

EVALUACIÓN DE LA ABUNDANCIA DEL EFECTIVO NORTE DE 41° S DE LA MERLUZA (*MERLUCCIUS HUBBSI*). ESTIMACIÓN DE LA CAPTURA BIOLÓGICAMENTE ACEPTABLE PARA EL AÑO 2023

C. G. Irusta, E. Di Marco y O. C. Wöhler

GDE NO-2022-116306478-APN-DPP#INIDEP

Citar como:

*Irusta, C. G., Di Marco, E. y Wöhler O. C.. 2022. Evaluación de la abundancia del efectivo norte de 41° S de la merluza (*Merluccius hubbsi*). estimación de la captura biológicamente aceptable para el año 2023. Inf Tec Oficial INIDEP N° 054/22, 35 pp.*





EVALUACIÓN DE LA ABUNDANCIA DEL EFECTIVO NORTE DE 41° S DE LA MERLUZA (*MERLUCCIUS HUBBSI*). ESTIMACIÓN DE LA CAPTURA BIOLÓGICAMENTE ACEPTABLE PARA EL AÑO 2023

C. G. Irusta, E. Di Marco y O. C. Wöhler

INIDEP, Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero

Resumen ejecutivo

La evaluación del estado del recurso merluza del efectivo norte fue realizada mediante la aplicación de modelos estadísticos de captura por edad, implementados en la plataforma AD-Model Builder para el periodo 1986-2021.

La inclusión de los resultados de la campaña efectuada en la ZCPAU y extrapolada a todo el efectivo norte evidenció un estado poblacional diferente al evaluado en 2020 y 2021, ya que el índice mostró una caída del 31 % de la biomasa observada respecto de 2016. Su incorporación generó que la recomposición poblacional pudo no ser de la magnitud estimada años anteriores. Por tal motivo, en este trabajo se plantearon tres modelos con el objeto de comprender y explicar los resultados obtenidos. El modelo 1 (M1) no incorporó el dato de la campaña 2021, el modelo 2 (M2) sí y ambos consideraron un cambio en la capturabilidad de la CPUE a partir de 2017, debido al importante incremento de la CPUE en dicho año. El modelo 3 (M3) planteó la posibilidad de que la capturabilidad se hubiera mantenido constante en todo el periodo de observación de la CPUE (1986-2021).

Todos los modelos estimaron una fuerte caída hacia los años 1999-2000 y una cierta estabilidad hasta 2012. A partir dicho año, las biomazas (BT y BR) evidenciaron una tendencia creciente hasta 2017, sin embargo, mucho menor para los M2 y M3 que para el M1. Hacia 2021, este último modelo continuó en ascenso, ya que ningún otro índice marcó una disminución. El M2, disminuyó hacia el último año por el ajuste a la campaña de 2021 y el M3 prosiguió aumentando levemente por la combinación entre el ajuste al dato de campaña y a la CPUE en todo el período.

Las reducciones de biomasa reproductiva estimadas mediante el M2 y el M3 respecto a la evaluación del año anterior evidenciaron la disminución en los Puntos Biológicos de Referencia a 150.000 t y 230.000 t.

Finalmente, se sugiere que las capturas efectuadas en el efectivo norte no sobrepasen las 60.700 t, si se opta por recuperar la biomasa reproductiva a 150.000 t en el mediano plazo, de acuerdo con el M2 que resultó ser más precautorio. Se sugiere que para establecer la captura permitida entre el sector sur de la ZCPAU y los 41° S se le reste a la captura mencionada, el promedio de las últimas declaradas por Argentina y Uruguay en la ZCPAU, que entre 2017 y 2021 fue 22.860 t.

En este contexto, aún en recuperación, se reitera que resulta absolutamente necesario considerar otras medidas para proteger la sobrevivencia de los juveniles y de los desoves a fin de incrementar la biomasa reproductiva y los reclutamientos, mediante áreas de veda y propender al uso de dispositivos selectivos para el escape de juveniles y evitar el descarte.

Palabras Clave

Merluccius hubbsi, norte de 41° S, evaluación, Capturas Biológicamente Aceptables



Introducción

El efectivo norte de merluza (*Merluccius hubbsi*) se distribuye en el área comprendida entre 34° S y 41° S, y es administrado por el organismo binacional de la Comisión Técnica Mixta del Frente Marítimo Argentino - Uruguayo (CTMFM) en el sector de la Zona Común de Pesca Argentino-Uruguaya (ZCPAU) y por Argentina sólo el sector comprendido entre el sur de dicha área y el paralelo 41° S.

Se ha podido identificar un desove que ocurre entre el otoño y el invierno desde los 37° S a los 38° 30' S y entre los 50 m y 100 m de profundidad aproximadamente cuya área de cría permanente se encuentra al norte de 37° S. Los individuos son considerados maduros a partir de los 35 cm LT y se distribuyen a mayor profundidad que los individuos juveniles (Macchi & Pájaro 2003; Dato et al. 2009; Rodrigues & Macchi 2010).

La pesquería argentina de merluza se desarrolló inicialmente sobre este efectivo cuyo puerto base es Mar del Plata, sin embargo, a partir de mediados de la década de 1980, la actividad pesquera se fue desplazando hacia el efectivo sur, por la disminución de las concentraciones rentables del recurso como consecuencia de la depleción de su biomasa, conjuntamente con el deterioro de la estructura etaria de la población. Esto provocó la caída de las capturas totales las cuales disminuyeron desde 1991 en adelante (Irusta y Castrucci, 2021).

La evaluación de este efectivo ha sido desde el año 2020 realizada con los modelos estadísticos estructurados por edad en la plataforma AD-Model Builder, los cuales permitieron incorporar la variabilidad inherente al proceso y a los datos básicos para finalmente obtener los intervalos de confianza de las variables de estado y de los parámetros resultantes (Irusta y Santos, 2020, Irusta et al, 2021). En esta oportunidad, se prosiguió sólo con la aplicación de este tipo de modelo para estimar el estado de explotación del efectivo norte de merluza a fin de asesorar a la autoridad de aplicación sobre los niveles de las Capturas Biológicamente Aceptables (CBA) para el año 2023 y sugerir otras medidas alternativas de manejo que colaboren a alcanzar objetivos de recuperación del recurso.

