de Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* Vol. 48, No3: 601-611.
- McAllister, M. K., Ianelli, J. N. (1997). Bayesian stock assessment using catch-at-age data and the sampling-importance resampling algorithm. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 54(2), 284-300.
- Monnahan C. y K. Kristensen. (2018). No-U-turn sampling for fast Bayesian inference in ADMB and TMB: Introducing the adnuts and tmbstan R packages. *PLoS ONE* 13(5): e0197954. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197954>
- Mosquiera, I. (2024). Conditioning of Operating Models and development of Management Procedures for

- the SPRFMO jack mackerel stock. SPRFMO SC-12. https://www.sprfmo.int/assets/Meetings/02-SC/12th-SC-2024/Jack-Mackerel/SC12-JM11_rev1-Conditioning-of-Operating-Models-and-development-of-Management-Procedures-for-the-SPRFMO-JM-stock.pdf
- Mosquera, I. (2023). Conditioning of operating models and exploratory evaluation of candidate management procedures for SPRFMO jack mackerel. SPRFMO SC-11. <https://www.sprfmo.int/assets/Meetings/02-SC/11th-SC-2023/Jack-Mackerel/SC11-JM16-JMWG-Conditioning-of-OMs-and-exploratory-evaluation-of-candidate-management-procedures-for-SPRFMO-JM.pdf>
- Mosqueira, Iago, and Nicola Tien. 2022. "Support to Jack Mackerel Assessment and Data Validation in Srfmo." Wellington, New Zealand. <https://edepot.wur.nl/544654>.
- Núñez, S., Letelier, J., Donoso, D., Sepúlveda, A., & Arcos, D. (2004). Relating spatial distribution of Chilean jack mackerel eggs and environmental factors in the oceanic waters off Chile. *Gayana (Concepción)*, 68(2), 444–449. <https://doi.org/10.4067/S0717-65382004000300023>.
- Payá I. (2024). Jack Mackerel CPUE index and acoustic biomass in the south-central Chile. SC12-JM04. SPRFMO. (<https://www.sprfmo.int/assets/Meetings/02-SC/12th-SC-2024/Jack-Mackerel/SC12-JM04-CHL-Jack-Mackerel-CPUE-index-and-acoustic-biomass-in-the-south-central-Chile.pdf>).
- Payá I. (2022). High fish concentrations close to the coast in recent years could affect the Jack Mackerel CPUE abundance index in south-central Chile: proposal of a correction procedure. SC10-JM05. <https://www.sprfmo.int/assets/02-SC10/Meeting-Papers/SC10-JM05-CPUE-abundance-index-in-south-central-Chile-update-and-proposed-correction-CL.pdf>.
- Payá I., R. Tascheri, M. Mardones, y J.C. Quiroz. (2023). Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentable de jurel nacional entre la Región de Arica y Parinacota a la Región de los Lagos, año 2023. Tercer Informe (Final), Convenio de desempeño 2022.
- Payá I. y J. Zenteno. (2024). Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentable de jurel nacional entre la Región de Arica y Parinacota a la Región de los Lagos, año 2024. Tercer Informe Final Técnico. Convenio de desempeño 2023. Instituto de Fomento Pesquero. 119 p + 10 anexos.
- Payá I. y J. Zenteno. 2025. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentable de jurel nacional entre la Región de Arica y Parinacota a la Región de los Lagos, año 2025. Informe Final Técnico. Convenio de desempeño 2023. Instituto de Fomento Pesquero. 108 p + 11 anexos
- Perea, Á., Mori, J., Buitrón, B., Sánchez, J. (2013) Reproductive aspects of Jack mackerel *Trachurus murphyi*. In: Csirke J., Guevara-Carrasco, R., Espino, M. (Eds.). Ecología, pesquería y conservación del jurel (*Trachurus murphyi*) en el Perú. Revista Peruana de Biología, número especial, 20(1) pp 29–34.
- Punt A., D. Butterworth, C. de Moor, J. De Oliveira., M. Haddon. (2016a). Management strategy evaluation: best practices. *Fish and Fisheries*, Volume 17, Issue 2. Pages 303-334.
- Punt, A, LR Little y R Hillary. (2016b). Assessment for Eastern Jack Mackerel. The Status of Australian Fish Stocks Reports.
- Punt, A. E. (2017). Strategic management decision-making in a complex world: Quantifying, understanding, and using trade-offs. *ICES Journal of Marine Science*, 74(2), 499–510.
- Quiroz, J. C. (2019). Consolidado Estatus y CBA Jurel, 2019. Valparaíso: Instituto de Fomento Pesquero.
- Reimer, M. N., Rogers, A., & Sanchirico, J. N. (2025). Managing for adaptive capacity in climate-ready fisheries. *Marine Policy*, 174, 106601. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2025.106601>
- Saab K K & Saab S S. (2016). Application of an optimal stochastic Newton-Raphson technique to triangulation-based localization systems. 2016 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS), 981–986.
- Sharma R, Levontin P, Kitakado T, et al. Operating model design in tuna Regional Fishery Management Organizations: Current practice, issues and implications. *Fish Fish*.2020;00:1–22. <https://doi.org/10.1111/faf.12480>.

- Schnute, J. T. (1977). Improved estimates from the Schaefer production model: Theoretical considerations. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 34(4), 583-603.
- Serra, J. R. (1991). Important life history aspects of the Chilean jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi*. *Investigaciones Pesqueras* (Chile), 36: 67 –83.
- Smith, A.D.M., Ward, T., Hurtado, F., Klaer, N., Fulton, E. and A.E. Punt. (2015). Review and update harvest strategy settings for the Commonwealth small pelagic fishery. FRDC Report 2013/028 (74pp).
- SPRFMO (2022). 10th Scientific Committee meeting report. 86 p. Wellington, New Zealand 2022. <https://www.sprfmo.int/assets/Meetings/SC/10th-SC-2022/SC10-Report-Final-19Jan2023-v2.pdf>
- SPRFMO (2022). Scientific Committee Jack Mackerel Benchmark Workshop Report. 37 p. Wellington, New Zealand 2022. https://www.sprfmo.int/assets/Meetings/SC_WS/SCW14-Jack-Mackerel/SPRFMO-SC-JM-Benchmark-Workshop-2022-Report-SCW14.pdf
- SPRFMO, (2010). Report of the Science Working Group. Ninth Science Working Group of SPRFMO, 21–29 October 2010, Viña del Mar, Chile. <https://www.sprfmo.int/assets/Meetings/Meetings-before-2013/Scientific-Working-Group/SWG-09-2010/c8a2016250/9th-SWG-Report-Final-Adopted-28Oct2010-corrected.pdf>
- SPRFMO (2015). Roadmap for the Scientific Committee. SPRFMO COMM-03 (2015) ANNEX C. <https://www.sprfmo.int/assets/Meetings/01-COMM/3rd-Commission-2015-COMM3/Final-reports/Annex-C-COMM-03-2015-Roadmap-for-the-Scientific-Committee.pdf>
- SPRFMO. (2014). Information describing Chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*) fisheries relating to the South Pacific Regional Fishery Management Organisation. Report from SC-01-23. <https://www.sprfmo.int/assets/Meetings/Archived-Meetings/Meetings-2013-plus/SC-Meetings/1st-SC-Meeting-2013/SC-01-23-Revisions-to-Jack-Mackere-species-profile-a-v2.pdf>
- SPRFMO. (2023). Report on SPRFMO Management Strategy Evaluation Workshop for Jack Mackerel, Manta, Ecuador. https://www.sprfmo.int/assets/Meetings/SC_WS/MSE-Workshops/G13-2023-att-Jack-Mackerel-MSE-Workshop-Report.pdf
- SPRFMO. (2023). Conditioning of operating models and exploratory evaluation of candidate management procedures for SPRFMO jack mackerel. 11 th MEETING OF THE SCIENTIFIC COMMITTEE. <https://www.sprfmo.int/assets/Meetings/02-SC/11th-SC-2023/Jack-Mackerel/SC11-JM16-JMWG-Conditioning-of-OMs-and-exploratory-evaluation-of-candidate-management-procedures-for-SPRFMO-JM.pdf>
- SPRFMO. (2023). Jack Mackerel MSE Workshop – REPORT. https://www.sprfmo.int/assets/Meetings/SC_WS/MSE-Workshops/G13-2023-att-Jack-Mackerel-MSE-Workshop-Report.pdf
- SPRFMO. (2024). Report on SPRFMO Management Strategy Evaluation Workshop for Jack Mackerel, Manta, Ecuador. https://www.sprfmo.int/assets/Meetings/SC_WS/MSE-Workshops/SPRFMO-Report-for-MSE-workshop-2024-COMM12.pdf
- Susini I. y V. Told. (2021). Predictive capacity of Ecopath with Ecosim: Model performance and ecological indicators' response to imprecision. *Environmental Modelling & Software*. Volume 143, September 2021, 105098. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105098>
- Wiff, R., Flores, A., Neira, S., Caneco, B., (2018). Estimating steepness of the stock-recruitment relationship in Chilean fish stocks using meta-analysis. *Fish. Res.* 200, 61–67.
- Winker, H., Carvalho, F., Kapur, M., 2018. JABBA: Just Another Bayesian Biomass Assessment. *Fish. Res.* 204, 275–288. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2018.03.010>
- Zahner, J. A., & Branch, T. A. (2024). Management strategy evaluation of harvest control rules for Pacific Herring in Prince William Sound, Alaska. *ICES Journal of Marine Science*, 81(2), 317–333.
- Zenteno J. e I. Payá. (2023). Effort Creep in the JM south central fleet in Chile. SC11 – JM06_rev1. Instituto de Fomento Pesquero. https://www.sprfmo.int/assets/Meetings/02-SC/11th-SC-2023/Jack-Mackerel/SC11-JM06_rev1-CHL-Effort-Creep-in-the-JM-south-central-fleet-in-Chile.pdf

Glosario de Términos

- **Condicionamiento**

Proceso de ajuste de un modelo operativo mediante el uso de datos empíricos de una pesquería para asegurar que las simulaciones reflejan de manera adecuada las características y la dinámica del sistema real.

- **Cambios de Régimen**

Alteraciones significativas y persistentes en el ecosistema marino o en la dinámica de una población, provocados por factores naturales o humanos. Estos cambios pueden afectar la escala de los reclutamientos, la biología de los recursos y el éxito de las estrategias de manejo a largo plazo.

- **Desk MSE**

Evaluación preliminar y simplificada de estrategias de manejo, desarrollada con supuestos básicos y datos resumidos. Se utiliza principalmente con fines exploratorios, de capacitación o para apoyar la discusión con los actores, permitiendo ilustrar el funcionamiento de distintas RCC sin requerir la complejidad de una MSE completa.

- **Error de Estimación**

Desviación entre los valores reales y los valores estimados de una población o de un recurso. Resulta de la imperfección en el modelo o en los datos usados para la estimación y puede afectar la toma de decisiones de manejo.

- **Error de Implementación**

Desviación entre las medidas de manejo propuestas (e.g., cuotas de captura) y su aplicación real. Puede ser resultado de dificultades logísticas, cumplimiento incompleto o errores en la interpretación de las regulaciones.

- **Error de Observación**

Desviación que ocurre debido a limitaciones en la recolección de datos, como imprecisiones en el muestreo o en los instrumentos de medición. Estos errores deben ser considerados al realizar evaluaciones de stock.

- **Error de proceso**

Variabilidad natural de los procesos y tasas demográficas subyacentes, como la variación en el reclutamiento respecto del valor esperado de la relación stock-recluta, la mortalidad natural o la selectividad a la edad.

- **Estrategia de manejo**

Se refiere al conjunto de principios, lineamientos y objetivos generales que orientan el manejo de una pesquería en el largo plazo y responde a qué se quiere lograr. Por ejemplo: “La estrategia de manejo de la pesquería de jurel busca mantener la biomasa desovante sobre B_{MSY} , asegurar estabilidad interanual de las capturas y promover la sustentabilidad socioeconómica de las comunidades pesqueras.”

- **Fuentes de Incertidumbre**

Factores desconocidos que afectan la capacidad de predecir el comportamiento de una pesquería o el efecto de las medidas de manejo. Ejemplos incluyen cambios de escala sobre la mortalidad natural, cambios en el régimen de los reclutamientos o la tasa de crecimiento de las especies.

- **Full EEM (Evaluación Completa de Estrategia de Manejo)**

Evaluación exhaustiva de una estrategia de manejo mediante simulaciones detalladas del sistema de pesquería bajo diversas condiciones de incertidumbre y variabilidad. Proporciona una evaluación más completa del desempeño de las estrategias propuestas, incluyendo el proceso de colecta de datos y ajuste de modelos de evaluación poblacional.

- **Modelo de Estimación (o de evaluación de stock)**

Modelo utilizado para estimar el estado del recurso (e.g., biomasa o esfuerzo) basado en datos recolectados, como capturas o datos de esfuerzo, que luego informa las decisiones de manejo.

- **Modelo Operativo (OM)**

Es un modelo que representa de manera simplificada la dinámica de una pesquería, incluyendo aspectos biológicos, ecológicos, y de explotación. Se usa para simular el comportamiento del sistema bajo diferentes escenarios y para evaluar el desempeño de estrategias de manejo.

- **Procedimiento de Manejo (MP)**

Se refiere al conjunto de reglas operativas, métodos y acciones concretas que se aplican para alcanzar los objetivos definidos en la estrategia, y responde a cómo se implementa la estrategia en la práctica. Por ejemplo: “Si la biomasa desovante estimada es mayor a B_{MSY} , se aplica la mortalidad por pesca de referencia F_{MSY} y se calcula la cuota correspondiente; si es menor a B_{MSY} , la mortalidad por pesca de referencia F_{MSY} se ajusta proporcional al ratio B/B_{MSY} mediante una regla tipo rampa.”

