Evaluación de stock de la merluza común (*Merluccius gayi*) entre 1992 y 2021

# Evaluación de stock de merluza común 1992-2021

## Área de estudio

El área de estudio comprende la principal área de operación de la flota arrastrera correspondiente a la zona centro sur de Chile entre el límite norte de la IV región y los 41°28’S. Donde a lo largo de la costa operan las flotas artesanal con redes de enmalle y espinel, mientras que la flota de arrastre desarrolla su operación de capturas con arrastre.

## Datos utilizados

1. Desembarque corregido del período (1992-2015), provenientes de proyecto FIPA de corrección de captura para la pesquería de merluza común (Arancibia et al. 2017).
2. Desembarque informado por Comité de Manejo (CM) disponible entre los años 1993-2015 (Subsecretaria de Pesca, 2019).
3. Desembarque corregido total y por flotas desde Comité Científco Técnico (CCT) entre los años 2002 y 2019.
4. Informaciones desembarque industrial y artesanal del período 1992-2020, provenientes del Servicio Nacional de Pesca.
5. Información de cruceros de evaluación acústica financiados por el Fondo de Investigación Pesquera (FIP y FIPA) entre 1993 y 2020.
6. Información del Programa de Seguimiento de la pesquería y Sistema de Información de Merluza Común (SIMEC) del Instituto de Investigación Pesquera, VIII región (1997-2021). La información proviene del monitoreo industrial en la zona centro-sur de Chile, obteniendose datos de: i) estructura de tamaños, ii) matrices talla-edad, iii) composiciones por edad, iv) parámetros de crecimiento y v) peso anuales por edad/talla y años.

### Datos para modelamiento por flotas

El esquema considera un enfoque de modelación por flotas artesanal e industrial. Al disponer de los desembarques oficiales por flota y las correcciones por parte del CCT, es posible tener un estimado de las capturas no reportada por flotas. La captura no reportada y su desembarque, se encuentra asociada a fuentes de ilegalidad como: sub-reporte, robo y descarte. Por lo tanto, es posible segregar información oficial y corregida por flotas, siendo posible a la vez disponer de datos oficiales (reportados) y el complemento en ilegalidad o fracción de flota con desembarques fuera de norma. En este sentido, las series corregidas incluyen descarte en su corrección aunque este no es reportado a la forma de serie, ni su estructura asociada (tamaños).

## Dinámica poblacional

El modelo de dinámica poblacional, corresponde a un enfoque de evaluación del tipo estadístico con estructura de edad, donde la dinámica progresa avanzando en el tiempo , y las fuente de remoción son a causa de mortalidad por pesca , la mortalidad natural es constante . La relación entre la población y las capturas responde a la base de la ecuación de Baranov, y se consideran para el modelo y estimaciones el rango de edad entre 2 a 12+ (años).Sin embargo, las estimaciones del modelo tienen su origen en la edad cero sobre la base de una condición inicial estado estable.

La dinámica esta modelada por un reclutamiento tipo Ricker, selectividad por bloques para los períodos 1992-2002 y 2003-2020 para los desembarque de flotas. Los tamaños de muestra son estimados siguiendo el método de Francis, y se realiza una corrección por sesgo de la relación S-R.

Luego, dada la disponibilidad de datos de desembarque corregidos de las flotas artesanal e Industrial(Figura )y la existencia de datos estimados del desembarque ilegal, se construye un modelo que da cuenta de ambas fuentes de remoción (Figura ). La falta de información estructurada para las capturas no reportadas determinó que estas fueran modeladas como una fracción de las flotas industrial y artesanal, ajustadas al desembarque no reportado . Luego, con fines comparativos se configuro un modelo por flotas (Figura ), donde un modelo utiliza las capturas oficiales (no corregidas), mientras que un segundo modelo emplea los desembarques corregidos por flotas (Figura )(Tabla ).