Materiales y métodos

Para realizar la evaluación del efectivo norte de merluza se utilizó el modelo estadístico de captura por edad (*Statistical Catch at age model*), que fue implementado desde 2020 (Irusta et al 2021) Este método permite estimar la variabilidad asociada a la biomasa total (BT) y reproductiva (BR), a la mortalidad por pesca y al reclutamiento, así como también, a los parámetros correspondientes a las funciones de selección y al *h o steepness*. Cabe aclarar que este modelo también es utilizado para evaluar a la merluza en la Zona Común de Pesca Argentino-Uruguaya desde 2020 con el objeto de unificar la metodología (CTMFM, GT-MERLUZA, 2020, 2021).

Datos de entrada al modelo de evaluación

Las capturas argentinas declaradas de merluza correspondientes al periodo 1986-2021 se obtuvieron de los datos de la estadística pesquera aportados por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SSPyA, agosto de 2022). La captura correspondiente a Brasil provino de las estadísticas de pesca de FAO, actualizadas al año 2020, por lo que se supuso similar en el año siguiente (Tabla 1). La correspondiente a Uruguay, se extrajo de los registros de la CTMFM (Tabla 1).



Tabla 1. Capturas (t) por país correspondientes al efectivo norte de merluza. Fuentes: SSPyA (Argentina), CTMFM (Uruguay) y FAO (datos de Brasil, actualizados a 2019).

| Año | Argentina ZCPAU | Argentina Zona entre la ZCPAU y 41° S | Argentina Norte 41° S | Brasil | Uruguay | Total Norte 41° S | CMP (CFP) |
|------|-----------------|---------------------------------------|-----------------------|--------|---------|-------------------|-----------|
| 1986 | | | 100.978 | 8.817 | 86.213 | 196.008 | |
| 1987 | | | 101.339 | 9.312 | 83.693 | 194.344 | |
| 1988 | | | 49.036 | 8.138 | 60.736 | 117.910 | |
| 1989 | | | 68.766 | 8.343 | 69.329 | 146.438 | |
| 1990 | | | 72.965 | 7.000 | 55.751 | 135.716 | |
| 1991 | | | 119.311 | 6.000 | 95.890 | 221.201 | |
| 1992 | | | 123.004 | 4.500 | 74.509 | 202.013 | |
| 1993 | | | 79.162 | 3.000 | 69.910 | 152.072 | |
| 1994 | | | 81.745 | 1.500 | 56.981 | 140.226 | |
| 1995 | | | 128.757 | 2.550 | 57.874 | 186.886 | |
| 1996 | | | 112.988 | 0 | 57.926 | 170.914 | |
| 1997 | | | 108.697 | 0 | 49.649 | 158.346 | |
| 1998 | | | 71.715 | 0 | 48.384 | 120.099 | |
| 1999 | | | 18.404 | 1.280 | 32.041 | 50.573 | |
| 2000 | 2.948 | 16.839 | 19.787 | 2.260 | 27.197 | 47.210 | |
| 2001 | 22.291 | 36.295 | 58.586 | 2.654 | 27.818 | 89.058 | |
| 2002 | 25.992 | 75.997 | 101.989 | 4.513 | 32.073 | 138.575 | |
| 2003 | 9.680 | 71.890 | 81.570 | 3.072 | 35.023 | 119.665 | |
| 2004 | 8.897 | 27.592 | 36.489 | 1.419 | 39.613 | 77.521 | 75.000 |
| 2005 | 24.647 | 36.732 | 61.379 | 1.770 | 41.181 | 104.330 | 84.000 |
| 2006 | 14.483 | 11.742 | 26.225 | 1.952 | 28.031 | 56.208 | 75.600 |
| 2007 | 4.512 | 19.062 | 23.574 | 2.075 | 25.249 | 50.898 | 62.000 |
| 2008 | 23.089 | 40.054 | 63.143 | 1.826 | 28.023 | 92.991 | 59.000 |
| 2009 | 14.346 | 43.249 | 57.595 | 2.014 | 26.364 | 85.973 | 59.000 |
| 2010 | 5.487 | 31.063 | 36.550 | 1.901 | 33.664 | 72.115 | 48.000 |
| 2011 | 3.224 | 40.237 | 43.461 | 1.914 | 35.833 | 81.208 | 48.000 |
| 2012 | 721 | 23.185 | 23.906 | 2.047 | 25.501 | 51.454 | 40.000 |
| 2013 | 4.015 | 19.553 | 23.568 | 1.661 | 24.314 | 49.543 | 35.000 |
| 2014 | 3.193 | 20.811 | 24.003 | 2.006 | 15.956 | 41.965 | 32.000* |
| 2015 | 2.220 | 30.102 | 32.322 | 1.810 | 15.666 | 49.798 | 30.000* |
| 2016 | 7.997 | 31.569 | 39.568 | 1.810 | 10.502 | 51.880 | 30.000* |
| 2017 | 16.634 | 28.977 | 45.611 | 1.810 | 15.560 | 62.981 | 35.000* |
| 2018 | 8.638 | 20.910 | 29.548 | 1.810 | 19.741 | 51.099 | 33.000* |
| 2019 | 9.373 | 20.964 | 30.337 | 1.810 | 14.563 | 46.710 | 33.000* |
| 2020 | 3.829 | 22.192 | 26.021 | 1.810 | 11.321 | 39.152 | 42.000* |
| 2021 | 4.339 | 19.290 | 23.628 | 1.810 | 10.441 | 35.869 | 37.000* |

* CMP correspondientes al sector localizado al sur de ZCP hasta 41° S, ya que en la Zona Común de Pesca Argentino Uruguay fueron establecidas en 70.000 t (Res. CTMFM 18/21). Los valores anteriores fueron consignados para la totalidad del área.



La captura por edad en número de individuos correspondiente al año 2021 se estimó a partir de los datos provenientes del Programa de Observadores a Bordo y del Gabinete de Determinación de Edades de Organismos Marinos del INIDEP (Santos, com. pers)¹. Los números de individuos y los pesos medios por edad se observan en las Tablas 2 y 3.