- **Regla de Control de Captura (RCC)**

Es un protocolo que define cómo ajustar los niveles de captura en función de indicadores del estado del recurso, como la biomasa o el esfuerzo pesquero. Su objetivo es mantener la sostenibilidad del recurso ajustando la presión pesquera según cambios en la población.

- **Shortcut EEM (Evaluación Simplificada de Estrategia de Manejo)**

Es una versión simplificada de una Evaluación de Estrategia de Manejo (EEM) que permite evaluar de manera rápida el desempeño de un procedimiento de manejo sin realizar simulaciones exhaustivas de modelos de evaluación poblacional.

10. Anexos

Anexo 1: Reuniones

a) Reunión de coordinación inicial

Acta de la reunión inicial de coordinación del proyecto FIPA 2024-27: Diseño e implementación de Estrategias de Manejo utilizando plataforma OpenMSE, en la pesquería de Jurel.

Con fecha 17 de enero de 2025, a las 10:00 am, se da inicio, mediante videoconferencia, a la reunión de coordinación del proyecto FIPA 2024-27.

Participantes:

- | | |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| - Malú Zavando Benítez (FIPA) | - Luciano Espinoza (SUBPESCA) |
| - Nicole Mermoud Aldea (SUBPESCA) | - Cristian Canales Ramírez (PUCV) |
| - Silvia Hernández (SUBPESCA) | - Nazareth Sánchez Espinoza (PUCV) |

Presentación del proyecto: El Dr. Cristian Canales, jefe de proyecto, presentó el plan de trabajo, las actividades y las metodologías a desarrollar durante el proyecto ([Anexo 1](#)). Además, explicó el enfoque metodológico correspondiente a cada uno de los objetivos contemplados en el estudio:

Objetivo 1: Recopilar, priorizar y evaluar explícitamente los intereses del sector pesquero nacional y órganos asesores involucrados, para el desarrollo de herramientas de Evaluación de Estrategias de Manejo.

El Dr. Cristian Canales explicó que el desarrollo de este objetivo contempla principalmente la realización de tres talleres de inducción con los distintos actores del sector, como el Comité de Manejo, el Comité Científico, investigadores, administradores, entre otros. El propósito de estas instancias de trabajo es alcanzar consensos sobre los principales insumos necesarios para la evaluación de estrategias de manejo. El primer taller, programado para marzo, estará enfocado en identificar las necesidades del sector, los objetivos operacionales y estratégicos de las partes interesadas, así como las variables de desempeño asociadas. El segundo taller, que se llevará a cabo en mayo, tendrá como objetivo identificar las principales fuentes de incertidumbre en los distintos ámbitos de la pesquería. Por su parte, el tercer taller se realizará en junio y estará orientado a identificar procedimientos estratégicos alternativos de manejo.

Para facilitar el acuerdo entre las distintas partes, antes de cada taller se aplicará una encuesta on-line con el objetivo de que los participantes puedan expresar sus prioridades. Asimismo, se destacó que los talleres estarán dirigidos por el profesional Jorge Quezada, un experto en la moderación de talleres técnicos, quien ya lideró los talleres en el proyecto de evaluación de estrategias de manejo de la pesquería de almeja.

Respecto a los talleres, el Dr. Cristian Canales señaló que en la propuesta se planteó llevar a cabo las actividades en Viña del Mar o Valparaíso, y en modalidad presencial/híbrida, con el objetivo de garantizar una mayor convocatoria, considerando que los participantes provienen de distintas regiones del país. Asimismo, consultó quienes son los representantes del sector artesanal, dado que su participación es importante en estas instancias.

Acuerdos y/o sugerencias: Por parte de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA), Nicole Mermound sugirió aprovechar las sesiones del Comité de Manejo para realizar los talleres de inducción, los cuales habitualmente se llevan a cabo en Santiago. En respuesta a la consulta realizada por el jefe de proyecto, se indicó que el Comité de Manejo incluye a los representantes del sector artesanal, tanto titulares como suplentes.

Objetivo 2: Identificar, representar y evaluar explícitamente escenarios estratégicos alternativos de interés sectorial, fortaleciendo la posición nacional en el marco de la OROP-PS.

El jefe de proyecto explicó que, en este objetivo, se definirán y construirán los modelos operativos a partir de los resultados obtenidos en los talleres y de los avances alcanzados por los grupos de trabajo de la OROP-PS. Señaló que dichos grupos se han enfocado en proponer diversas opciones experimentales para los modelos operativos y procedimientos de manejo, representando ciertas estrategias que consideran, en diferentes medidas, la estructura espacial del jurel. Al respecto, consultó si este proyecto tiene como objetivo replicar y validar lo ya desarrollado en la OROP-PS o enfocarse en los procedimientos de manejo que serán propuestos por el sector en los talleres de inducción.

Acuerdos y/o sugerencias: La coordinadora de la Unidad de Pesquerías Pelágicas, Silvia Hernández, aclaró que el propósito principal del proyecto es fortalecer la posición institucional mediante procedimientos de manejo adicionales a las propuestos por la OROP-PS. En este sentido, destacó la importancia de recoger la percepción del sector, asegurando que los diferentes actores se sientan representados en los procedimientos de manejo que serán evaluados. Por otra parte, indicó que las propuestas realizadas por OROP-PS solo deben ser revisadas y verificadas.

Objetivo 3: Implementar modelo(s) operativo(s) alternativo(s) incorporando las fuentes de incertidumbre identificadas en el marco de la OROP-PS y aquellos de interés nacional, a través de la plataforma de OpenMSE.

El Dr. Cristian Canales señaló que la implementación de los modelos operativos en la plataforma openMSE se iniciará durante el taller técnico programado para agosto, el cual contará con la participación de la experta internacional Dra. Robyn Forrest. La actividad se realizará en modalidad presencial y reunirá a los sectorialistas de la SUBPESCA vinculados a la OROP-PS, además de los profesionales de pesquerías pelágicas de IFOP. Al respecto, el jefe de proyecto destacó la importancia de involucrar a IFOP en estas instancias, ya que todo el trabajo desarrollado en el marco de este proyecto será transferido a dicha institución para su posterior administración.

Acuerdos y/o sugerencias: Nicole Mermound señaló que la posición institucional de la SUBPESCA es fortalecer las competencias en el uso de la plataforma openMSE. Por lo tanto, enfatizó que todo lo desarrollado en este proyecto debe realizarse a través de esta herramienta. En este contexto, preguntó si el equipo de trabajo había considerado la posibilidad de contratar, en caso de ser necesario, un grupo externo con mayor experiencia, como el equipo de Bluematter, para apoyar en el manejo de la plataforma. El jefe de proyecto indicó que la Dra. Robyn Forrest tiene amplia experiencia en el uso de openMSE. Además, señaló que los profesionales de IFOP, quienes forman parte del equipo del proyecto, han recibido capacitación sobre esta herramienta. Sin embargo, aclaró que, de ser necesario, está contemplada la opción de contratar a un equipo externo con mayor experiencia en el uso de la plataforma.

Objetivo 4: Testear la robustez de estrategias de manejo alternativas a la actualmente vigente, utilizando Procedimientos de Manejo empíricos y modelo-basado para la pesquería del jurel.

El jefe de proyecto indicó cuatro etapas clave para evaluar la robustez de las estrategias de manejo: (i) identificación de estadísticos de desempeño de variables seleccionadas, (ii) compilación de los resultados obtenidos, (iii) generación de tablas y gráficos para una mejor visualización de los datos, y (iv) elaboración de un resumen con los indicadores principales. Por otra parte, se destacó la importancia de investigar con mayor profundidad los antecedentes de la pesquería para analizar de qué forma podrían diseñarse procedimientos de manejo empíricos.

Objetivo 5: Evaluar la efectividad de los procedimientos de manejo desarrollados, para alcanzar los objetivos de manejo establecidos en el marco legal vigente (LGPA), los tratados internacionales vinculantes (e.g. OCDE, OROP-PS u otros) y órganos asesores respectivos.

El Dr. Cristian Canales señaló que los resultados obtenidos en este objetivo estarán directamente vinculados con el consenso que se alcance durante el primer taller de inducción, el cual tiene como objetivo identificar las necesidades del sector, los objetivos operacionales y estratégicos de las partes interesadas, así como las variables de desempeño asociadas. Además, destacó que el equipo de trabajo cuenta con una amplia experiencia, lo que les permitirá representar de manera clara y precisa los resultados de la evaluación de estrategias de manejo, asegurando que estos sean comprensibles y útiles para la toma de decisiones.

Acuerdos y/o sugerencias: Nicole Mermound señaló que, dado que los talleres contarán con la participación de distintos representantes del sector, es fundamental implementar un método que permita alcanzar los objetivos definidos para cada sesión, asegurando que las discusiones se mantengan enfocadas exclusivamente en los temas vinculados con la actividad. Por su parte, el jefe de proyecto indicó que, a través de las reuniones mensuales contempladas con los profesionales de la SUBPESCA, es posible planificar de manera efectiva las actividades del taller, garantizando que se cumplan los objetivos establecidos.

Objetivo 6: Fortalecer el desarrollo de capacidades internas para el alcance de compromisos nacionales asociados a EEM en el marco de la OROP-PS.

El jefe de proyecto explicó que este objetivo se llevará a cabo a través de las siguientes actividades: (i) reuniones mensuales para la transferencia de competencias estratégicas con profesionales de la SUBPESCA y delegados de OROP-PS, (ii) reuniones para la transferencia de competencias específicas a CM, CTT y a las partes interesadas, (iii) elaboración de working paper para su presentación en SWG de la OROP-PS, y (iv) la creación de una plataforma de difusión, como por ejemplo sitios de Google.

Acuerdos y/o sugerencias: Silvia Hernández indicó que es un proyecto estratégico, el cual tiene como objetivo evaluar procedimientos de manejo adicionales a los propuestos por la OROP-PS. Por lo tanto, recomienda analizar la pertinencia en la creación de una plataforma de difusión a medida que avance el desarrollo del proyecto.

Otros acuerdos y/o sugerencias: Malú Zavando, representante del FIPA, solicitó al jefe de proyecto responder, a través de una carta formal, las observaciones realizadas a la propuesta técnica.

b) Reunión de coordinación según hito de avance

Acta de reunión de coordinación según hito de avance del proyecto FIPA 2024-27: Diseño e implementación de Estrategias de Manejo utilizando plataforma OpenMSE, en la pesquería de Jurel.

Con fecha 17 de marzo de 2025, a las 11:30 am, se da inicio, mediante videoconferencia, a la primera reunión de coordinación según hito de avance del proyecto FIPA 2024-27.

Participantes:

- | | |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| - Malú Zavando Benítez (FIPA) | - Cristian Canales Ramírez (PUCV) |
| - Nicole Mermoud Aldea (SUBPESCA) | - Juan Carlos Quiroz Espinosa (PUCV) |
| - Silvia Hernández (SUBPESCA) | - Nazareth Sánchez Espinoza (PUCV) |
| - Luciano Espinoza (SUBPESCA) | |

La reunión tuvo como objetivo revisar la encuesta on-line elaborada por el equipo del proyecto, cuyo propósito es recopilar la opinión de los actores del sector en relación con los objetivos operacionales y variables de desempeño. Esta revisión se realizó previo a su distribución y a la realización del primer taller de inducción con el Comité de Manejo. Asimismo, se abordaron aspectos técnicos y logísticos asociados a dicha actividad.

Principales observaciones y acuerdos adoptados:

- Con el fin de mejorar la precisión de la información recopilada, se acordó eliminar la categoría “usuario de la pesquería” en la sección de identificación y reemplazarla por opciones diferenciadas para el sector artesanal e industrial.
- Eliminar del listado de objetivos “Evitar que la biomasa disminuya entre años”, dado que tiende a generar confusión con los otros objetivos consultados, como el relacionado con el factor de estabilización de las capturas.
- Respecto a la pregunta ¿qué rango de capturas anuales considera adecuado?, se debe especificar que se está consultando por el rango de capturas anuales totales, dado que el sector artesanal maneja principalmente valores regionales.
- La encuesta será enviada por la SUBPESCA, y se otorgará plazo a los integrantes del Comité de Manejo para responder hasta el jueves 20 de marzo, con el fin de contar con los insumos antes del primer taller de inducción, en el cual se presentarán los resultados para su ratificación y discusión.
- Consultar si los usuarios están de acuerdo con la implementación del sistema de Banking & Borrowing para la pesquería, con el fin de que sea considerado en el diseño de los procedimientos de manejo en etapas posteriores.
- Con fines de planificación, el equipo del proyecto elaborará una propuesta de agenda para las reuniones con la SUBPESCA, según lo establecido en las bases y en la propuesta técnica.

c) Reunión mensual

Acta de reunión mensual del proyecto FIPA 2024-27: Diseño e implementación de Estrategias de Manejo utilizando plataforma OpenMSE, en la pesquería de Jurel.

Con fecha 20 de mayo de 2025, a las 15:00 pm, se da inicio, mediante videoconferencia, a la reunión mensual del proyecto FIPA 2024-27.

Participantes:

- Cristian Canales Ramírez (PUCV)
- Juan Carlos Quiroz Espinosa (PUCV)
- Nazareth Sánchez Espinoza (PUCV)
- Luciano Espinoza (SUBPESCA)
- Mauro Urbina (SUBPESCA)

La reunión tuvo como objetivo discutir los avances del proyecto hasta la fecha y aspectos técnicos sobre el segundo taller de inducción con el Comité de Manejo planificado para el 24 de junio de 2025, el cual está orientado a la definición de Procedimientos de Manejo.