Sobre la base de la información presentada, la configuración de los modelos por flotas con y sin fracciones no reportadas, permite obtener estimaciones de mortalidad por flotas y de las fracciones no reportadas (estimadas). Una sintesis y nomenclatura de los modelos implementados corresponde a:

**m00** = capturas oficiales + 2 flotas y S logistica.

**m01** = capturas corregidas + 2 flotas y S logística.

**m1** = 2 flotas y 2 fracciones no declaradas y S logística.

**m2** = 2 flotas y 2 fracciones no declaradas y S logística con extra sd para q.

**m3** = 2 flotas y 2 fracciones no declaradas y S logística exponencial para crucero.

**m4** = 2 flotas y 2 fracciones no declaradas y S doble logística suavizada crucero.

**m5** = 2 flotas y 2 fracciones no declaradas y S simple logística con edad inicial crucero.

## Condicionamiento del modelo(s)

En la (Tabla ), se describen las características principales de los modelos implementados donde las diferencias principales vienen dadas por la configuración de modelo por flotas (industrial y artesanal) o modelo por flotas con fracciones de flotas no reportadas. Además, de condicionamiento por tamaños de muestra y coeficientes de variación y funciones de selectividad dadas las diferentes formas de composiciones por edades entre flotas y cruceros.

### Crecimiento

La modelación de crecimiento de basa en el modelo de VB y utiliza el sugiente condicionamiento. La longitud máxima en edades tempranas y finales entre las edades 2 a 12+ son 25 y 75 cm con valor de entre 0.1 y 0.2 con de 0.2. La madurez al 50% es estimada entre 33 a 40 cm. En la (Tabla ) se presenta la configuración del modelo (s) implementado(s), especificando que parámetros son activos o fijos.

## Tamaños de muestra

El tamaño de muestra inicial es re-estimado utilizando la aproximación de (Francis, 2011). En este se utiliza el método para estado 2 para ponderación de datos de composición desde un modelo de Stock Synthesis. El resultado es un multiplicador, (con intervalo al 95% desde bootstrap), donde con y siendo las etapas 1 y 2 de la muestra multinomial en el año . Los tamaños de muestra iniciales correspondieron a Nf=80 para la pesquería industrial y artesanal, y un Ns=50 para la composición del crucero acústico. En el caso de los modelos con mejor desempeño los multiplicadores aplicados para las composiciones por edad fueron:

1. Factores de ajuste para m00
2. Factores de ajuste para m1

## Correción por sesgo

El reclutamiento en SS es definido como una desviación de tipo log-normal de una curva-stock recluta ajustada con sesgo-log. La magnitud del sesgo-log es calculada desde el nivel de , el cual corresponde a la desviación estandar de las desviaciones del reclutamiento (en espacio logaritmico). Existen 5 segmentos en la serie de tiempo a considerar el efecto de sesgo-logaritmico: virginal, equilibrio inicial, periodo temprano de datos escasos (pobres), periodo abundante en datos, proyección reciente. La alternativa de puntos de quiebre entre estos segmentos no requiere corresponder directamente al condicionamiento de ajuste por sesgo, no obstante algunos alineamientos son deseables. Methot et al. 2011 provee mayores detalles del ajuste por sesgo.

## Análisis retrospectivos

Análisis retrospectivo fue realizado por medio de la remoción iterativa del año terminal de la información para la evaluación de stock, realizando luego la estimación de la distribución posterior de parámetros. La remoción de información fue desempeñada un 5 años desde el 2021. En consecuencia, las estimaciones sobre los modelos seleccionados (m00 y m1), cubrieron entre 1992-2016 y 1992 al 2021. A partir de este análisis de interpretaron los resultados en estimaciones de indicadores poblacionales como biomasas y reclutamiento. Adicionalmente se estiman valores de rho como el Alaska Fisheries Science Center and Hurtado-Ferro et al. (2015) denominado Mohn’s rho" para la evaluación de patrones retrospectivos del modelo (s).

## Plataforma de modelación

Los modelos implementados fueron configurados utilizando Stock Synthesis (SS)(<https://vlab.noaa.gov/web/stock-synthesis>), que es un modelo de evaluación de stock edad y talla estrucuturado, en la clase de modelo denominado “Modelo de análisis integrado”. SS tiene un sub-modelo poblacional de stock que simula crecimiento, madurez, fecundidad, reclutamiento, movimiento, y procesos de mortalidad, y sub-modelos de observation y valores esperados para diferentes tipos de datos. El modelo es codificado en C++ con parámetros de estimación activados por diferenciación automática (admb). El análisis de resultados y salidas emplea herramientas de R e intefase gráfica (<https://github.com/r4ss/r4ss>).