Tabla 2. Número de individuos (miles) capturados por edad correspondientes al período 1986-2021. Merluza efectivo norte de 41° S.

| Año/Edad | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7+ |
|----------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|
| 1986 | 3.591 | 110.669 | 96.833 | 67.599 | 28.606 | 16.124 | 10.280 |
| 1987 | 3.974 | 102.897 | 83.112 | 48.106 | 43.317 | 21.562 | 15.786 |
| 1988 | 21.420 | 150.115 | 55.076 | 22.996 | 8.859 | 4.016 | 2.303 |
| 1989 | 12.086 | 124.107 | 81.206 | 37.609 | 13.025 | 5.280 | 2.472 |
| 1990 | 17.195 | 117.282 | 72.776 | 33.677 | 10.568 | 4.953 | 3.775 |
| 1991 | 12.828 | 161.873 | 120.958 | 60.514 | 22.495 | 8.197 | 4.736 |
| 1992 | 5.574 | 144.935 | 111.081 | 53.906 | 15.897 | 8.881 | 5.706 |
| 1993 | 3.118 | 136.884 | 75.788 | 38.430 | 8.708 | 5.923 | 3.474 |
| 1994 | 8.382 | 159.236 | 100.681 | 30.422 | 4.206 | 1.606 | 4.229 |
| 1995 | 8.958 | 159.162 | 146.972 | 48.833 | 6.628 | 2.788 | 6.690 |
| 1996 | 13.420 | 155.270 | 131.831 | 44.220 | 5.366 | 1.898 | 5.432 |
| 1997 | 11.303 | 232.336 | 65.413 | 24.371 | 5.785 | 1.895 | 2.455 |
| 1998 | 9.415 | 120.135 | 74.440 | 23.234 | 5.886 | 2.249 | 1.696 |
| 1999 | 1.410 | 39.684 | 25.368 | 8.872 | 3.213 | 1.717 | 1.586 |
| 2000 | 1.774 | 31.638 | 23.847 | 12.186 | 3.269 | 1.822 | 1.645 |
| 2001 | 10.538 | 66.278 | 49.519 | 19.578 | 5.858 | 2.714 | 1.907 |
| 2002 | 13.233 | 205.528 | 83.546 | 12.460 | 3.990 | 2.313 | 816 |
| 2003 | 25.651 | 149.722 | 69.246 | 22.709 | 3.768 | 1.202 | 1.012 |
| 2004 | 42.852 | 98.720 | 35.598 | 7.881 | 1.717 | 144 | 332 |
| 2005 | 5.833 | 167.099 | 50.224 | 10.021 | 3.370 | 868 | 604 |
| 2006 | 1.043 | 21.719 | 36.150 | 16.309 | 4.441 | 1.279 | 636 |
| 2007 | 6.070 | 25.268 | 27.639 | 17.519 | 2.749 | 748 | 331 |
| 2008 | 17.656 | 109.155 | 43.706 | 14.034 | 6.966 | 1.241 | 660 |
| 2009 | 23.105 | 114.014 | 37.855 | 9.078 | 2.841 | 2.052 | 1.024 |
| 2010 | 19.244 | 83.678 | 36.853 | 10.639 | 2.169 | 1.139 | 891 |
| 2011 | 21.680 | 80.261 | 59.202 | 10.929 | 3.754 | 1.403 | 1.421 |
| 2012 | 8.216 | 47.705 | 30.755 | 10.605 | 4.747 | 1.070 | 714 |
| 2013 | 3.871 | 63.419 | 31.750 | 9.735 | 2.524 | 780 | 549 |
| 2014 | 14.677 | 30.108 | 27.475 | 12.331 | 3.530 | 1.280 | 893 |
| 2015 | 7.201 | 57.755 | 28.680 | 9.957 | 2.965 | 1.015 | 427 |
| 2016 | 9.883 | 41.938 | 37.737 | 13.247 | 3.571 | 1.260 | 429 |
| 2017 | 14.186 | 51.720 | 45.784 | 17.699 | 5.405 | 1.661 | 770 |
| 2018 | 9.750 | 48.894 | 37.964 | 12.173 | 3.965 | 1.480 | 807 |
| 2019 | 11.448 | 43.103 | 34.239 | 9.108 | 3.617 | 1.723 | 980 |
| 2020 | 8.353 | 35.140 | 24.673 | 9.585 | 3.841 | 931 | 736 |
| 2021 | 3.825 | 32.102 | 28.999 | 7.775 | 2.555 | 951 | 405 |

¹ Santos, B. Programa Merluza y Fauna Acompañante. INIDEP



Tabla 3. Peso medio por edad (Kg) estimado a partir de la pesca comercial. Período 1986-2021. Merluza efectivo norte de 41° S.

| Año/Edad | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7+ |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1986 | 0,235 | 0,369 | 0,540 | 0,683 | 0,842 | 1,081 | 1,399 |
| 1987 | 0,253 | 0,366 | 0,547 | 0,732 | 0,803 | 1,015 | 1,162 |
| 1988 | 0,227 | 0,334 | 0,524 | 0,700 | 0,991 | 1,370 | 1,579 |
| 1989 | 0,234 | 0,366 | 0,587 | 0,725 | 1,006 | 1,211 | 1,509 |
| 1990 | 0,207 | 0,345 | 0,579 | 0,719 | 1,011 | 1,494 | 1,908 |
| 1991 | 0,257 | 0,392 | 0,592 | 0,718 | 0,972 | 1,191 | 1,626 |
| 1992 | 0,263 | 0,367 | 0,621 | 0,766 | 0,994 | 1,270 | 1,739 |
| 1993 | 0,288 | 0,409 | 0,608 | 0,765 | 0,917 | 1,033 | 1,587 |
| 1994 | 0,238 | 0,353 | 0,513 | 0,672 | 0,886 | 1,343 | 0,949 |
| 1995 | 0,221 | 0,351 | 0,529 | 0,693 | 0,919 | 1,411 | 1,113 |
| 1996 | 0,191 | 0,347 | 0,532 | 0,703 | 0,897 | 1,410 | 1,062 |
| 1997 | 0,230 | 0,358 | 0,597 | 0,848 | 1,207 | 1,390 | 1,320 |
| 1998 | 0,164 | 0,337 | 0,577 | 0,906 | 1,232 | 1,581 | 1,939 |
| 1999 | 0,181 | 0,363 | 0,553 | 1,042 | 1,617 | 2,017 | 2,491 |
| 2000 | 0,155 | 0,359 | 0,581 | 0,906 | 1,301 | 1,568 | 2,171 |
| 2001 | 0,141 | 0,343 | 0,592 | 0,954 | 1,381 | 1,681 | 2,212 |
| 2002 | 0,188 | 0,346 | 0,529 | 0,860 | 1,066 | 1,692 | 2,321 |
| 2003 | 0,191 | 0,343 | 0,535 | 0,834 | 1,098 | 1,377 | 1,687 |
| 2004 | 0,219 | 0,367 | 0,598 | 0,937 | 1,352 | 1,886 | 2,025 |
| 2005 | 0,174 | 0,336 | 0,583 | 0,998 | 1,500 | 1,641 | 2,309 |
| 2006 | 0,163 | 0,384 | 0,628 | 0,947 | 1,430 | 1,682 | 1,668 |
| 2007 | 0,164 | 0,380 | 0,619 | 0,956 | 1,502 | 2,252 | 1,925 |
| 2008 | 0,167 | 0,356 | 0,583 | 0,917 | 1,259 | 2,080 | 2,237 |
| 2009 | 0,180 | 0,367 | 0,607 | 0,901 | 1,218 | 1,549 | 2,048 |
| 2010 | 0,179 | 0,365 | 0,580 | 0,900 | 1,389 | 1,920 | 2,231 |
| 2011 | 0,183 | 0,326 | 0,548 | 0,874 | 1,025 | 1,136 | 2,541 |
| 2012 | 0,150 | 0,376 | 0,544 | 0,790 | 1,008 | 1,307 | 1,409 |
| 2013 | 0,174 | 0,309 | 0,515 | 0,839 | 1,054 | 1,300 | 1,934 |
| 2014 | 0,166 | 0,322 | 0,510 | 0,768 | 1,030 | 1,197 | 1,318 |
| 2015 | 0,169 | 0,341 | 0,524 | 0,838 | 1,121 | 1,636 | 1,268 |
| 2016 | 0,160 | 0,316 | 0,520 | 0,809 | 1,155 | 1,342 | 2,110 |
| 2017 | 0,149 | 0,300 | 0,470 | 0,797 | 1,105 | 1,475 | 1,705 |
| 2018 | 0,165 | 0,301 | 0,459 | 0,763 | 1,146 | 1,398 | 1,795 |
| 2019 | 0,141 | 0,312 | 0,481 | 0,767 | 1,104 | 1,366 | 1,871 |
| 2020 | 0,161 | 0,333 | 0,512 | 0,721 | 1,003 | 1,512 | 1,776 |
| 2021 | 0,156 | 0,325 | 0,491 | 0,790 | 1,051 | 1,157 | 1,631 |