Principales observaciones y acuerdos adoptados:

- Para asegurar que los talleres de inducción se mantengan focalizados en sus objetivos principales, no se extenderá la invitación a los miembros del Comité Científico. No obstante, dado que su opinión es relevante para el desarrollo del proyecto, se solicitará su participación a través de encuestas. Adicionalmente, el equipo del proyecto manifestó su disposición a presentar los resultados que se vayan obteniendo en sesiones del Comité Científico, con el propósito de recoger observaciones y sugerencias.
- Se confirmará en los próximos días, la posibilidad de participación del equipo del proyecto en la próxima sesión del Comité Científico, para que puedan exponer el objetivo y los alcances del proyecto.
- Se comprometió enviar la segunda encuesta técnica, orientada a la definición de Procedimientos de Manejo, para la revisión y aprobación de la SUBPESCA, para su posterior distribución.

d) Reunión de coordinación para revisión de informes sancionados del proyecto

Acta de reunión de coordinación para revisión de informes sancionados del proyecto FIPA 2024-27: Diseño e implementación de Estrategias de Manejo utilizando plataforma OpenMSE, en la pesquería de Jurel.

Con fecha 12 de junio de 2025, a las 10:00 am, se da inicio, mediante videoconferencia, a la reunión de coordinación para revisión de informes sancionados del proyecto FIPA 2024-27.

Participantes:

- | | |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| - Nicole Mermoud Aldea (SUBPESCA) | - Cristian Canales Ramírez (PUCV) |
| - Luciano Espinoza (SUBPESCA) | - Juan Carlos Quiroz Espinosa (PUCV) |
| - Mauro Urbina (SUBPESCA) | - Nazareth Sánchez Espinoza (PUCV) |

La reunión tuvo como propósito revisar las observaciones del primer informe de avance del proyecto, evaluar los progresos en la implementación de la plataforma OpenMSE y revisar la segunda encuesta de opinión técnica.

Principales observaciones y acuerdos adoptados:

- Por parte de la SUBPESCA no se añadieron observaciones adicionales a las ya señaladas en la carta N°59.
- Juan Carlos Quiroz informó sobre los avances en la implementación de la plataforma OpenMSE y el trabajo previo desarrollado para el taller técnico, en el cual se espera que la experta internacional Robyn Forrest revise los códigos y las salidas de los procedimientos de manejo evaluados. Hasta la fecha se ha probado el PM por defecto de OpenMSE y se proyecta analizar los PM propuestos en el taller, motivo por el cual el Taller 2 de inducción fue reorientado hacia procedimientos de manejo en lugar de fuentes de incertidumbre, con el fin de avanzar en su análisis.
- Tras la realización del taller técnico con la experta Robyn Forrest, se espera contar hacia fines de agosto con resultados más robustos.
- La SUBPESCA indicó que enviará las observaciones de la segunda encuesta la próxima semana, para su posterior difusión.

e) Reunión Mensual

Acta de reunión mensual del proyecto FIPA 2024-27: Diseño e implementación de Estrategias de Manejo utilizando plataforma OpenMSE, en la pesquería de Jurel.

Con fecha 23 de julio de 2025, a las 12:00 pm, se da inicio, mediante videoconferencia, a la reunión mensual del proyecto FIPA 2024-27.

Participantes:

- Juan Carlos Quiroz Espinosa (PUCV)
- Nazareth Sánchez Espinoza (PUCV)
- Luciano Espinoza (SUBPESCA)

La reunión tuvo como objetivo revisar los aspectos técnicos y logísticos relacionados con el tercer taller de inducción con el Comité de Manejo, orientado a la identificación de fuentes de incertidumbre.

Principales observaciones y acuerdos adoptados:

- Dada la baja participación registrada en las encuestas y en el segundo taller de inducción, se acordó presentar los resultados obtenidos y consensuados hasta la fecha para su revisión, así como para recoger observaciones y sugerencias de los otros actores que no han participado, con el fin de alcanzar un consenso más amplio.
- Se resolvió no aplicar una encuesta previa al tercer taller de inducción, considerando que la identificación de fuentes de incertidumbre requiere una explicación técnica previa para asegurar respuestas pertinentes y útiles a los análisis, además de la baja participación evidenciada en encuestas anteriores.
- Se informó que el jefe de proyecto, Dr. Cristian Canales, no podrá asistir al tercer taller. No obstante, se acordó que los aspectos técnicos y las consultas que surjan durante la discusión serán atendidos por el equipo del proyecto, representado por Juan Carlos Quiroz y Nazareth Sánchez.

f) Reunión Mensual

Acta de reunión mensual del proyecto FIPA 2024-27: Diseño e implementación de Estrategias de Manejo utilizando plataforma OpenMSE, en la pesquería de Jurel.

Con fecha 26 de septiembre de 2025, a las 12:30 pm, se da inicio, mediante videoconferencia, a la reunión mensual del proyecto FIPA 2024-27.

Participantes:

- | | |
|-------------------------------|--------------------------------------|
| - Lilian Troncoso (SUBPESCA) | - Cristian Canales Ramírez (PUCV) |
| - Luciano Espinoza (SUBPESCA) | - Juan Carlos Quiroz Espinoza (PUCV) |
| - Daniela Bolbarán (SUBPESCA) | - Nazareth Sánchez Espinoza (PUCV) |
| - Malú Zavando (SUBPESCA) | - Ignacio Payá (IFOP) |

La reunión tuvo como propósito discutir sobre el taller de implementación realizado con la experta internacional Dra. Robyn Forrest. Asimismo, dado que la reunión de agosto, correspondiente a la coordinación según hito de avance del proyecto, no pudo efectuarse por la limitada disponibilidad de los profesionales de SUBPESCA en el marco de la 13ª reunión del Comité Científico de la SPRFMO, se aprovechó esta instancia para comunicar los resultados reportados en el segundo informe de avance.

Principales observaciones y acuerdos adoptados:

- SUBPESCA solicitó la organización de un taller presencial complementario con la finalidad de propiciar un espacio de diálogo participativo en concordancia con los principales aspectos que se están abordando en el proyecto. Esta solicitud se fundamenta en que dicho espacio de interacción se preveía originalmente para el taller de implementación con la Dra. Robyn Forrest.
- El jefe de proyecto destacó que el taller se realizó de manera presencial, con la única excepción de la participación telemática de la Dra. Robyn Forrest. Precisó que la sesión se centró exclusivamente en la codificación para la implementación de la plataforma OpenMSE, en línea con uno de los objetivos del proyecto: fortalecer la autonomía de los profesionales de IFOP en la aplicación de este método para evaluaciones futuras. Asimismo, indicó que los PM a evaluar ya habían sido acordados previamente en los talleres desarrollados con el Comité de Manejo.
- En atención a la solicitud de SUBPESCA de realizar un taller presencial complementario, el Dr. Canales se comprometió a coordinar internamente con el equipo del proyecto y a proponer fechas posibles para su ejecución.
- Considerando que el taller adicional solicitado por la SUBPESCA no estaba contemplado en la planificación del proyecto y atendida la dificultad de coordinar una fecha durante el último trimestre del año, se acordó evaluar la posibilidad de solicitar un aplazamiento de uno a dos meses en la entrega del informe prefinal, a fin de contar con el tiempo necesario para su adecuada programación y ejecución.
- Se solicitó que todos los acuerdos adoptados entre el equipo del proyecto y la SUBPESCA sean informados al FIPA.

g) Reunión Mensual

Acta de reunión mensual del proyecto FIPA 2024-27: Diseño e implementación de Estrategias de Manejo utilizando plataforma OpenMSE, en la pesquería de Jurel.

Con fecha 21 de octubre de 2025, a las 10:00 am, se da inicio, mediante videoconferencia, a la reunión mensual del proyecto FIPA 2024-27.

Participantes:

- | | |
|-------------------------------|--------------------------------------|
| - Luciano Espinoza (SUBPESCA) | - Cristian Canales Ramírez (PUCV) |
| - Daniela Bolbarán (SUBPESCA) | - Juan Carlos Quiroz Espinoza (PUCV) |
| - Malú Zavando (SUBPESCA) | - Nazareth Sánchez Espinoza (PUCV) |

La reunión tuvo como objetivo discutir los avances del proyecto a la fecha, específicamente en relación con las Reglas de Control de Captura (RCC), Procedimientos de Manejo (PM) y análisis complementarios.

Principales observaciones y acuerdos adoptados:

- El Dr. Cristian Canales expuso las 4 RCC que se encuentran actualmente en evaluación. Destacó que, considerando el tiempo que requiere este tipo de análisis, se optó por descartar aquellas alternativas cuya implementación no es factible, concentrando los esfuerzos en opciones realistas y operativamente viables. En particular, se excluyó la regla tipo escalera, ya que implica cambios abruptos que no se ajustan a las preferencias de los usuarios. Asimismo, se descartó la regla que contempla el cierre total de la pesquería, al no representar una opción viable para los usuarios.
- Considerando que las bases técnicas también solicitan la evaluación de PM empíricos, se explicó que se analizó la CPUE de la flota centro-sur de Chile y la biomasa acústica registrada en la zona norte. Se identificó que la biomasa de los cruceros durante el periodo 2006-2024 presenta el mayor grado de correlación, explicando el 93% de la variabilidad de la biomasa desovante.
- Se destacó que, además de la EEM implementada en la plataforma openMSE, se está realizando un EEM clásico con el propósito de fortalecer la robustez y confiabilidad de los resultados. Para ello, se implementó un modelo de evaluación alternativo al JJM, diseñado para replicar de forma aproximada los resultados del modelo original, el cual es de gran escala y de muy lenta convergencia. Las variables poblacionales estimadas resultaron ser muy similares a las informadas por la OROP-PS, por lo que este modelo se considera apropiado para su implementación en un full-EEM.
- Se explicaron los 9 PM que se están considerando actualmente, los cuales responden a distintas combinaciones entre las RCC, consideración de Banking-Borrowing y bandas de estabilización de las capturas. A solicitud de Luciano Espinoza, el jefe de proyecto se comprometió a enviar un documento con la descripción de estos PM, para que fueran revisados y discutidos por los profesionales de la SUBPESCA, y así obtener una retroalimentación en un plazo de dos semanas.
- Se señaló que la fecha tentativa para la realización del taller complementario sería a mediados de enero. Asimismo, el jefe de proyecto indicó que formalizará la solicitud de extensión de plazo en los próximos días.

Anexo 2: Objetivo específico 1

a) Primera encuesta de opinión técnica



Proyecto FIPA 2024-27: Diseño e implementación de estrategias de manejo utilizando plataforma openMSE, en la pesquería de jurel.

Esta encuesta, de carácter anónimo, busca identificar las prioridades y expectativas de los distintos actores de la pesquería del jurel en relación con su manejo.

* Indica que la pregunta es obligatoria

¿En cuál(es) área(s) se identifica usted? *

- ☐ Usuario de la pesquería sector artesanal
- ☐ Usuario de la pesquería sector industrial
- ☐ Miembro del Comité de Manejo de jurel
- ☐ Miembro del Comité Científico Técnico de jurel
- ☐ Delegación chilena en la OROP-PS
- ☐ Administrador
- ☐ Científico y/o académico
- ☐ Otros: _____

De los siguientes objetivos ¿Cuáles cree usted que son los más importantes para el manejo de pesquería?

	Muy importante	Importante	Poco importante
Maximizar las capturas	☐	☐	☐
Minimizar el número de viajes	☐	☐	☐
Evitar grandes cambios en las capturas de un año a otro (factor de estabilización)	☐	☐	☐
Evitar episodios de sobrepesca (mortalidad por pesca excesiva)	☐	☐	☐
Evitar episodios de sobreexplotación (biomasa por debajo del objetivo)	☐	☐	☐
Maximizar la biomasa poblacional	☐	☐	☐
En caso de sobreexplotación, obtener una rápida recuperación del recurso	☐	☐	☐
Que la captura esté compuesta principalmente por ejemplares de mayor tamaño	☐	☐	☐
Completar la Cuota Global de captura Anual de Chile	☐	☐	☐

¿Qué porcentaje de variación en las capturas entre años considera adecuado? (e.j. un 15% de aumento y disminución).

Tu respuesta _____

¿Qué rango de capturas anuales totales considera adecuado? Indique el valor mínimo y máximo en mil t/año.

Tu respuesta _____

Respecto de la cuota nacional anual asignada por la OROP, ¿qué porcentaje mínimo de captura debería ser alcanzado?

Tu respuesta _____

Además de los objetivos mencionado anteriormente ¿tiene algún otro objetivo o expectativa en la pesquería?. Si es así, por favor especifíquelo.

Tu respuesta _____

Enviar [Borrar formulario](#)

b) Segunda encuesta de opinión técnica

Proyecto FIPA 2024-27: Diseño e implementación de estrategias de manejo utilizando plataforma openMSE, en la pesquería de jurel.

Esta encuesta, de carácter anónimo, tiene como objetivo identificar insumos clave para el diseño de Procedimientos de Manejo.