# RESULTADOS

## Principales salidas de modelos y parámetros

Los componentes de verosimilitud, además de los análisis de residuales permiten identificar entre los bloques de modelos cuales de las configuraciones presenta un mejor desempeño en términos estadísticos de ajuste a la información. De esta forma son el modelo m00 y m1 los que en cada una de sus estructuras muestran un mejor desempeño basado en comparaciones (Tabla ) . Estos modelos, son los seleccionados para presentar en sus principales salidas para fines informativos de indicadores, puntos biológicos de referencia y estimaciones poblacionales.

## Selectividad

Los diferentes modelos implementados (m00,m01,m1,m2.m3,m4 y m5), presentan diferentes funciones de selectividad para las flotas que componen el modelo, y mayores variantes para la selectividad del crucero acústico. Una característica de los modelos es el uso de bloques temporales entre 1992-2002, y desde 2003 al 2021.

1. selectividad M00 (desembarques oficiales)

Los cambios de edad completamente reclutada se encuentran concentradas edades 7 y 9 en su forma logística para las flotas industrial y artesanal (Figura ).

Los cambios temporales en la selectividad, son observables para ambas flotas al realizar este cambio en la selectividad, característica que es determinada por la variación de las composiciones por edades a partir del año 2003, con una notable baja en la presencia de ejemplares adultos (Figura ,,).

Las trayectorias de la mortalidad por pesca entre flotas (Figura ), muestran cambios de tendencia y magnitud considerables lo que impulsa a considerar modelos por flotas en una pesquería como la de merluza común, donde co-existen varias flotas con artes de pesca específicos y donde la evolución de los desembarques tiene tendencias fluctuantes en el tiempo.

Una forma de visualizar el estado del recurso es por medio de los diagramas de fase. En (Figura ), se puede ver la trayectoria que emerge del modelo implementado e información utilizada. Es posible ver que entre 1992 y el 2000, la mortalidad por pesca estuvo bajo el objetivo, para luego superarlo desde 2001 al 2014. A partir del año 2015 al presente la Fref no es sobre-pasada y se transita desde calificacion de sobre-explotado, plena explotación y sub-explotado. Adicionalmente, se incluye el diagrama de fase por defecto de SS En (Figura ), que se construye sobre la estimación de la razon del potencial de desove (SPR) con razon del potencial objetivo.

1. Modelo por flotas y fracciones m1

Este modelo considera flotas y fracciones no reportadas, correspondiendo selectividades de tipo logístico para la modelación (Figura ).

En el caso de los bloques de selectividad, las formas estimadas corresponden son apreciadas en (Figura ) y (Figura ). De igual forma que la selectividad del crucero acústico (Figura ).

Las trayectorias de la mortalidad por pesca entre flotas y fracciones (Figura presenta cambios importantes en el período analizado, dando cuenta de las magnitudes y diferentes tendencia que tiene con respecto a la mortalidad asociada a capturas oficiales.

En (Figura ), el diagrama de fase da cuenta de niveles de F por debajo del Fobjetivo, en los años mas reciente y una condición favorables al encontrarse fuera de las zonas de agotamiento y sobre-explotado. La misma situación es observada en un diagrama de fase basado en SPR40% y su correspondiente métrica de F (Figura ).

## Ajustes composición por edad

En relación con las configuraciones con mejor desempeño (m00 y m1). En el caso de m00 se presentan indicadores de ajuste a través del ajuste de composiciones por edad agregada (Figura ). y residuales de la composición (Figura ), dando cuenta de un ajuste aceptable y sin patrones evidentes de residuales positivos o negativos.

En el caso de m1 los indicadores de ajuste a través de composiciones por edad agregada (Figura ) y residuales de la composición (Figura ), dan cuenta de un ajuste aceptable y sin patrones evidentes de residuales positivos o negativos. Ahora, en terminos comparativos con lo observado en m00 los residuales asociados a la composición por edad del crucero son mayores, lo que dada la naturaleza del modelo con fracciones de flotas y estimaciones de desembarques no reportados, incluye más fuentes de incertidumbre donde se requiere mejoramiento e investigación.