La actualización de la serie de la CPUE proveniente de la flota comercial del tipo fresquera del período 1986-2021 fue realizada por Irusta y Castrucci (2022, Tabla 4).



Tabla 4. Captura por unidad de esfuerzo (CPUE) estandarizada de la flota fresquera arrastrera de altura argentina y el esfuerzo total estándar expresado en horas de arrastre correspondiente al efectivo norte. 1986-2021.

| Año | CPUE (Kg/h) | Esfuerzo Estándar (h) | Año | CPUE (Kg/h) | Esfuerzo Estándar (h) |
|------|-------------|-----------------------|------|-------------|-----------------------|
| 1986 | 1.542 | 145.906 | 2004 | 413 | 187.868 |
| 1987 | 1.899 | 118.079 | 2005 | 491 | 212.280 |
| 1988 | 798 | 171.797 | 2006 | 305 | 184.043 |
| 1989 | 1.294 | 131.648 | 2007 | 259 | 196.185 |
| 1990 | 1.664 | 94.032 | 2008 | 350 | 265.930 |
| 1991 | 1.970 | 130.011 | 2009 | 450 | 191.012 |
| 1992 | 1.539 | 152.583 | 2010 | 370 | 194.965 |
| 1993 | 1.138 | 155.286 | 2011 | 451 | 179.946 |
| 1994 | 899 | 180.835 | 2012 | 400 | 128.776 |
| 1995 | 842 | 257.829 | 2013 | 424 | 116.915 |
| 1996 | 699 | 283.967 | 2014 | 397 | 105.715 |
| 1997 | 600 | 307.033 | 2015 | 501 | 99.335 |
| 1998 | 438 | 319.073 | 2016 | 586 | 88.457 |
| 1999 | 238 | 247.254 | 2017 | 865 | 72.847 |
| 2000 | 318 | 172.576 | 2018 | 774 | 66.024 |
| 2001 | 559 | 184.936 | 2019 | 787 | 59.365 |
| 2002 | 634 | 253.347 | 2020 | 714 | 54.857 |
| 2003 | 565 | 246.592 | 2021 | 795 | 45.104 |

El número de individuos por grupo de edad estimado a partir de las campañas globales de evaluación dirigidas a estimar la abundancia del efectivo norte de los años 1996-2001, 2003, 2005, 2006, 2008, 2011, 2012 y 2016 fue utilizado como índice para calibrar todos los modelos (Tabla 5).

Como el modelo estadístico de captura a la edad permite la incorporación de índices globales, se utilizó la serie de biomasa en peso de las campañas mencionadas como índice de calibración. Durante 2021, se realizó la campaña de evaluación de merluza sólo en el sector de la Zona Común de Pesca Argentino-Uruguayo, debido a inconvenientes técnicos en el buque de investigación Dr. E. Holmberg, por lo que no se obtuvo un indicador para todo el efectivo al norte de 41° S. Sin embargo, en esta oportunidad y en función de la información de todas las campañas globales realizadas se estimó un factor promedio de proporcionalidad de la ZCPAU, el cual fue extrapolado al área total a partir de la información parcial de 2021. El valor estimado respecto de la campaña de 2016 mostró una caída de alrededor del 31 %. Este resultado fue utilizado como un escenario de evaluación (Modelos **M2** y **M3**). Sin embargo, no se pudo estimar la estructura por edad, ya que ésta no es similar entre la ZCPAU y la Zona Económica Exclusiva hasta 41° S (Irusta et al 2017).

Se utilizó un único vector de pesos medios por edad derivado de los datos de la campaña de evaluación correspondiente al año 1997, ya que representó una situación promedio del período, estimándolo al primero de enero (Tabla 6).