Para comprender en mayor profundidad en qué consiste la Evaluación de Estrategias de Manejo, le invitamos a ver el siguiente video: <https://www.pucv.cl/uuaa/escuela-de-ciencias-del-mar/nuevo-video-educativo-explica-como-se-disenan-estrategias-de-manejo>

* Indica que la pregunta es obligatoria

¿En cuál(es) área(s) se identifica usted? *

- ☐ Usuario de la pesquería sector artesanal
- ☐ Usuario de la pesquería sector industrial
- ☐ Miembro del Comité de Manejo de jurel
- ☐ Miembro del Comité Científico Técnico de jurel
- ☐ Delegación chilena en la OROP-PS
- ☐ Administrador
- ☐ Científico y/o académico
- ☐ Otros: _____

En caso que el recurso se encuentre en estado de **plena explotación** (es decir, con la biomasa cercana al nivel objetivo), ¿Cuál considera usted que debería ser el límite máximo de disminución de la cuota total de captura entre un año y otro? *

- ☐ Lo que el estado de biomasa o estado poblacional indique
- ☐ 10%
- ☐ 20%
- ☐ 30%
- ☐ Otros: _____

En caso que el recurso se encuentre en estado de **plena explotación** (es decir, con la biomasa cercana al nivel objetivo), ¿Cuál considera usted que debería ser el límite máximo de aumento de la cuota total de captura entre un año y otro? *

- ☐ Lo que el estado de biomasa o estado poblacional indique
- ☐ 10%
- ☐ 20%
- ☐ 30%
- ☐ Otros: _____

En caso que el recurso llegue al estado de **colapso o agotamiento** (menor a la biomasa límite), ¿cuál de las siguientes medidas de captura considera usted más adecuada? *

- ☐ Lo que la reducción de biomasa o estado poblacional indique
- ☐ Mantener una banda de estabilización acordada (ejemplo: 15%)
- ☐ Establecer una cuota de captura igual a cero (cierre total de la pesquería)
- ☐ Mantener una cuota de captura mínima

Si seleccionó la opción "Mantener una banda de estabilización acordada", por favor indique el porcentaje de disminución que considera adecuado:

Tu respuesta _____

Si seleccionó la opción "mantener una cuota mínima", por favor indique el valor (en toneladas):

Tu respuesta _____

En caso que el recurso llegue al estado de **subexplotación** (es decir, se encuentra abundante por sobre la biomasa de referencia), ¿cuál de las siguientes medidas de captura considera usted más adecuada? *

- ☐ Lo que el aumento de biomasa o estado poblacional indique
- ☐ Mantener una banda de estabilización acordada (ejemplo: 15%)
- ☐ Mantener una cuota de captura máxima

Si seleccionó la opción "Mantener una banda de estabilización acordada", por favor indique el porcentaje de aumento que considera adecuado:

Tu respuesta _____

Si seleccionó la opción "mantener una cuota de captura máxima", por favor indique el valor (en toneladas):

Tu respuesta _____

En caso que el recurso se encuentre en estado de **plena explotación** (es decir, con la biomasa cercana al nivel objetivo) ¿Está usted de acuerdo con implementar el sistema de "Banking and Borrowing"? (Este sistema permite guardar (banking) o adelantar (borrowing) parte de la cuota de un año para utilizarla en otro) *

- ☐ Si
- ☐ No
- ☐ Tal vez
- ☐ Solo banking
- ☐ Solo borrowing
- ☐ Otros: _____

En caso de que se implemente el sistema de "Banking and Borrowing", ¿qué porcentaje de cuota considera usted aceptable aplicar? *

- ☐ 10%
- ☐ 20%
- ☐ Otros: _____

¿Qué aspectos o situaciones limitan o dificultan su actividad en la pesquería?

Tu respuesta _____

¿Qué elemento considera usted relevante incorporar en el diseño de un Procedimiento de Manejo para la pesquería de jurel?

c) Presentación introductoria del primer taller de inducción: objetivos operacionales y variables de desempeño



OFERTA TÉCNICA, PARTE I

Proyecto
FIPA 2024-27
ID:4728-52-1P24

"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIAS DE MANEJO"

UTILIZANDO PLATAFORMA OPENMSE, EN LA PESQUERÍA DE JUREL"

En que consiste una estrategia de manejo pesquero (conjunto de arreglos)

- Que nivel de biomasa es adecuado dejar ?
- Como se estima el estado de la población?
- Como se calcula la cuota de captura?
- Como se distribuye la cuota?
- Como se controla la cuota de captura?

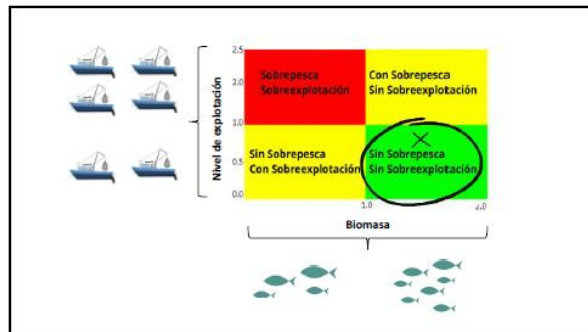
Pregunta clave

¿Existe alguna estrategia de manejo que sea mejor a otras, aún en períodos de "bajas" ?

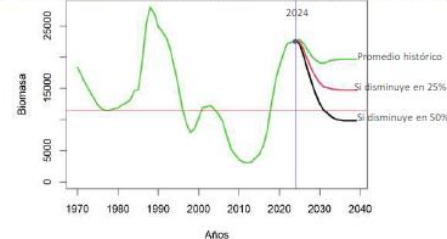
Donde estamos hoy?



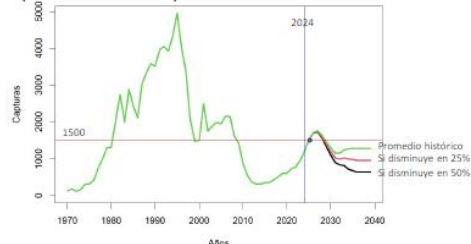
<https://aderezo.mx/>



Proyección de la biomasa considerando la tasa de explotación 2025 y escenario de reclutamientos



Proyección de las capturas considerando la tasa de explotación 2025 y escenario de reclutamientos



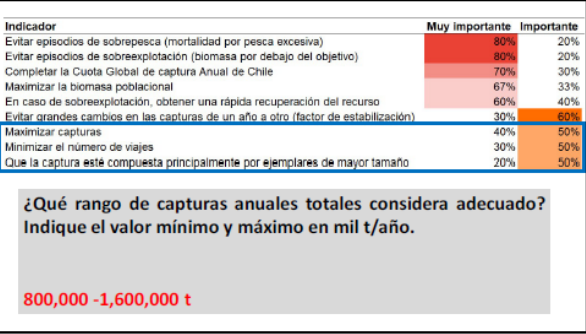
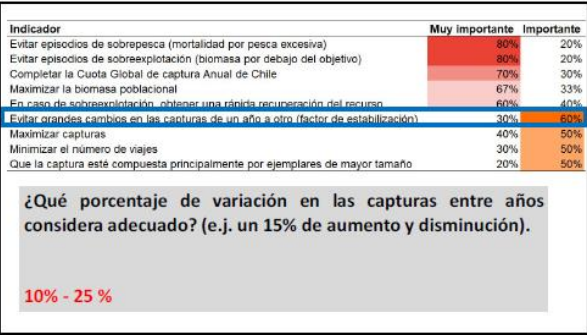
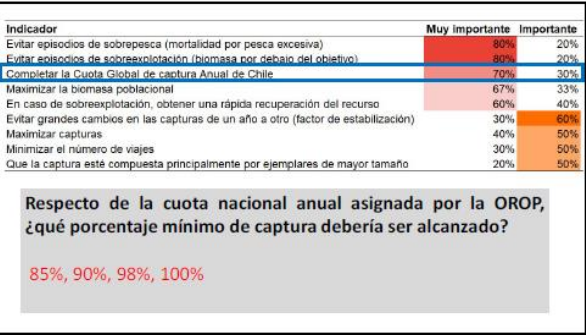
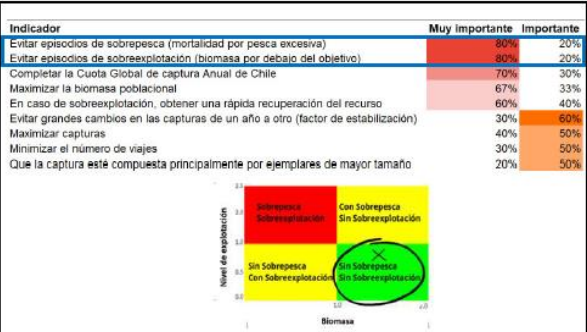
Encuesta?



<https://aderezo.mx/>

Encuesta de opiniones

Que cuestiones deberíamos considerar al seleccionar una determinada estrategia?

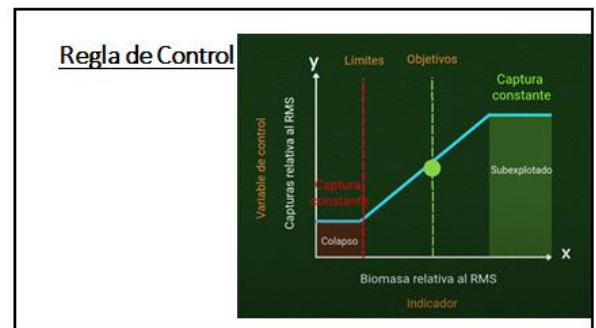
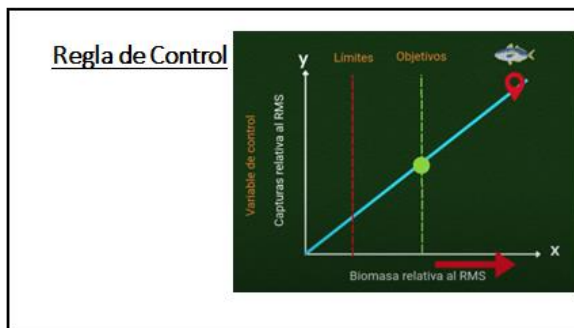
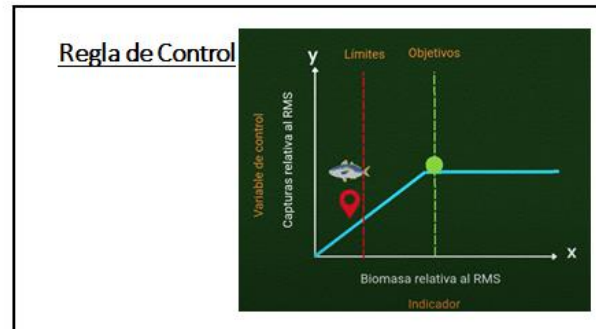
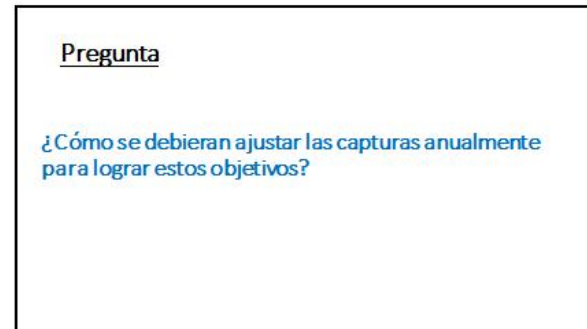
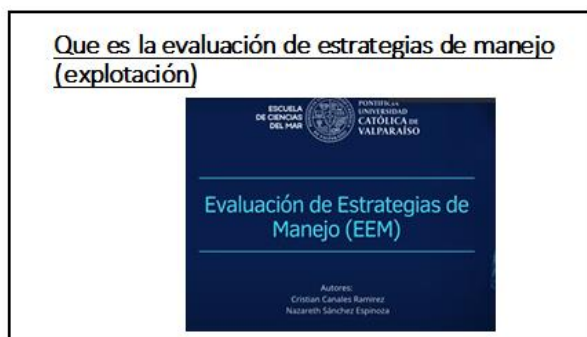


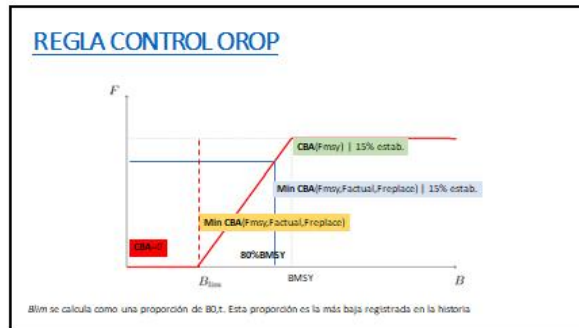
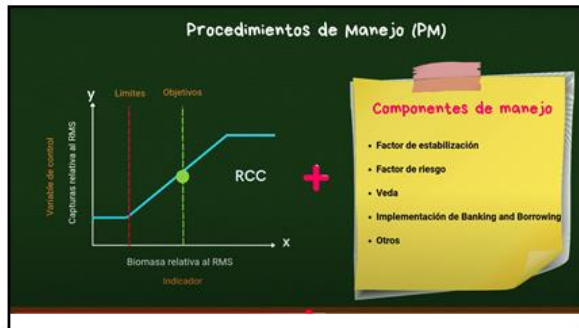
Taller

Que cuestiones deberíamos considerar al seleccionar una determinada estrategia?



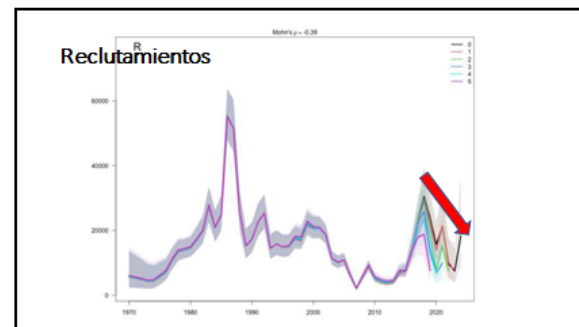
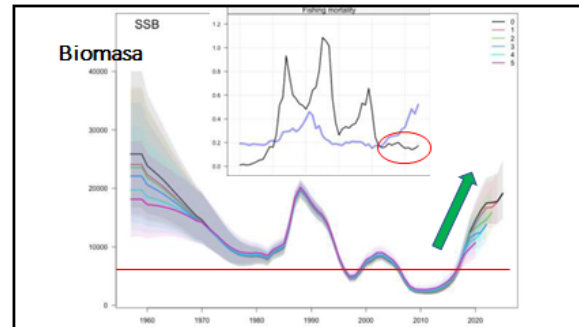
d) Presentación introductoria del segundo taller de inducción: Procedimientos de Manejo





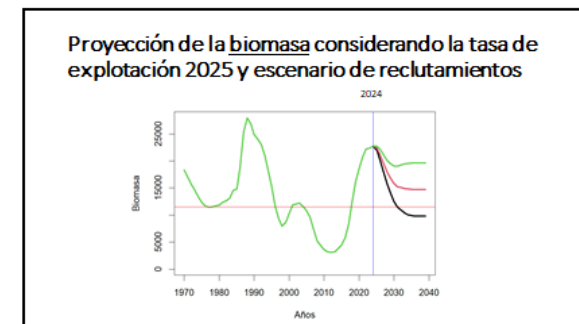
REGLA CONTROL OROP (4 etapas)

Estado	Acción de Captura Biológicamente Aceptable (CBA)
$B < B_{lim}$	Se cierra la pesquería ($CBA=0$). B_{lim} se calcula como una proporción de B_0 . Esta proporción es la más baja registrada
$B < 80\% BMSY$	Mínimo de $CBA(F_{actual})$, $CBA(F_{RMS})$ o $CBA(F_{replac})$. Asegura que la biomasa no disminuya.
$80\% BMSY < B < BMSY$	Mínimo de $CBA(F_{actual})$, $CBA(F_{RMS})$ o $CBA(F_{replac})$. PERO con factor de estabilidad 15% entre años
$B > BMSY$	$CBA(F_{RMS})$ y factor de estabilidad 15% entre años



Resultado parcial de la encuesta

Biomasa/ otro	Acción en la cuota
Recurso cercano a BRMS	Cuotas conforme el estado poblacional, disminuciones anuales $< 10\%$ y aumento máximo 30% (banda simétrica??)
Recurso agotado	Cuotas conforme el estado poblacional, cuota=0 o valor mínimo (100 mil t)
Recurso $>> BRMS$	Mantener (o incrementar) la cuota con banda de estabilización del 10% 25% (evaluar)
Si $B=BRMS$, está de acuerdo con SSB ?	50% / 50%. Solo banking
Que % de cuota debería ser Banking	30%
Otros objetivos	Aprovechar los pulsos de buenos reclutamientos (contradicción con el % de estabilidad?). Coherencia con la OROP. Flexibilidad del factor de estabilización. Revisar supuestos de productividad en la evaluación de stock.