## Indicadores entre modelos

Son presentados la totalidad de indicadores entre modelos, resaltando aquellos de estimaciones poblacionales asociadas a biomasa desovante, desovante virginal, reclutamientos y los relacionados con mortalidad por pesca. La serie de reclutamiento (Figura ) entre los años 1992 y 2021, muestra alta coincidendencia en las tendencias observadas, siendo las diferencias principalmente asociadas con las desviaciones.

En lo correspondiente a las biomasa desovante (Figura ), las tendencias muestran coincidencia pero la diferencia de magnitud entre m00 (modelo basado en desembarques oficiales), contra los demas modelos que utilizan desembarques correguidas es alta y con diferencias notables que determinan cambios en la condición del recursos.

El ajuste a crucero acústico (Figura ), es una de las piezas de información con mayor dificultad de ajuste aceptable siendo también las composiciones por edad muy diferente en su composición. La exploración de diferentes opciones de tipos de selectividad fue explorada, así como, incorporación de desviaciones extras a la capturabilidad. La mayor dificultad se da al comienzo de la serie y entre los años 2004 a 2013.

La mortalidad por pesca, es uno de los indicadores con mayores diferencias (Figura ) entre modelos y es observable en los niveles de F. Ahora, en el caso de m1 (desembarques oficiales) el estimado de F es de mayor magnitud a aquel que se estima al utilizar desembarques corregidos (m01,m1-m5). Este indicador al igual que la biomasa desovante tiene implicancias directas en la determinación del estatus y confirma que el uso o no de información corregida afecta de forma importantes a los indicadores asociados al estatus del recurso.

## Análisis retrospectivo en biomasa desovante y mortalidad

### Modelo m00

La inspección de las salidas de indicadores de biomasa desovante (Figura ), muestra indicios de sub-estimaciones del estimado en años previos con respecto a la evaluación base con la información completa. Por su parte, en la mortalidad por pesca (Figura ), se aprecia una tendencia a la sobre-estimación de F.

Los valores de Rho, confirman la interpretación de las estimaciones de biomasa desovante y mortalidad por pesca generadas del análisis para m00, dando cuenta de una sub-estimación de la biomasa desovante en las evaluaciones y una sobre-estimación de F .

* Rho modelo m00

### Modelo m1

La inspección del indicador de biomasa desovante (Figura ) da cuenta de una tendencia a la sobre-estimación. Un patrón similar se visualiza en la mortalidad por pesca (Figura ).

Los valores de Rho para biomasa desovante indica una sobre-estimación, situación similar a lo observado para F con .

* Rho modelo m1

## Discusión y conclusiones

### Asociadas a la implementación de la Evaluación del Stock

En el año 2021 se adoptó un cambio en el modelo de evaluación de Inpesca, con el objeto de conocer el efecto de capturas no reportadas. Para ello se cambio de un modelo agregado de flotas industrial y artesanal, a uno con flotas y adicionalmente a un modelo por flotas y fracciones no reportadas. Esta implementación, permite además de realizar comparaciones entre modelos con desembarques oficiales y corregidos, generar estimaciones de mortalidad por pesca por flotas y fracciones no reportadas. Este punto es importante, ya que las capturas no reportadas se distribuyen de forma diferenciada entre flotas siendo mayor en años recientes en aquellas de características artesanales, y facilita la interpretación y conocimiento de la tendencia y magnitud de capturas oficiales y no reportadas.

Una problemática en este análisis es la necesidad de información de corrección del desembarque, el cual esta disponible en diferentes ventanas temporales y por diferentes grupos de investigadores, siendo la más reciente la construida por parte de investigadores del Comité Científico Técnico. Una segunda problemática, viene dada por la necesidad de disponer de información de la estructura de la capturas de la flota artesanal, siendo en esta ocasión y por medio de la Subsecretaría de Pesca, posible disponer de información generada por el programa de monitoreo de IFOP, disponiendo de esta forma de estructuras de tamaño para la flota artesanal redera y de espinel.

Un aspecto que debería ser abordado es disponer de estructuras (tamaños y/o edades) de la captura no reportada, asi como, de la estructura del descarte entre flotas y los niveles en toneladas y porcentajes del descarte en serie temporales, para poder aislar su efecto de los desembarques corregidos, donde este factor esta incluido en la corrección.