Tabla 5. Número de individuos por edad (miles) estimados a partir de los datos de las campañas de investigación dirigidas a evaluar al efectivo norte de merluza.

| Año/ Edad | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7+ |
|--------------|---------|---------|---------|--------|--------|-------|-------|
| 1996 | 444.832 | 216.981 | 106.258 | 47.096 | 17.632 | 7.589 | 8.660 |
| 1997 | 213.845 | 163.359 | 71.361 | 27.851 | 11.925 | 6.998 | 6.374 |
| 1998 | 96.543 | 132.764 | 68.138 | 34.383 | 6.995 | 4.681 | 3.653 |
| 1999 | 120.069 | 62.083 | 57.859 | 23.197 | 6.126 | 3.131 | 2.768 |
| 2000 | 391.031 | 87.449 | 39.225 | 18.498 | 8.945 | 3.101 | 2.536 |
| 2001 | 464.002 | 75.888 | 22.667 | 9.303 | 7.058 | 3.197 | 2.554 |
| 2003 | 287.942 | 89.301 | 39.679 | 21.590 | 6.911 | 3.300 | 4.169 |
| 2005 | 141.257 | 134.113 | 39.161 | 13.647 | 4.639 | 1.784 | 972 |
| 2006 | 128.271 | 68.319 | 37.384 | 23.441 | 7.620 | 3.860 | 1.834 |
| 2008 | 66.354 | 62.536 | 19.649 | 8.465 | 7.838 | 1.703 | 481 |
| 2011 | 322.951 | 130.266 | 31.426 | 10.435 | 4.660 | 2.007 | 2.300 |
| 2012 | 290.595 | 116.753 | 19.098 | 8.440 | 4.452 | 2.634 | 1.936 |
| 2016 | 357.593 | 137.218 | 52.630 | 19.322 | 7.302 | 3.118 | 2.020 |

Tabla 6. Pesos medios por edad (Kg) estimados a partir de los datos de la campaña de investigación dirigida a evaluar al efectivo norte de merluza correspondiente al año 1997 y recalculados al primero de enero.

| Edad | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7+ |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Peso | 0,045 | 0,177 | 0,394 | 0,692 | 1,067 | 1,515 | 2,034 |

La mortalidad natural (M) se consideró constante por edad y a través de los años (Renzi, 1996). En la Tabla 7 se indican los valores de M y la proporción de individuos maduros por edad, constante para todo el período (Bezzi *et al.*, 2004).

Tabla 7. Tasa de mortalidad natural (M) y proporción de individuos maduros por edad correspondiente al efectivo norte de merluza.

| Edad | M | % Maduros |
|------|-----|-----------|
| 1 | 0,3 | 0,005 |
| 2 | 0,3 | 0,142 |
| 3 | 0,3 | 0,838 |
| 4 | 0,3 | 0,994 |
| 5 | 0,3 | 1,000 |
| 6 | 0,3 | 1,000 |
| 7+ | 0,3 | 1,000 |

Con el objeto de calibrar la abundancia de juveniles, se empleó la información proveniente de las campañas de evaluación de juveniles de merluza realizadas por los buques del INIDEP durante el mes de diciembre en los años 1994, 1995 y 1997 al 1999. El número de individuos de edad 1



capturado por hora de arrastre se utilizó para calibrar la abundancia relativa de la edad 2 en enero del año siguiente (Tabla 8).

Tabla 8. Número de individuos (miles) por hora de arrastre correspondiente a la edad 1, estimado a partir de las campañas de evaluación de juveniles de merluza, efectuadas durante diciembre del período 1994-1995 y 1997-1999.

| Año | Edad 2 |
|------|--------|
| 1995 | 4.532 |
| 1996 | 2.798 |
| 1998 | 1.076 |
| 1999 | 467 |
| 2000 | 371 |

Se consideraron también los índices de abundancia de edad 1, derivados de las campañas de investigación conjuntas realizadas por el buque de bandera uruguaya Aldebarán, durante el otoño y primavera. Estas campañas estuvieron dirigidas a delimitar áreas de veda, y por lo tanto, a evaluar la distribución y abundancia de juveniles de merluza en la ZCPAU. La distribución de lances varió a través de las épocas y de los años, por lo que los índices fueron recalculados considerando solamente los mismos estratos en cada estación del año (Tabla 9).

Tabla 9. Abundancia de juveniles de edad 1 del efectivo norte de merluza (N_{ind}/mn^2 , en miles) estimada a partir de las campañas de otoño y primavera realizadas por el BIP Aldebarán.

| Año | Primavera | Otoño |
|------|-----------|--------|
| 1991 | 65,68 | |
| 1992 | 45,34 | |
| 1993 | 24,43 | 59,91 |
| 1994 | 34,34 | 16,99 |
| 1995 | 19,13 | 14,03 |
| 1996 | 29,52 | 17,39 |
| 1997 | 16,1 | 53,74 |
| 1998 | | 23,35 |
| 1999 | | 27,45 |
| 2000 | 14,13 | 22,82 |
| 2001 | | 49,47 |
| 2006 | | 13,88 |
| 2007 | 19,34 | 101,45 |
| 2008 | 14,02 | 57,74 |
| 2009 | 18,24 | |
| 2010 | 35,71 | 36,63 |
| 2011 | | 103,91 |



Modelo estructurado por edad (SCAA)

A fin de diagnosticar la abundancia de la merluza, se aplicó un Modelo Estadístico de Captura a la Edad (SCAA, por sus siglas en inglés), el cual considera incertidumbre en las proporciones etarias de la captura (Deriso et al. 1985; Hilborn 1990; Butterworth y Punt 1992; Francis 1992; Punt 1994). La incertidumbre asociada al vector de los reclutamientos anuales y al vector de mortalidades por pesca por edad en el año de inicio de la explotación también fue considerada.

El modelo se aplicó mediante un lenguaje de programación en plataforma AD Model Builder (<http://www.admb-project.org/>), la cual representa una potente herramienta, ampliamente utilizada en las evaluaciones de diferentes especies explotadas, ya que cuenta con la ventaja de poder definir funciones complejas a ser minimizadas y de estimar una gran cantidad de parámetros, con la incertidumbre asociada a los mismos.

Se consideró una edad mínima de $a=1$ y una edad máxima, definida como grupo *plus*, de $a=A=7+$.

El número de individuos por edad en el estado de equilibrio virgen ($N_{a,v}$) se calculó, en forma de una “pseudo-cohorte”, a partir del reclutamiento virginal ($N_{1,v}$), el cual se estimó como parámetro del modelo, y de la tasa de mortalidad natural, de la siguiente forma:

$$N_{a,v} = \begin{cases} N_{a,v} & a = 1 \\ N_{a,v} e^{-\sum_{a=1}^{a-1} M} & 2 \leq a < A \\ N_{a,v} e^{-\sum_{a=1}^{a-1} M} / (1 - e^{-\sum_{a=1}^A M}) & a = A \end{cases}$$

Luego, se calculó la biomasa reproductiva virginal (BR_v) a partir del número de individuos $N_{a,v}$, pesos medios $W_{a,v}$ y proporción de individuos maduros m_a :

$$BR_v = \sum_{a=1}^A N_{a,v} W_{a,v} m_a$$

Los pesos medios en el estado virgen se asumieron idénticos a los pesos medios en el año de inicio del período ($W_{a,v} = W_{a,1986}$).