Taller

¿Que cuestiones deberíamos considerar para mejorar la regla de control de la OROP? ¿Qué elementos debería tener esta regla?

e) Presentación introductoria del tercer taller de inducción: Fuentes de incertidumbre





Proyecto FIPA 2024-27

Diseño e implementación de Estrategias de Manejo utilizando plataforma openMSE, en la pesquería de Jurel

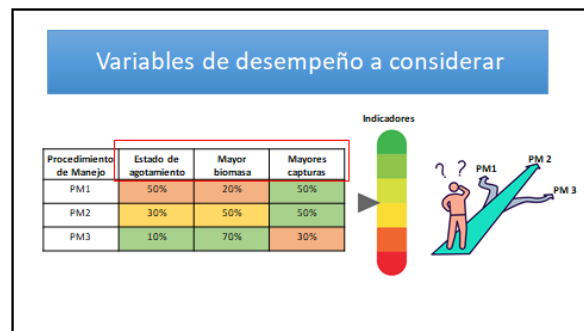
Mediata
SUBSECRETARÍA DE PESCA Y ACUICULTURA
FONDO DE INVESTIGACIÓN PESQUERA Y DE ACUICULTURA

Unidad Ejecutora
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO
ESCUELA DE CIENCIAS DEL MAR



Temas

- 1- Variables de desempeño a considerar
- 2- Procedimiento de manejo a evaluar
- 3- Fuentes de incertidumbre a considerar



Variables de desempeño a considerar

Indicadores poblacionales

1. Reducir probabilidad de sobrepesca (mortalidad por pesca excesiva)
2. Reducir probabilidad de sobreexplotación (biomasa por debajo del objetivo)
3. Maximizar la biomasa poblacional
4. Maximizar probabilidad Kobe verde
5. Reducir probabilidad de agotamiento/colapso
6. Maximizar velocidad de recuperación poblacional

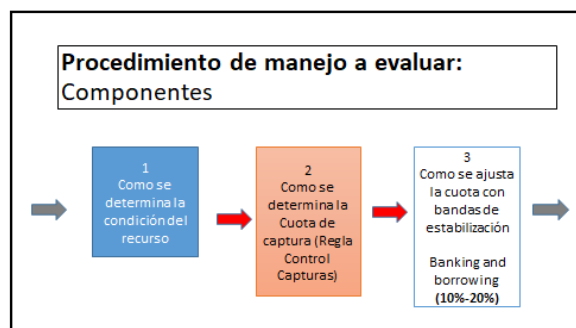
¿Alguna otra que considerar?

Variables de desempeño a considerar

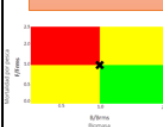
Indicadores pesqueros

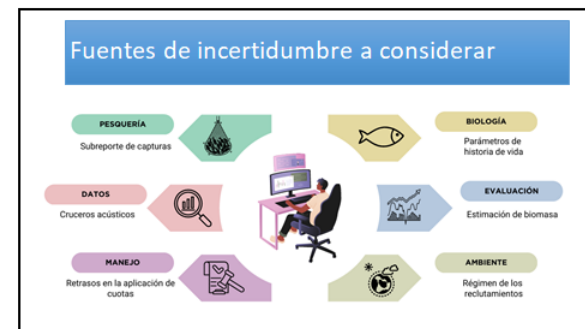
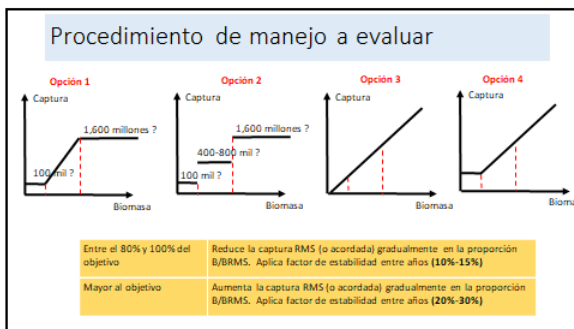
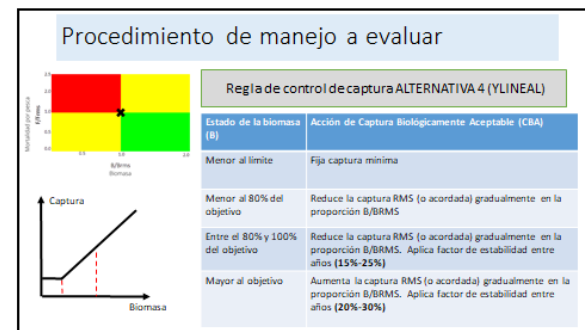
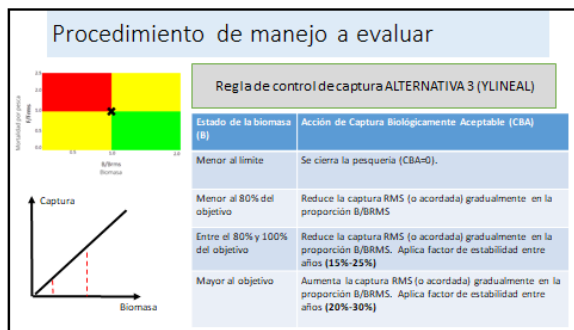
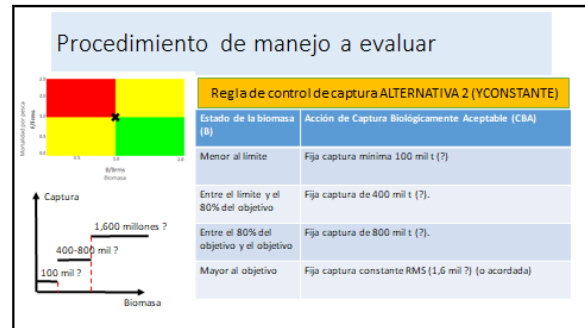
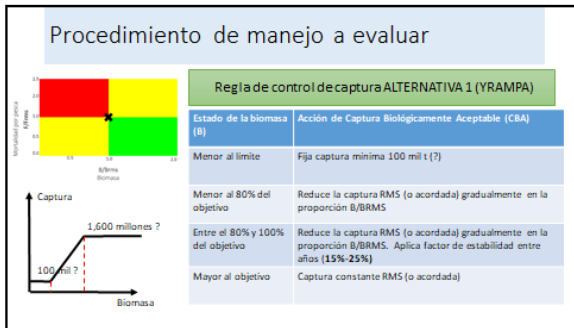
1. Aumentar probabilidad de alcanzar la cuota de captura de Chile
2. Evitar gran variabilidad de capturas entre años (15%-30%)
3. Maximizar las capturas
4. Minimizar el número de viajes (esfuerzo)
5. Maximizar las capturas compuesta por ejemplares de mayor tamaño
6. Reducir probabilidad de capturas mayores a 1,600 mil t/año
7. Reducir probabilidad de capturas menores a 800 mil t/año

¿Alguna otra que considerar?



Procedimiento de manejo a evaluar

Regla de control de captura actual SPRFMO	Estado de la biomasa (B)	Acción de captura Biológicamente Aceptable (CBA)
	Menor al límite	Se cierra la pesquería (CBA=0).
	Menor al 80% del objetivo	Elige el mínimo de la captura calculada con Factual o FRMS
	Entre el 80% y 100% del objetivo	Elige el mínimo de la captura calculada con Factual o FRMS. Aplica factor de estabilidad entre años
	Mayor al objetivo	Captura calculada con FRMS. Aplica factor de estabilidad entre años



f) Acta del primer Taller de inducción: objetivos operacionales y variables de desempeño

El 24 de marzo de 2025, entre las 10:00 y las 14:30 horas, se llevó a cabo la primera sesión ordinaria del Comité de Manejo de la pesquería del jurel (CM-J), desde las Regiones de Arica Parinacota hasta Los Lagos, en las dependencias del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, en Santiago. En el marco de esta sesión, se realizó el primer taller de inducción del proyecto FIPA 2024-27: "Diseño e implementación de Estrategias de Manejo utilizando Plataforma OpenMSE, en la pesquería de Jurel".

Objetivo: Alcanzar un consenso con los integrantes del Comité de Manejo en relación con la definición de los objetivos operacionales para la pesquería de jurel.

Introducción: El equipo presentó diversos conceptos y alcances relacionados con la EEM. Se hizo hincapié en expectativas comunes como los niveles de captura deseados, cómo controlar estos niveles de captura y cuál es el tamaño de población que parece ser óptimo. El propósito fue transmitir que la particularidad de una EM consiste en un conjunto de disposiciones preestablecidas antes del proceso de toma de decisiones. Posteriormente, se presentaron de forma resumida los resultados de la encuesta de opinión técnica, destacando que tanto el sector industrial como el artesanal espera implementar mecanismos para prevenir la sobrepesca y la sobreexplotación.

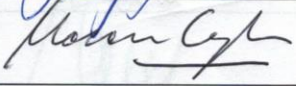
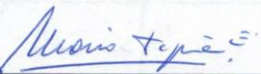
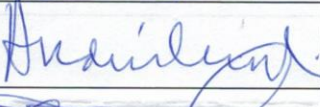
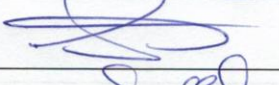
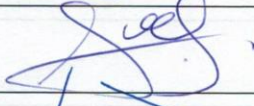
Focus group: El moderador del taller, el Sr. Jorge Quezada, empleó las observaciones de los integrantes del CM-Jurel respecto a las medidas propuestas para el año 2025, junto con los resultados de la encuesta virtual, para iniciar un proceso de retroalimentación, destacándose los siguientes aspectos:

- Algunos integrantes del CM-Jurel demuestran un profundo conocimiento en aspectos técnicos que contribuyen a la comprensión del proceso de EEM. Por ejemplo, varios de ellos expresaron inquietudes acerca de la representatividad de los reclutas en los datos pesqueros que Chile entrega a la OROP-PS, los cuales se incorporan en el modelo de evaluación de Jurel.
- Es esencial incorporar el análisis de riesgo en la percepción de los integrantes del CM-Jurel, considerando su creciente relevancia en situaciones de bajos excedentes de captura. Este escenario podría ocurrir en un futuro próximo, dado que las estimaciones de reclutamiento en los años recientes han sido inferiores al promedio del periodo de recuperación del Jurel. Asimismo, podría suceder cuando la disponibilidad de jurel en aguas cercanas a la costa disminuya.
- Los miembros del CM-Jurel indican que la relación entre ciertos conceptos, como el incremento de la captura y el aumento del riesgo, es un aspecto integrado en sus decisiones.
- Los miembros del CM-Jurel solicitan que se consideren los efectos del cambio climático a través de un proceso relacionado con la dinámica del recurso, como los reclutamientos.
- Los miembros del CM-Jurel presentes expresaron disposición para participar en los próximos talleres, que tratarán sobre Procedimientos de Manejo y Fuentes de incertidumbre, acordados para el 24 junio y 29 de julio del presente, respectivamente.



1° Taller de trabajo FIPA 2024-27: Diseño e implementación de estrategias de manejo utilizando plataforma openMSE, en la pesquería de jurel.

Lunes 24 de marzo de 2025

Nombre	Institución	Firma
Luciano Espinoza Henríquez	Subpesca	
JORGE OLIVA LOPEZ	SECTOR INDUSTRIAL AMUT-PTAUNCOA - AUTOSIS	
MACQUENA CEPEDA OCHOA	PESCADORES INDUSTRIALES DEL BIOBIO	
MAURICIO TAPIA C.	PESCADORES INDUSTRIALES BIOBIO	
ANDRÉS COUVE	SONAPESCA	
FRANCISCO FERNÁNDEZ	SONAPESCA	
ROSCENDO AEROYO	FED. PES. BIOBIO	
JOSE MARTINEZ	AGA PESCA	
MICHAEL AVILES TREBIA	SECTOR ARTESANAL MACROZONA ATACAMA - COQUIMBO	
ZODRIPU ZAMORA	SONAPESCA	
Pedro Marin de	sector artesanal Valparaíso - arica - miche	

[illegible]

g) Acta del segundo Taller de inducción: Procedimientos de Manejo

En el marco de una sesión ordinaria del Comité de Manejo de la pesquería del jurel (CM-J), desde las Regiones de Arica Parinacota hasta Los Lagos, en las dependencias del Centro de Estudios Avanzados y Extensión (CEA) de la PUCV, en la ciudad de Santiago. El 24 de junio de 2025, se realizó el segundo taller de inducción del proyecto FIPA 2024-27: "Diseño e implementación de Estrategias de Manejo utilizando Plataforma OpenMSE, en la pesquería de Jurel".