### Asociadas a la condición del recurso

La evaluación soportada en los diferentes modelos implementados, indica que el uso de desembarques correguidos da cuenta de mayores valores estimados a indicadores relevantes como biomasas y reclutamiento, y también presenta diferencias en la magnitud de las mortalidades por pesca. Ahora, las tendencias entre modelos son equivalentes y la interpretación de trayectorias no presentaría mayores discrepancias.

Los análisis de diagnóstico de los modelos, dan cuenta de patrones retrospectivos verificables tanto por inspección visual como por métricas de cálculo para indicadores a través del análisis retrospectivo (Mohn’p)(Hurtado et al. 2015). En este sentido, y dadas las reglas para establecer la existencia de patrones retrospectivos, se identifican patrones que debiesen ser considerados en el establecimiento del estado del recurso, y condicionamiento de proyecciones para el análisis de capturas futuras. Por lo tanto, suguiere que las evaluaciones de stock de este recurso con modelos de captura a la edad o tallas, sean analizados para verificar si tambien presentan patrones retrospectivos que requieran su consideración para la asesoria.

En relación con la condición del recurso, no se aprecian notables cambios negativos en indicadores poblacionales como la biomasa desovante, pero si señales de una disminución leve y un cambio de tendencia a lo observado en años previos. La mortalidad por pesca (F) no presentaría incrementos los años recientes.

Los diagramas de fase, presentarian una condición favorable de la población dado los resultados por indicadores de biomasas desovante, mortalidad por pesca y Puntos Biológicos de Referencia. Sin embargo, se requiere mejoramiento del modelo y de la información de entrada. En lo específico, mejorar el ajuste al índice acustico, incorporar la composición por edad del crucero y disponer de datos del desembarque corregido por parte del CCT para los años 2020 y 2021.

### Especificas al modelo de evaluación

Los resultados generados, muestran que existe correspondencia y consistencia en las tendencias y principales indicadores de flujo y estado entre un modelo por flotas y su versión con fracciones no reportadas. Luego, el modelo con desembarques oficiales presentaria cambios de estado importantes contra las versiones que utilizan datos corregidos. Por lo tanto, si bien es informativo el desarrollo de un modelo con datos oficiales para fines comparativos, el establecimiento del estatus y asesoria debiese fundarse en un enfoque con datos correguidos. El desempeño estadístico es un tema a revisar para comprender como un modelo con datos incompleto (no necesariament verosimiles), muestra un mejor desempeño con uno con información correguida. En este punto, la no existencia de serie temporales completas y mezcla de información desde diferentes proyectos es una limitación, lo mismo que la información estructurada.

# REFERENCIAS

**Comité Científico Técnico, 2020**. Documentos Comisión de Trabajo CCT-RDZCS 1 al 5. Capturas totales de merluza común en el período 2002-2019.

**Arancibia, H., H. Robotham, R. Alarcón, M. Barros, O. Santis, C. Sagua. 2017**. Informe Final Proyecto FIP N 2015-45. Metodología para la estandarización de capturas totales anuales históricas. Casos de estudio: pesquerías merluza común y merluza del sur. Universidad de Concepción, 215 p. + Anexos.

**Francis, R.I.C.C. (2011)**. Data weighting in statistical fisheries stock assessment models. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 68: 1124-1138.

**Hurtado-Ferro et al. 2015**. Looking in the rear-view mirror: bias and retrospective patterns in integrated, age-structured stock assessment models. ICES J. Mar. Sci Volume 72, Issue 1, 1 January 2015,99-110, <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsu198>

**McAllister, M.K. and Ianelli, J.N. 1997**. Bayesian stock assessment using catch-age data and the sampling - importance resampling algorithm. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 54: 284–300.

**Methot, R.D., Taylor, I.G., and Chen, Y. 2011**. Adjusting for bias due to variability of estimated recruitments in fishery assessment models. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 68(10): 1744–1760. <doi:10.1139/f2011-092>.

**Subscretaria de Pesca, 2019**. Acta sintética Comité de Manejo de merluza común. Sesión N°29 /2019. Subsecretaría de Pesca.

# Anexos

## Archivo control y data para m1