El vector estado a comienzos del año inicial del período de explotación aquí considerado ($N_{a,1986}$) se calculó a partir de la estimación del número de reclutas en el estado virgen como una cohorte sometida a explotación ($F_{a,1986} = f_{1986} S_{a,1986}$) y acompañado por una “perturbación estocástica” representada por un vector de errores por edad (ϵ_a^{Nini}) estimados como parámetros en el modelo:

$$N_{a,1986} = \begin{cases} N_{a,v} \epsilon_a^{Nini} & a = 1 \\ N_{a,v} e^{-\sum_{a=1}^{a-1} M + f_{1986} S_{a,1986}} \epsilon_a^{Nini} & 2 \leq a < A \\ N_{a,v} e^{-\sum_{a=1}^{a-1} M + f_{1986} S_{a,1986}} \epsilon_{a-1}^{Nini} / \left[\left(1 - e^{-\sum_{a=1}^A M + f_{1986} S_{a,1986}} \right) \epsilon_a^{Nini} \right] & a = A \end{cases}$$

bajo la condición: $\sum_{a=1}^A \epsilon_a^{Nini} = 0$, con $\epsilon_a^{Nini} \sim N(-\sigma_{Nini}^2/2, \sigma_{Nini})$

Los reclutamientos anuales del resto del período de diagnóstico ($N_{1,t}$ para $t=1987, \dots, 2021$) se estimaron, al comienzo de cada año, por medio de la relación stock-recluta de Beverton & Holt (1957) a la cual se adicionó un término de error anual (ϵ_t^R para $t=1987, \dots, 2021$), log-normalmente distribuido, y que se estimó como parámetro del modelo. El resto de las edades (2 a 7+) se calcularon

Evaluación del estado de explotación de la merluza (*Merluccius hubbsi*) del efectivo norte de 41° S y sugerencias de manejo para 2023



como cohortes sometidas a explotación suponiendo separabilidad de las tasas de mortalidad por pesca ($F_{a,t} = f_t S_{a,t}$), es decir, las mismas se diferenciaron en un factor que representó a la componente anual de la mortalidad por pesca (f_t) estimado como parámetro del modelo y un vector de proporciones o “patrón de selección” ($S_{a,t}$) correspondiente a la componente etaria de la mortalidad por pesca. La dinámica poblacional quedó definida en las siguientes ecuaciones:

$$N_{t,a} = \begin{cases} \frac{BR_{t-1}}{\alpha + \beta BR_{t-1}} e^{\epsilon_t^R} & a = 1 \\ N_{a-1,t-1} e^{-(M+f_{t-1}S_{a-1,t-1})} & 1 < a < A \\ N_{a-1,t-1} e^{-(M+f_{t-1}S_{a-1,t-1})} + N_{t-1,a} e^{-(M+f_{t-1}S_{a,t-1})} & a = A \end{cases}$$

para los años $t=1987, \dots, 2021$

bajo la condición: $\sum_{t=1987}^{2021} \epsilon_t^R = 0$, con $\epsilon_t^R \sim N(-\sigma_R^2/2, \sigma_R)$

donde $N_{t,a}$ es el número de peces de edad a al comienzo del año t ; BR_{y-1} es la biomasa reproductiva del año anterior; α y β son los parámetros de la función *stock-recluta* de Beverton & Holt (1957); ϵ_t^R es el término de error anual que acompaña a la función de reclutamiento para cada año t ; σ_R es la variabilidad de ϵ_t^R ; M es la tasa de mortalidad natural, constante para todo tiempo y edad; $S_{a,t}$ son los patrones de selección de la edad a en el año t , correspondientes a la flota argentina; f_t son los factores anuales de mortalidad por pesca en cada año t ; A es la edad máxima, considerada un grupo plus (7+).

Los coeficientes α y β de la relación *stock-recluta* se calcularon a partir de las ecuaciones que lo relacionan en función del parámetro h (*steepness*) estimado por el modelo, de la siguiente forma:

$$\alpha = 4hN_{1,y}/(5h - 1)$$

$$\beta = (1 - h)BR_y/(5h - 1)$$

La biomasa total (B_t) y reproductiva (BR_t), calculadas al comienzo de cada año t , y la biomasa explotable correspondiente a la flota en conjunto (B_{exp_t}) tomadas a mediados de año ($t+0,5$), se estimaron de la siguiente forma:

$$B_t = \sum_{a=1}^A N_{a,t} W_{a,t} \quad \text{para } t=1986, \dots, 2021$$

$$BR_t = \sum_{a=1}^A N_{a,t} W_{a,t} m_a \quad \text{para } t=1986, \dots, 2021$$

$$B_{exp_t} = \sum_{a=1}^A N_{a,t} W_{a,t+0,5} S_{t,a} e^{-0,5(M+f_t S_{a,t})} \quad \text{para } t=1986, \dots, 2021$$

donde $W_{a,t}$ y $W_{a,t+0,5}$ expresan los pesos medios de la edad (a) a comienzo y mediado del año, respectivamente, siendo m_a la proporción de ejemplares adultos por edad.

Las capturas nominales anuales (en peso) se asumieron como exactas. Para ello, las capturas anuales estimadas por el modelo (\hat{C}_t) se ajustaron a las observadas mediante el empleo de una función análoga a la función de verosimilitud, correspondiente a una distribución log-normal, asignándole un coeficiente de variación lo suficientemente pequeño ($cv=0,001$), de forma que dicho ajuste se realizara con un error residual mínimo. En cada año, se resolvió la ecuación de Baranov (1918) definida como:

$$\hat{C}_t = \sum_{a=1}^A N_{a,t} W_{a,t+0,5} S_{a,t} f_t \frac{1 - e^{-(M+S_{a,t} f_t)}}{M + S_{a,t} f_t}$$



Los patrones de selección se modelaron de acuerdo a una curva en forma de domo dependiente de la edad. La forma funcional de dicha curva fue de tipo doble-normal con tres parámetros a ser estimados por el modelo:

$$S_{a,t} = \begin{cases} e^{-0,5(a - a50_b)^2 / \sigma_{I_b}^2} & \text{para } a < a50_b \\ e^{-0,5(a - a50_b)^2 / \sigma_{D_b}^2} & \text{para } a \geq a50_b \end{cases}$$

donde $S_{a,t}$ representa la proporción de individuos de edad a seleccionados por la flota en el año t ; $a50_b$ es el parámetro de la curva doble-normal asociado a la edad a a la cual se produce el 50% de selección, estimado para cada bloque de selección b ; σ_{I_b} y σ_{D_b} son los parámetros de la curva doble-normal asociados a la forma de función del lado izquierdo y derecho, respectivamente, estimados para cada bloque de selección b . Sobre la base de las proporciones por edad observadas se consideraron cuatro bloques de selección b : $b=1$ para los años $t=1986$ a 1990 , $b=2$ para los años $t=1991$ a 1996 , $b=3$ para los años $t=1997$ a 2013 y $b=4$ para los años $t=2014$ a 2021 .