Objetivo: Alcanzar un consenso con los integrantes del Comité de Manejo en relación con la definición de Procedimientos de manejo para la pesquería de jurel.

Introducción: El equipo presentó un video explicativo elaborado en el marco del proyecto para explicar aspectos técnicos relacionados con el diseño de Procedimientos de Manejo. A partir de ello, se abordaron en profundidad las Reglas de Control de Captura y los componentes que estructuran los Procedimientos de Manejo. Posteriormente, se presentó y explicó la RCC vigente adoptada por la OROP-PS. Para finalizar, se expusieron los resultados preliminares de la encuesta técnica.

Focus group: El moderador del taller, Sr. Jorge Quezada, utilizó tanto preguntas introductorias como aquellas incluidas en la encuesta virtual para dar inicio al proceso de retroalimentación, destacándose los siguientes aspectos:

- Algunos integrantes del CM-Jurel expresaron que lo discutido o consensado en esta sesión, debido a la baja convocatoria, debería ser consultado nuevamente en las próximas instancias con el Comité de Manejo.
- Algunos integrantes del CM-Jurel solicitaron que, en una próxima instancia, se presente el cronograma del taller con las fechas y plazos del proyecto.
- Se señaló que los porcentajes sugeridos para el factor de estabilización se fundamentan en un enfoque de conservación y sostenibilidad del recurso.
- Se enfatizó que el mecanismo de Banking and Borrowing no debe replicar la actual Ley de Remanentes que rige la pesquería de pequeños pelágicos, ya que esta se considera mal aplicada.
- Se destacó que el Comité de Manejo prioriza la sostenibilidad del recurso y está dispuesto a aceptar una reducción de la cuota si el stock no se encuentra en buen estado. No obstante, se recalcó que dicha disminución no debería ser tan brusca de un año a otro.
- Se indicó que, para el Comité de Manejo, no resulta viable implementar una regla de control de captura que reduzca la cuota a cero, es decir el cierre de la pesquería, como ocurre con la actualmente adoptada por la OROP. En su lugar, se sugirió mantener una cuota mínima en situaciones de agotamiento o colapso del recurso.
- En general, se señaló la dificultad de responder cuál regla de control de captura es más adecuada. Al respecto, el equipo del proyecto explicó que el objetivo es evaluar distintas opciones y analizar su desempeño en función de los objetivos discutidos y definidos en el primer taller de inducción.



2° Taller de trabajo FIPA 2024-27: Diseño e implementación de estrategias de manejo utilizando plataforma openMSE, en la pesquería de jurel.

Martes 24 de junio de 2025

Nombre	Institución	Firma
JOSE ZENTENO L.	IFOP	
Jorge Quezada	Consultor PUCV	
Pedro Marin de	Artesa del V region	
JORGE OLIVA L.	SECTOR INDUSTRIAL Aviación - Perimetraje Antof.	
Rodrigo Zamora G.	SONAPESCA.	
Andrés Couve	SONAPESCA/PIBB	
MAURO TAPIA E.	Plantas de Puro	
Luciano Espinoza H.	SSPA	
Nicole Mozumoud	SUBPESCA	
MAURO Urbina Veliz	SUBPESCA	
NAZARETH SÁNCHEZ	PUCV	
Orlando Cordero	PUCV	

h) Acta del tercer Taller de inducción: Fuentes de incertidumbre

En el marco de una sesión ordinaria del Comité de Manejo de la pesquería del jurel (CM-J), desde las Regiones de Arica Parinacota hasta Los Lagos, en las dependencias del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, en Santiago. El 29 de julio de 2025, se realizó el tercer taller de inducción del proyecto FIPA 2024-27: "Diseño e implementación de Estrategias de Manejo utilizando Plataforma OpenMSE, en la pesquería de Jurel".

Objetivo: Alcanzar un consenso con los integrantes del Comité de Manejo en relación con la identificación de fuentes de incertidumbre asociadas a la pesquería de jurel.

Introducción: A solicitud de los integrantes del Comité de Manejo en la sesión anterior, el equipo presentó y explicó el programa del proyecto. Se informó sobre las fechas de inicio y término del proyecto, los talleres realizados y los programados, así como las entregas de informes. Asimismo, y en respuesta a lo consensado en la sesión anterior, se expusieron los principales resultados obtenidos en las sesiones previas. Con el propósito de facilitar la comprensión de dichos resultados y fomentar la participación de los asistentes, se presentaron las reglas de control de captura diseñadas en base al consenso alcanzado en instancias anteriores. Al respecto, se sugirieron los siguientes puntos:

- La cuota mínima de captura debe establecerse en un rango de 270 a 300 mil toneladas, en lugar de 100 mil toneladas.
- La cuota máxima de captura debe fijarse en 2 millones de toneladas, en lugar de 1,6 millones de toneladas.
- Se propone evaluar incrementos de cuota superiores al 30% en situaciones donde el recurso se encuentre en estado saludable.
- Se recomienda analizar las cuatro opciones de Reglas de Control de Captura presentadas, incorporando las observaciones realizadas.

Focus group: El moderador del taller, Sr. Jorge Quezada, inició el proceso de retroalimentación a partir de preguntas introductorias. Posteriormente, se presentó un esquema ilustrativo con ejemplos de fuentes de incertidumbre en seis ámbitos de análisis: (i) pesquería, (ii) datos, (iii) manejo, (iv) biología, (v) evaluación de stock y (vi) ambiente. Con base en este marco, se solicitó a los participantes identificar las principales fuentes de incertidumbre en cada ámbito, de las cuales se destacaron los siguientes aspectos:

- Las más relevantes corresponden a las asociadas al ambiente, como los efectos de los periodos Niño, Niña y Neutro.
- Considerar los cambios en los niveles de reclutamiento.
- La falta de información y las limitaciones en la metodología para el levantamiento de datos.
- Incorporar las hipótesis sobre unidades de stock.
- Revisar la ojiva de madurez a la luz de nuevas evidencias sobre las edades.
- La pesquería se ve afectada por la depredación del lobo marino, la cual debería ser considerada.
- El equipo del proyecto señaló que no todas las fuentes de incertidumbre podrán ser evaluadas, aunque se harán los esfuerzos por incorporar las más factibles.



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE
VALPARAÍSO

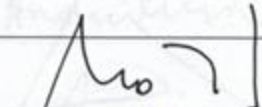


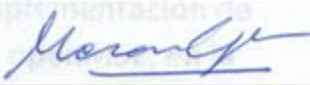
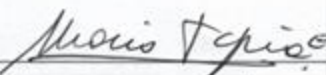
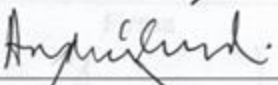
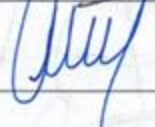
DIMARE

Lab. Directorio de Políticas Maritimas
y Medioambiente Pesquero - PMP

3° Taller de trabajo FIPA 2024-27: Diseño e implementación de estrategias de manejo utilizando plataforma openMSE, en la pesquería de jurel.

Martes 29 de julio de 2025

Nombre	Institución	Firma
Miguel A. Eslober	Ariznori	
José Zenteno L.	Independiente	
José Martínez	ABAPESCA Amia	
Jorge Silva L.	Ariznori	
Manuel Zamora P.	CERVOPESCA	
Mauro Urbina	SUBPESCA	
Franco FERNANDEZ	SEMAPESCA	
Jorge Peña M.	SINDICATO	
Pedro Marin d	A.G. armadores San Antonio	
Flore Verocini	Agromar	
Rodrigo Zamora	SONAPESCA	

Nombre	Institución	Firma
Andrés Daroch	Foodcorp	
MARINELA OJEDA	PESQUERÍAS INDUSTRIALES DEL BIOBIO	
MARIO TAPIA E.	PESQUERÍAS INDUSTRIALES DEL BIOBIO	
Andrés Couve	PBB	
Roberto Anzures	Sector Artesanal MACROZONA ATAQUEMA/COPIQUINBO	
NAZARETH SANDOZ	PUC	
José Antonio	IFOP	
José Martínez	AGROPECUARIA	
José Olave	AGROPECUARIA	
Maria Fernanda	CHILEPEC	
Mario Urbina	SOCOPES	
Thalissa Riquelme	SEMPES	
José Rojas	INDUSTRIA	
Pedro Morán	AGROPECUARIA	
Maria Victoria	AGROPECUARIA	
Felipe Zúñiga	SONAPESCA	

Anexo 3: Objetivo específico 2

Tabla A3a: Presentaciones realizadas por IFOP en el año 2023.

Reunión CCT-J	Fecha	Contenido de la presentación
1	enero	Estado del arte en EMM (EU) y próxima reunión del CC con el CM en Manta. (Payá I. 2024. Presentación en primera reunión del CCT-J 2023. Anexo 2 en Payá y Zenteno, 2024)
2	abril	Material en sitio Googlesite Video sobre EEM ¿Qué es EEM? y revisión de conceptos Reunión sobre EEM en Manta Objetivos de manejo teóricos Objetivos de manejo prácticos Indicadores de desempeño Cronograma de EEM en la OROP-PS Consideraciones técnicas sobre los ejes de incertidumbre relevantes para la delegación chilena (Paya I. 2024. Aspectos teóricos y prácticos de la evaluación de estrategias de manejo de jurel. Presentación en la segunda reunión del CCT-J 2023. Anexo 3 en en Payá y Zenteno, 2024).
3	junio	Revisión del esquema general de EEM y aclaración de dudas generales Propuesta de trabajo por módulos para el CCT-J. Avances del grupo técnico de EEM de la OROP-PS Análisis de modelo operativo Análisis del modelo de error de observaciones Comentarios y acuerdos del CCT-J (Paya I. Revisión de conceptos y modelo operativo de la EEM. Presentación en la tercera reunión del CCT-J 2023. Anexo 4 en Payá y Zenteno, 2024)
4	septiembre	Revisión del esquema general de EEM y aclaración de dudas generales Reuniones del grupo de trabajo de EEM Avances del grupo técnico de EEM de la OROP-PS, modelos operativos (Paya I. Avances en la evaluación de estrategias de manejo de jurel en la OROP-PS. Presentación en la cuarta reunión del CCT-J 2023. Anexo 5 en Payá y Zenteno, 2024).

Tabla A3b: Presentaciones realizadas por IFOP en el año 2024.

Reunión CCT-J	Fecha	Contenido de la presentación
1	junio	Repaso de los conceptos Avances de la EEM durante el 2023 Resumen del 2° taller de EEM en la Comisión
2	agosto	Avances en la evaluación de estrategias de manejo en julio de 2024 Análisis de las hipótesis asociadas a tasas de conectividad para la construcción de modelos operativos. Diseño experimental (modelos operativos y dos procedimientos de manejo). Comparación Full EEM y ShortCut Proyecciones de reclutamientos por periodos cálidos y fríos Procedimientos de manejo de interés para Chile
3	noviembre	Actualización del condicionamiento de modelos operativos Estadísticos de desempeño Procedimientos de manejo considerados Uso de la plataforma OpenMSE para testeo de modelos operativos y procedimientos de manejo.

Anexo 4: Objetivo específico 3

a) Rutina para acceder a datos, configuración y resultados de la última evaluación del stock de jurel 2025 (Get_Var_MO_OpenMSE).

Los principales pasos de esta rutina son:

- 1) Configuración del directorio de trabajo y subdirectorios donde se aloja la información (archivo de datos, archivo de configuración y archivo de resultados) de la última evaluación realizada en el 2024.
- 2) Uso de programa jjmR para chequeo y lectura de la información.
- 3) Generación de objeto “mod_current” donde se alojan la información.
- 4) Ejemplos de lecturas de:
 - a. Datos biológicos y pesqueros
 - b. Principales estimadores del modelo
 - c. Principales resultados del modelo
- 5) Lectura alterantiva mediante el paquete jjmR y las funciones tidy_JJM.