Ajuste de índices de abundancia

A fin de calibrar el modelo de evaluación, para cada índice de abundancia utilizado, se asumió una relación lineal entre el valor del índice estimado (\hat{I}_t^i) y el índice observado (I_t^i), mediante un factor de proporcionalidad representado por el coeficiente de capturabilidad (q^i). Dicho coeficiente se calculó a partir de la expresión analítica de su estimador de máxima verosimilitud (EMV) a fin de reducir el número de parámetros a estimar, y teniendo en cuenta el número de años (n^i) con valores disponibles de la serie anual del índice observado.

Los índices de abundancia empleados para calibrar el modelo de evaluación derivaron de las campañas de investigación y de la CPUE derivada de la flota argentina.

Índice derivado de campaña integral conjunta (septiembre) efectuada por los B/I Holmberg y Oca Balda:

$$\hat{I}_t^{GA} = q^{GA} B_t^{GA} ; \quad q^{GA} = e^{\frac{1}{n^{GA}} \sum_t (\ln \hat{I}_t^{GA} - \ln I_t^{GA})} ; \quad B_t^{GA} = \sum_{a=1}^A N_{a,t} e^{-0,75(M+F_t)} W_{a,t+0,75}$$

para $t= 1996$ a 2001 , 2003 , 2005 , 2006 , 2011 , 2012 , 2016 , en escenario 1 (E1) y con el agregado de la estimación de 2021 en el escenario 2 (E2).

Índice derivado de la campaña de juveniles conjunta de verano (enero), realizada por el B/I Holmberg:

$$\hat{I}_t^{JA} = q^{JA} N_t^{JA} ; \quad q^{JA} = e^{\frac{1}{n^{JA}} \sum_t (\ln \hat{I}_t^{JA} - \ln I_t^{JA})} ; \quad N_t^{JA} = N_{2,t}$$

para $t= 1995$, 1996 , 1998 a 2000

Índice derivado de la campaña de juveniles conjunta de otoño (mayo), efectuada por el B/I Aldebarán:

$$\hat{I}_t^{JoU} = q^{JoU} N_t^{JoU} ; \quad q^{JoU} = e^{\frac{1}{n^{JoU}} \sum_t (\ln \hat{I}_t^{JoU} - \ln I_t^{JoU})} ; \quad N_t^{JoU} = N_t e^{-0,417(M+F_t)}$$



para $t = 1993$ a 2001 , 2006 a 2008 , 2010 , 2011

Índice derivado de la campaña de juveniles conjunta de primavera (septiembre) realizada por el B/I Aldebarán:

$$\hat{I}_t^{JPV} = q^{JPV} N_t^{JPV}; \quad q^{JPV} = e^{\frac{1}{n^{JPV}} \sum_t (\ln \hat{I}_t^{JPV} - \ln I_t^{JPV})}; \quad N_t^{JPV} = N_t e^{-0,75(M+F_t)}$$

para $t = 1991$ a 2000 , 2007 a 2010

Índice derivado de la CPUE de la flota argentina (mitad de año: julio):

$$\hat{I}_t^{CPUE} = q^{CPUE} B \exp_t; \quad q^{CPUE} = e^{\frac{1}{n^{CPUE}} \sum_t (\ln \hat{I}_t^{CPUE} - \ln I_t^{CPUE})};$$

para $t = 1986$ al 2021

Ajuste de las composiciones por edad

A partir del número de individuos por grupo de edad obtenido en las campañas de evaluación, ($Nobs_{a,t}^A$), se calcularon las proporciones observadas por edad ($pNobs_{a,t}^A$) para ser utilizadas como índices de ajustes, según:

$$pNobs_{a,t}^A = \frac{Nobs_{a,t}^A}{\sum_{a=1}^A Nobs_{a,t}^A}$$

Las proporciones del número de individuos por grupo de edad y año y estimadas por el modelo ($pN_{a,t}$) se calcularon como:

$$pN_{a,t} = \frac{N_{a,t}}{\sum_{a=1}^A N_{a,t}}$$

Asimismo se estimaron las proporciones por edad observadas ($pCnobs_{a,t}$) del número de individuos capturados ($Cnobs_{a,t}$) por grupo de edad a y año t a partir de los datos observados a bordo de la flota arrastrera según:

$$pCnobs_{a,t} = \frac{Cnobs_{a,t}}{\sum_{a=1}^A Cnobs_{a,t}}$$

Las proporciones estimadas por el modelo ($pCn_{a,t}$) del número de individuos capturados ($Cn_{a,t}$) por grupo de edad y año se calcularon en forma similar que las observadas:

$$pCn_{a,t} = \frac{Cn_{a,t}}{\sum_{a=1}^A Cn_{a,t}}$$

El número de individuos capturados ($Cn_{a,t}$) se calculó mediante la ecuación de captura de Baranov (1918):

$$Cn_{a,t} = \sum_{a=1}^A N_{a,t} S_{a,t} f_t \frac{1 - e^{-(M + S_{a,t} f_t)}}{M + S_{a,t} f_t}$$



Funciones de verosimilitud

Los parámetros del modelo fueron estimados utilizando “Estimación de Máxima Verosimilitud” (MLE, por sus siglas en inglés), mediante la minimización de la función objetivo en distintas fases de optimización. Esta estuvo representada por la log-verosimilitud negativa total ($-\ln L$), calculada como la suma de las componentes parciales ($-\ln L^j$) correspondientes a los errores en la mortalidad por pesca por edad utilizada en el año de inicio del diagnóstico, los errores en los reclutamientos anuales, las capturas totales anuales, los índices de abundancia, las composiciones por edad de las campañas y de la captura y las *priors* correspondientes al parámetro h (*steepness*) y a los parámetros de las curvas de selección en sus distintos bloques:

$$\begin{aligned}
 -\ln L &= -\sum_{j=1}^k \ln L^j \\
 &= -\ln L^{\epsilon_a^{Nini}} - \ln L^{\epsilon_t^R} - \ln L^C - \ln L^{GA} - \ln L^{JA} - \ln L^{JoU} - \ln L^{JpU} - \ln L^{Cpue} \\
 &\quad - \ln L^{pCnA} - \ln L^{pNGA} - \ln L^h - \sum_{b=1}^m \ln L^{a50b} - \sum_{b=1}^m \ln L^{\sigma_{Ib}} - \sum_{b=1}^m \ln L^{\sigma_{Db}}
 \end{aligned}$$