El primer paso es definir directorio y subdirectorios y alojar los archivos de datos, de configuración y de resultados, por ejemplo:

Directorio de trabajo = ‘D:/Jurel/FIP_OPEN_MSE/ADMB/jurel’

Se requiere tener organizado el directorio de trabajo con los subdirectorios “config”, “input”, “results”

‘D:/ FIP_OPEN_MSE/ADMB/jurel/input’

‘D:/ FIP_OPEN_MSE/ADMB/jurel/config’

‘D:/ FIP_OPEN_MSE/ADMB/jurel/results’

El archivo de datos “h1_1.14.dat” se debe alojar en ‘D:/ FIP_OPEN_MSE/ADMB/jurel/input’

El archivo de configuración “h1_1.14.ctf” se debe alojar en ‘D:/ FIP_OPEN_MSE/ADMB/jurel/config’

Los archivos de salida del ajuste de JJM = “h1_1.14.par” , “h1_1.14.rep” , “h1_1.14_1_R.rep” , “h1_1.14.yld” se deben alojar en ‘D:/ FIP_OPEN_MSE/ADMB/jurel/ results’

Resultados: Configuración y instalación de archivos

Define directorio de trabajo

```
#wd=setwd('C:/Users/ignacio.paya/OneDrive - Instituto de Fomento Pesquero/JUREL/FIP_OPEN_MSE/jj
mOpenMSE_IPAYA - Ev2025/ADMB/jurel')
wd=getwd()
```

Instala paquete devtools

```
#install.packages("devtools")
```

Instala paquete jjmR

```
#devtools::install_github("SPRFMO/jjmR")
library(jjmR)
```

Chequeo de ejecución de JJM (sin estimación y con salidas en archivo pdf que se graban en subdirectorio "results") Run without estimation and with pdf file

```
knitr::opts_chunk$set(echo = FALSE)
ejecutar=0 # Para evitar ejecutar
if(ejecutar == 1) {
  jjmR::runit(mod="h1_1.14",
    est = TRUE,
    exec = "jjm",
    path = "config",
    input = "input",
    output = "results",
    version = "2015MS",
    pdf = TRUE,
    portrait = TRUE
  )
}
```

Se define el nombre del modelo a usar en este caso "h1_1.14" y se genera el objeto "mod_current"

```
mod_current <- jjmR::readJJM("h1_1.14", path = "config", input = "input")
library(qs)
```

```
## qs 0.27.3. Announcement: https://github.com/qsbase/qs/issues/103
```

```
wd=setwd('C:/Users/ignacio.paya/OneDrive - Instituto de Fomento
Pesquero/JUREL/FIP_OPEN_MSE/jjmOpenMSE_IPAYA - Ev2025')
```

```
qsave(mod_current,"mod_current")
#mod_current=qread("mod_current")
```

Se chequea con la generación del “kobe plot”

```
jfmR::kobe(mod_current)

## Warning: The `size` argument of `element_rect()` is deprecated as of ggplot2 3.4.0.
## i Please use the `linewidth` argument instead.
## i The deprecated feature was likely used in the jfmR package.
## Please report the issue to the authors.
## This warning is displayed once every 8 hours.
## Call `lifecycle::last_lifecycle_warnings()` to see where this warning was
## generated.

## Warning: The `size` argument of `element_line()` is deprecated as of ggplot2 3.4.0.
## i Please use the `linewidth` argument instead.
## i The deprecated feature was likely used in the jfmR package.
## Please report the issue to the authors.
## This warning is displayed once every 8 hours.
## Call `lifecycle::last_lifecycle_warnings()` to see where this warning was
## generated.
```

Ubicación de las variables de interés

Se debe utilizar el `mod_current[[1]]`

Se obtienen los nombres de las variables en el objeto “mod_current”, como, por ejemplo:

```
mod_current[[1]]$mod_current[[1]]$data$names(mod_current[[1]]$data$fleet_names)
mod_current[[1]]$data$names mod_current[[1]]$data$index mod_current[[1]]$control$modelName
mod_current[[1]]$output
```

Las salidas se identifican para la hipótesis de un solo stock “Stock_1”

```
names(mod_current[[1]]$output$Stock_1)
```

Tabla de resultados principales

Se genera la función `tabla.resumen` de las principales salidas:

```
# Table function
library(tidyverse)
tabla.resumen <- function(modelo) {
  y_ind <- modelo[[1]]$output[[1]]$SSB[,1] %in% modelo[[1]]$output[[1]]$msy_mt[,1]
  table_qtt <- data.frame(yr = modelo[[1]]$output[[1]]$msy_mt[,1]) %>%
  mutate(ssb = round(modelo[[1]]$output[[1]]$SSB[y_ind,2], 0),
         r = round(modelo[[1]]$output[[1]]$R[,2], 0),
         ssb_msy = round(modelo[[1]]$output[[1]]$msy_mt[,10], 0),
         fflo = round(modelo[[1]]$output[[1]]$msy_mt[,6], 2),
         fmsy = round(modelo[[1]]$output[[1]]$msy_mt[,5], 2),
         ssb0 = round(modelo[[1]]$output[[1]]$msy_mt[,11], 2),
```

```

    r_fmasy = round(modelo[[1]]$output[[1]]$msy_mt[,4], 2),
    r_ssbmsy = round(modelo[[1]]$output[[1]]$msy_mt[,13], 2),
    msy = round(modelo[[1]]$output[[1]]$msy_mt[,8], 2),
    msyL = round(modelo[[1]]$output[[1]]$msy_mt[,9], 2),
    spr_ratio = round(modelo[[1]]$output[[1]]$msy_mt[,7], 2),
    spr_ft = round(modelo[[1]]$output[[1]]$msy_mt[,2], 2)
  )
  return(table_qtt)
}

```

Se transformara en data.frame para ser grabado en Excel

```
x=data.frame(tabla.resumen(mod_current))
```

Se instala paquete para grabar en formato xls, y se graba la tabla en excel

```

library("writexl")
# Se graba la tabla
write_xlsx(x, path=paste0(getwd(), "/Results/", paste0(mod_current[[1]]$control$modelName, "_MainResults.xlsx")))

```

Como alternativa esta tabla también se puede generar con la función “get_msy_mt”

```

library(dplyr)
tab1<-get_msy_mt(mod_current)
library(flextable)
ft<-flextable(tab1[1:10, 3:13]) %>%
  fontsize(size = 8, part = "all") %>%
  set_caption("Resultados principales") %>%
  autofit() # Ajusta automáticamente el ancho de columnas

ft <- width(ft, j = 1:11, width = rep(0.65, 11))
ft

```

Variables biológicas

Para obtener las variables biológicas y graficarlas.

```

M=mod_current[[1]]$output$Stock_1$M
# ojiva de madurez a la edad
mature_a=mod_current[[1]]$output$Stock_1$mature_a
plot(mature_a,t="l",xlab="Age",ylab="Maturity")

# pesos a la edad en la población
wt_a_pop=mod_current[[1]]$output$Stock_1$wt_a_pop
plot(wt_a_pop,t="l",xlab="Age",ylab="Weight")

```

Variables pesqueras y poblacionales

```
# matriz de mortalidad por pesca por flota
figmat<-function(x,tit,YLAB){
  matplot(t(x),main=tit,t="l",xlab="Age",ylab=YLAB)
}
par(mfrow=c(2,2),mar=c(4,4,1,1))
F_age_1=mod_current[[1]]$output$Stock_1$F_age_1
figmat(F_age_1[20:30,2:13],"Fleet 1","Fishing Mortality")
F_age_2=mod_current[[1]]$output$Stock_1$F_age_2
figmat(F_age_2[20:30,2:13],"Fleet 2","Fishing Mortality")
F_age_3=mod_current[[1]]$output$Stock_1$F_age_3
figmat(F_age_3[20:30,2:13],"Fleet 3","Fishing Mortality")
F_age_4=mod_current[[1]]$output$Stock_1$F_age_4
figmat(F_age_4[20:30,2:13],"Fleet 4","Fishing Mortality")
```

Para las matrices de selectividad a la edad se debe tomar desde la tercera columna.

```
# stock + año + selectividades
par(mfrow=c(2,2),mar=c(4,4,1,1))
sel_fsh_1=mod_current[[1]]$output$Stock_1$sel_fsh_1
figmat(sel_fsh_1[50:56,3:14],mod_current[[1]]$data$Fnames[1],"Selectivity")
sel_fsh_2=mod_current[[1]]$output$Stock_1$sel_fsh_2
figmat(sel_fsh_2[50:56,3:14],mod_current[[1]]$data$Fnames[2],"Selectivity")
sel_fsh_3=mod_current[[1]]$output$Stock_1$sel_fsh_3
figmat(sel_fsh_3[50:56,3:14],mod_current[[1]]$data$Fnames[3],"Selectivity")
sel_fsh_4=mod_current[[1]]$output$Stock_1$sel_fsh_4
figmat(sel_fsh_4[50:56,3:14],mod_current[[1]]$data$Fnames[4],"Selectivity")
```

Para la abundancia población

```
N=mod_current[[1]]$output$Stock_1$N
figmat(N[40:55,2:13],"Population","Number")
```

Índices de abundancia

Para conocer los nombres de los índices `mod_current[[1]]$output$Stock_1$Index_names`

```
mod_current[[1]]$output$Stock_1$Index_names

##      [,1]
## [1,] "Chile_AcousCS"
## [2,] "Chile_AcousN"
## [3,] "Chile_CPUE"
## [4,] "DEPM"
## [5,] "Peru_Acoustic"
```

```
## [6,] "Peru_CPUE"
## [7,] "Offshore_CPUE"
```

Para las capturabilidades

```
par(mfcol=c(4,2),mar=c(4,4,1,1))
plot(mod_current[[1]]$output$Stock_1$Index_Q_1,ylab="q",main=mod_current[[1]]$output$Stock_1$Index_names[1])
plot(mod_current[[1]]$output$Stock_1$Index_Q_2,ylab="q",main=mod_current[[1]]$output$Stock_1$Index_names[2])
plot(mod_current[[1]]$output$Stock_1$Index_Q_3,ylab="q",main=mod_current[[1]]$output$Stock_1$Index_names[3])
plot(mod_current[[1]]$output$Stock_1$Index_Q_4,ylab="q",main=mod_current[[1]]$output$Stock_1$Index_names[4])
plot(mod_current[[1]]$output$Stock_1$Index_Q_5,ylab="q",main=mod_current[[1]]$output$Stock_1$Index_names[5])
plot(mod_current[[1]]$output$Stock_1$Index_Q_6,ylab="q",main=mod_current[[1]]$output$Stock_1$Index_names[6])
plot(mod_current[[1]]$output$Stock_1$Index_Q_7,ylab="q",main=mod_current[[1]]$output$Stock_1$Index_names[7])
```

Para los índices de abundancia, se debe tomar desde la segunda columna (Año + índices), como ejemplo, se presenta el índice 3, que corresponde a la CPUE de la flota 2 (zona centro-sur de Chile).

```
# Indice CS
indices.dat<-mod_current[[1]]$data$Index
year3<-as.numeric(na.omit(mod_current[[1]]$data$years[,3]))
Obs_Survey_3=mod_current[[1]]$output$Stock_1$Obs_Survey_3
# para generar gráfico con intervalos de confianza al 95%
plot(year3,as.numeric(na.omit(indices.dat[,3,t="I"])),ylab="Index",xlab="Year")
lines(year3,Obs_Survey_3[,2]) # Dato
lines(year3,Obs_Survey_3[,3,col="red"]) # Estimado
lines(year3,Obs_Survey_3[,2]+Obs_Survey_3[,4]) # intervalo de confianza del dato
lines(year3,Obs_Survey_3[,2]-Obs_Survey_3[,4]) # intervalo de confianza del dato
```

Capturas totales, pesos medios y estructura por edad

Para las capturas totales por flota.

```
year<-N[,1]
plot(year,mod_current[[1]]$output$Stock_1$Obs_catch_1, t="I",ylim=c(0,5000),ylab="Catch (kt)",col=1)
lines(year,mod_current[[1]]$output$Stock_1$Obs_catch_2,col=2)
lines(year,mod_current[[1]]$output$Stock_1$Obs_catch_3,col=3)
lines(year,mod_current[[1]]$output$Stock_1$Obs_catch_4,col=4)
legend("topright",c(mod_current[[1]]$data$Fnames),lty=1,col=1:4)
```

Pesos a la edad en las capturas por flota

```
# matriz de mortalidad por pesca por flota
figmat<-function(x,tit,YLAB){
  matplot(t(x),main=tit,t="l",xlab="Age",ylab=YLAB)
}
par(mfrow=c(2,2),mar=c(4,4,1,1))
wt_fsh_1=mod_current[[1]]$output$Stock_1$wt_fsh_1
figmat(wt_fsh_1[20:30,2:13],mod_current[[1]]$data$Fnames[1],"Weight")
wt_fsh_2=mod_current[[1]]$output$Stock_1$wt_fsh_2
figmat(wt_fsh_1[20:30,2:13],mod_current[[1]]$data$Fnames[2],"Weight")
wt_fsh_3=mod_current[[1]]$output$Stock_1$wt_fsh_3
figmat(wt_fsh_3[20:30,2:13],mod_current[[1]]$data$Fnames[3],"Weight")
wt_fsh_4=mod_current[[1]]$output$Stock_1$wt_fsh_4
figmat(wt_fsh_4[20:30,2:13],mod_current[[1]]$data$Fnames[4],"Weight")
```

Para los datos de captura observada a la edad por flota

```
par(mfrow=c(2,2),mar=c(4,4,1,1))
for (i in c(1,2,4)){
  prop=mod_current[[1]]$data$Fagecomp[,i]
  figmat(prop[30:55,1:12],mod_current[[1]]$data$Fnames[i],"N") }
```

Para estimados de estructuras de edades (1° Columna es el año).

```
par(mfrow=c(2,2),mar=c(4,4,1,1))
prop=mod_current[[1]]$output$Stock_1$phat_fsh_1
figmat(prop[30:45,2:13],mod_current[[1]]$data$Fnames[1],"Proportion")
prop=mod_current[[1]]$output$Stock_1$phat_fsh_2
figmat(prop[30:45,2:13],mod_current[[1]]$data$Fnames[2],"Proportion")
prop=mod_current[[1]]$output$Stock_1$phat_fsh_4
figmat(prop[1:10,2:13],mod_current[[1]]$data$Fnames[4],"Proportion")
```

Composición de tallas y edades de la flota peruana

Proporción de longitudes en la flota Farnorth

```
#mod_current[[1]]$output$Stock_1$pobs_len_fsh_3
#mod_current[[1]]$data$lengthbin
#mod_current[[1]]$data$nbins
#mod_current[[1]]$data$lengths
#dim(mod_current[[1]]$output$Stock_1$phat_len_fsh_3)
tallasperu<-mod_current[[1]]$output$Stock_1$phat_len_fsh_3[,2:42] # años (desde el 1980 * Tallas
matplot(mod_current[[1]]$data$lengthbin,t(tallasperu),t="l",ylab="Proportion",xlab="Fork length (cm)")
```

Clave Talla-edad

```
claveperu<-mod_current[[1]]$output$Stock_1$P_age2len_1
matplot(mod_current[[1]]$data$lengthbin,t(mod_current[[1]]$output$Stock_1$P_age2len_1[1:12,]),t="l",ylab="Proportion",xlab="Fork length (cm)")
legend("topleft",as.character(1:12),lty=1:12,col=1:12)
```

Para obtener la estructura de edades en la flota peruana, se combinan las proporciones de tallas observadas con la clave talla-edad.

```
cedadperu<-matrix(NA,dim(tallasperu)[1],12)
for(i in 1:dim(tallasperu)[1]){
  for (j in 1:12)
  {
    cedadperu[i,j]=sum(tallasperu[i,]*claveperu[j,])
  }
}
ceadadperuanios=cbind(mod_current[[1]]$output$Stock_1$phat_len_fsh_3[,1],cedadperu)
matplot(ceadadperuanios[,1],cedadperu,t="l",xlab="Year",ylab="Proportion")
legend("topleft",as.character(1:12),lty=1:12,col=1:12)
```

Uso de función tidy_JJM del paquete jjmR

Finalmente, otra alternativa para obtener las diferentes variables es utilizar las funciones del paquete jjmR. Como por ejemplo, la función “tidy_JJM” genera diferentes data.frame

```
## Joining with `by = join_by(rowid)`

## Warning: Expected 3 pieces. Missing pieces filled with `NA` in 96 rows [1, 2, 3, 4, 5,
## 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, ...].

## [1] "age_fits"      "catchabilities" "fishing_mortality"
## [4] "index_fits"    "len_fits"       "msy_mt"
## [7] "recruits"      "selectivities"  "totals"
```

Se pueden usar diferentes funciones para graficar, por ejemplo, las selectividades de jjmR

```
plot_selectivities(get_selectivities(mod_current))

## Warning: Expected 3 pieces. Missing pieces filled with `NA` in 96 rows [1, 2, 3, 4, 5,
## 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, ...].

## Warning in gggridges::geom_density_ridges(aes(x = age, y =
## forcats::fct_rev(as.factor(year))), : Ignoring unknown parameters: `size`
```

b) Acta de taller técnico para la implementación de OpenMSE

La actividad se desarrolló entre el 18 y el 21 de agosto de 2025 en modalidad híbrida, teniendo lugar en las dependencias del Instituto de Fomento Pesquero, en la ciudad de Valparaíso. Posteriormente, el 29 de agosto de 2025, y fuera del marco formal de la agenda de trabajo, se realizó una sesión adicional destinada a revisar y analizar en mayor detalle los resultados de análisis adicionales realizados por la Dra. Robyn Forrest. Las sesiones se realizaron en inglés y español, entre las 10:00 y las 15:00 horas de cada jornada, de acuerdo con la disponibilidad de la experta. El taller fue coordinado por el Dr. Juan Carlos Quiroz, con el apoyo del equipo técnico de la PUCV.

Las jornadas se centraron en los temas establecidos en la agenda de trabajo y contaron con aportes relevantes de los equipos técnicos del IFOP y la PUCV. La lista de participantes se presenta en la **Tabla 1**.

Tabla 1: Lista de participantes del Taller Técnico de Implementación de OpenMSE

Nombre	Institución	Participación
Ignacio Payá	IFOP	Presencial
Fernando Espíndola	IFOP	Presencial
José Zenteno	IFOP	Presencial
Cristian Canales R.	PUCV	Presencial
Nazareth Sánchez	PUCV	Remota
Juan Carlos Quiroz	Independiente	Presencial
Robyn Forrest	Fisheries and Oceans, Canada	Remota

Principales observaciones y acuerdos:

- Se estableció un conjunto de modelos operativos de múltiples flotas (MOM), donde se consideró las principales fuentes de incertidumbre asociadas a la evaluación de stock base de jurel, que contempla diferentes niveles de productividad del stock durante el periodo histórico, como son los diferentes niveles de reclutamiento. Para abordar este aspecto, se seleccionaron tres niveles de reclutamiento y dos niveles de steepness.
- Emplear una desviación estándar del período histórico igual a 0,70 y un proceso de autocorrelación con lag-1 igual a 0,82 para el modelo operativo MOM1.
- Para el MOM2 considerar un nivel medio de reclutamientos durante el período de proyección, mediante el re-muestreando los reclutamientos con una desviación estándar de 0,70 y un nivel de autocorrelación lag-1 igual a cero (AC=0).
- Es necesario modelar cohortes de mayor tamaño en comparación con la media del período histórico, y también de menor tamaño.
- Considerar la misma ojiva de madurez que la del modelo base de evaluación de stock.

- Asumir una mortalidad natural constante tanto en el tiempo como en la edad, con un valor de 0,28 año⁻¹.
- Considerar la selectividad por flota (4) del último año, que es estimada por el actual modelo de evaluación de stock.
- No incluir el error de implementación para todos los procedimientos de manejo, ya que los evaluados como procedimientos de manejo base (sin pesca y PM perfecto) no incluyen el error de implementación.
- Considerar los residuos del condicionamiento del MOM para el error de observación en los datos de captura de las flotas (4) e índices de abundancia.
- Para representar un nivel consistente con el programa de monitoreo los tamaños muestrales para simular los datos de composición de edades de las capturas de las flotas (4) y de los índices de abundancia provenientes de los cruceros acústicos deben ser iguales a 100.
- Evaluar PM perfectos con dos RCC: 1) con mortalidad por pesca del RMS o Frms, y 2) con captura igual a cero.

Anexo 5: Taller de difusión de resultados

Acta taller de difusión de resultados FIPA 2024-27: Diseño e implementación de Estrategias de Manejo utilizando plataforma OpenMSE, en la pesquería de Jurel.

La actividad se llevó a cabo el 4 de junio de 2026 mediante la plataforma Google Meet, en cumplimiento de lo acordado entre la Unidad de Pesquerías Pelágicas de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. La sesión se desarrolló de 14:30 a 17:00 horas. A continuación, se presentan los principales resultados y conclusiones:

- i. Sobre la base de las instancias participativas desarrolladas con el CM, las encuestas en línea dirigidas a otros actores relevantes de la pesquería y el juicio experto del equipo de trabajo, se definieron 12 indicadores de desempeño orientados principalmente a evaluar la sostenibilidad del recurso y el desempeño de la pesquería. Asimismo, se evaluaron 10 PM que consideraron distintas combinaciones de estabilizadores de captura, capturas objetivo, mecanismos de *Banking & Borrowing* y reglas de control de captura. Estos procedimientos fueron evaluados bajo tres modelos operativos que representaron distintos niveles de productividad del recurso.
- ii. La implementación de la plataforma OpenMSE permitió estructurar un modelo operativo base representativo de la pesquería, aunque se identificaron dificultades asociadas a la convergencia del modelo de estimación original y a la complejidad de las selectividades.
- iii. El uso del enfoque shortcut MSE constituyó una alternativa metodológica válida y eficiente, permitiendo evaluar un mayor número de combinaciones de modelos operativos y procedimientos de manejo en tiempos computacionales razonables.
- iv. El desarrollo del modelo JJM_simple representó un avance metodológico relevante, al mejorar la convergencia y reducir significativamente los tiempos de estimación, manteniendo una adecuada representación de la dinámica histórica del stock.
- v. Las comparaciones entre full MSE y shortcut MSE mostraron diferencias menores en el desempeño general, aunque el enfoque abreviado tendió a subestimar levemente el riesgo biológico, lo que sugiere la necesidad de cautela en su interpretación.
- vi. Entre los procedimientos evaluados, MP4 destacó como la alternativa más equilibrada, al presentar simultáneamente buenos resultados en protección biológica, estabilidad de capturas y rendimiento pesquero.
- vii. Procedimientos más conservadores, como MP8, mostraron un alto desempeño biológico y buenas capturas de largo plazo, mientras que reglas más intensivas, como MP7, incrementaron el riesgo de deterioro del recurso pese a generar mayores capturas en el corto plazo.
- viii. La aplicación del método de optimización estocástica (SOPS) permitió identificar configuraciones de reglas de control que satisfacen simultáneamente restricciones biológicas y de estabilidad, facilitando la identificación de soluciones eficientes en el espacio de decisiones.

Asistentes:

Nombre	Institución
Luciano Espinoza	SUBPESCA
Silvia Hernández	SUBPESCA
Sandra Ferrada	UdeC
Luis Cubillos	UdeC
Erick Gaete	IFOP
Jorge Oliva	CIAM
Esteban Molina	IFOP
María José Cuevas	UdeC
Milton Pedraza	SUBPESCA
Ricardo Galleguillos	Universidad de Chile
Jorge Farias	SUBPESCA
Ignacio Payá	IFOP
Aquiles Sepulveda	INPESCA
Carlos Techeira	IFOP
Ciro Oyarzún	UdeC
Francisco Plaza	USACH
José Zenteno	IFOP
Marcelo Oliva	Universidad de Antofagasta
Jesús Curiel	PUCV
Sebastián Vásquez	INPESCA
Víctor Espejo	SUBPESCA
Alejandra Hernández	SUBPESCA
Carla Firpo	INIDEP
Ana Arriagada	SUBPESCA
Cristian Canales	PUCV
Nazareth Sánchez	PUCV

Cristian Canales Ramirez (Presentando y anotando)

PM 1

PM 2

PM 3

Ignacio Paya

Luciano Espinoza

19 más

NAZARETH BELEN S...

Cristian Canales Ramirez (Presentando y anotando)

Reclutamiento medio (MO2)

	NSP_CP	NSP_LP	NZR_CP	NZR_LP	ZV_CP	ZV_LP	CBA_CP	CBA_LP	CBA_5y	C10_CP	C10_LP	CBAv
MP1	1.000	0.783	1.000	0.837	0.948	0.445	2110	1630	2800	1.000	0.735	0.176
MP2	1.000	0.944	1.000	0.942	0.974	0.629	1760	1610	2060	0.976	0.770	0.172
MP3	1.000	0.780	1.000	0.835	0.948	0.447	2110	1630	2800	1.000	0.743	0.162
MP4	1.000	0.998	1.000	0.987	0.996	0.755	2000	1400	1490	1.000	0.912	0.850
MP5	1.000	0.784	1.000	0.901	0.962	0.475	1990	1660	1970	1.000	0.891	0.698
MP6	1.000	0.998	1.000	0.976	0.978	0.586	1950	1730	2050	1.000	0.884	0.328
MP7	0.994	0.603	1.000	0.885	0.942	0.345	2230	1780	2550	1.000	0.862	0.291
MP8	1.000	1.000	1.000	0.995	0.988	0.729	1800	1620	1830	1.000	0.847	0.418
MP9	1.000	0.932	1.000	0.971	0.954	0.488	2140	1740	2320	1.000	0.830	0.307
MP10	1.000	0.821	1.000	0.864	0.994	0.691	1500	1500	1500	1.000	1.000	1.000

- La CBA de LP fluctúa entre 1,4 y 1,7 mil t, y la menor variabilidad en PM4, 5 y 10 (Ccte)

- En LP, los menores riesgos para la población (NZR, NZV, NSP) en PM 2, 4, 6 y 8

Luciano Espinoza

Ignacio Paya

18 más

NAZARETH BELEN S...

Muchas gracias !

Luciano Espinoza

Luis Cubillos

17 más

NAZARETH BELEN S...

Anexo 6: Personal participante por actividad.

Nombre	Actividades realizadas	Objetivo	Horas por actividad	Total HH
PUCV				
Cristian Canales R	Compilación y generación de gráficas	1 - 6	10	240
	Condicionamiento, modelación y codificación		20	
	Coordinación y participación de talleres/reuniones		121	
	Análisis de datos/información		30	
	Elaboración de informes		59	
Juan Carlos Quiroz	Análisis de datos/información	1-6	30	352
	Condicionamiento, modelación y codificación		38	
	Búsqueda, revisión y recopilación de datos/información		15	
	Coordinación y participación de talleres/reuniones		129	
	Compilación y generación de gráficas		30	
	Elaboración de informes		110	
Nazareth Sánchez E	Búsqueda, revisión y recopilación de datos/información	1-6	30	350
	Condicionamiento, modelación y codificación		20	
	Análisis de datos/información		30	
	Compilación y generación de gráficas		10	
	Coordinación y participación de talleres/reuniones		140	
	Elaboración de informes		120	
Jesús Curiel Pérez	Coordinación de talleres	1, 3-5	110	200
	Condicionamiento, modelación y codificación		15	
	Análisis de datos/información		25	
	Compilación y generación de gráficas		10	
	Elaboración de informes		40	
Jorge Quezada Olivares	Coordinación y/o participación de talleres	1	60	80
	Elaboración de informes		20	
IFOP				
Ignacio Payá	Búsqueda, revisión y recopilación de datos/información	2-6	45	360
	Condicionamiento, modelación y codificación		30	
	Análisis de datos/información		93	
	Compilación y generación de gráficas		25	
	Participación de reuniones		92	
	Elaboración de informes		75	
José Zenteno	Búsqueda, revisión y recopilación de datos/información	1-6	24	216
	Condicionamiento, modelación y codificación		15	
	Análisis de datos/información		29	
	Compilación y generación de gráficas		21	
	Participación de talleres/reuniones		92	
	Elaboración de informes		35	

IFOP				
Fernando Espíndola	Búsqueda, revisión y recopilación de datos/información	2 -6	24	216
	Condicionamiento, modelación y codificación		15	
	Análisis de datos/información		29	
	Compilación y generación de gráficas		21	
	Participación de talleres/reuniones		92	
	Elaboración de informes		35	
EXPERTA INTERNACIONAL				
Robyn Forrest	Condicionamiento, modelación y codificación	2 -6	30	180
	Análisis de datos/información		30	
	Compilación y generación de gráficas		20	
	Participación de talleres/reuniones		46	
	Elaboración de informes		54	
CONSULTORES EXTERNOS				
Carl Walters	Participación de reuniones	3 y 4	46	70
	Elaboración de informes		24	
Roberto Licandeo	Condicionamiento, modelación y codificación	3 y 4	5	75
	Análisis de datos/información		5	
	Compilación y generación de gráficas		5	
	Participación de reuniones		46	
	Elaboración de informes		14	