Donde:

- $-\ln L$ es la log-verosimilitud negativa total,
- $-\ln L^j$ es cada una de las componentes de log-verosimilitudes negativas j ; k es el total de componentes;
- $-\ln L^{\epsilon_a^{Nini}}$: errores de la mortalidad por pesca en el año 1986;
- $-\ln L^{\epsilon_t^R}$: errores de los reclutamientos anuales;
- $-\ln L^C$: de las capturas totales;
- $-\ln L^{GA} - \ln L^{JA} - \ln L^{JoU} - \ln L^{JpU} - \ln L^{Cpue}$ correspondientes a los índices de abundancia derivados de las campañas globales, juveniles de verano, juveniles de otoño y de primavera y CPUE, respectivamente;
- $-\ln L^{pCnA} - \ln L^{pNGA}$ referidas a las proporciones por edad de la captura total y de las campañas globales, respectivamente
- $-\ln L^h$ correspondiente a la *prior* del parámetro h (*steepness*)
- $-\ln L^{a50b}$, $-\ln L^{\sigma_{Ib}}$ y $-\ln L^{\sigma_{Db}}$ referidas a las *priors* de los parámetros de las curvas de selección.

Verosimilitud de los vectores de errores asociados al número de individuos por edad en 1986 y en los reclutamientos 1987-2021

Los errores asociados al número de individuos por edad en el año inicial 1986 (ϵ_a^{Nini}) y de los reclutamientos anuales en el período 1987-2021 (ϵ_t^R) se ponderaron relacionando su peso con la inversa de la varianza, de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 -\ln L^{\epsilon_a^{Nini}} &= \frac{n_a}{2} \ln(\sigma_{\epsilon_a^{Nini}}) + \frac{1}{2\sigma_{\epsilon_a^{Nini}}^2} \sum_{a=2}^A (\epsilon_a^{Nini})^2 \\
 -\ln L^{\epsilon_t^R} &= \frac{n_t}{2} \ln(\sigma_{\epsilon_t^R}) + \frac{1}{2\sigma_{\epsilon_t^R}^2} \sum_{t=1987}^{2021} (\epsilon_t^R)^2
 \end{aligned}$$

donde los valores para $\sigma_{\epsilon_a^{Nini}}$ y $\sigma_{\epsilon_t^R}$ se asumieron fijos en 0,6 y 0,3, respectivamente.

*Verosimilitud de las capturas totales anuales*

En la función a minimizar, se incorporó el ajuste de las capturas anuales estimadas respecto de aquellas observadas por la flota, de forma de que las estimadas sean prácticamente iguales a las observadas, considerándolas como exactas, de acuerdo a:

$$-\ln L^c = \frac{n_t}{2} \ln(\sigma_c) + \frac{1}{2\sigma_c^2} \sum_{t=1986}^{2021} (\ln \hat{C}_t - \ln C_t)^2$$

donde \hat{C}_t y C_t representan la captura total estimada y observada de la flota comercial, respectivamente; σ_c representa el desvío estándar en escala logarítmica, fijo en un valor de 0,001.

Verosimilitud de los índices de abundancia

La calibración del modelo a los índices de abundancia relativa se llevó a cabo ajustando los valores de índices estimados por el modelo (\hat{I}_t) a los observados (I_t), ponderando la diferencia de cuadrados entre dichos valores por la inversa de la varianza correspondiente a cada índice (σ_i)², para los seis índices de abundancia relativa considerados, de la siguiente manera:

$$-\ln L^{GA} = \frac{1}{2\sigma_{GA}^2} \sum_{t_{GA}} (\ln \hat{I}_{t_{GA}} - \ln I_{t_{GA}})^2$$

$$-\ln L^{JA} = \frac{1}{2\sigma_{JA}^2} \sum_{t_{JA}} (\ln \hat{I}_{t_{JA}} - \ln I_{t_{JA}})^2$$

$$-\ln L^{JoU} = \frac{1}{2\sigma_{JoU}^2} \sum_{t_{JoU}} (\ln \hat{I}_{t_{JoU}} - \ln I_{t_{JoU}})^2$$

$$-\ln L^{JpU} = \frac{1}{2\sigma_{JpU}^2} \sum_{t_{JpU}} (\ln \hat{I}_{t_{JpU}} - \ln I_{t_{JpU}})^2$$

$$-\ln L^{Cpue} = \frac{1}{2\sigma_{Cpue}^2} \sum_{t_{Cpue}} (\ln \hat{I}_{t_{Cpue}} - \ln I_{t_{Cpue}})^2$$

Las desviaciones estándares correspondientes a cada índice σ_{GA} , σ_{JA} , σ_{JoU} , σ_{JpU} y σ_{Cpue} se prefijaron en valores de 0,1, 0,3, 0,4, 0,4 y 0,1 respectivamente.

Verosimilitud de los índices de composición por edad

El ajuste de las composiciones por edad se realizó mediante el empleo de una función de verosimilitud correspondiente a una distribución Multinomial, la cual requiere del tamaño efectivo de muestra (n_t), valor que actúa como ponderador, y de las proporciones observadas ($p_{a,t}$) y estimadas ($\hat{p}_{a,t}$), por edad (a) y año (t), para cada serie:

$$-\ln L^{pCnA} = -n_t^{pCnA} \sum_a \sum_y \rho_{a,t}^{pCnA} \ln \hat{\rho}_{a,t}^{pCnA}$$



$$-\ln L^{pNGA} = -n_t^{pNGA} \sum_a \sum_y \rho_{a,t}^{pNGA} \ln \hat{\rho}_{a,t}^{pNGA}$$

Los tamaños efectivos de muestra se asumieron como fijos en los valores originales de la cantidad de muestras realizadas durante cada año en cada serie.

Verosimilitud de las priors del parámetro h y de los parámetros de las curvas de selección

$$-\ln L^h = \frac{1}{2\sigma_h^2} (\ln \hat{h} - \ln h)^2$$

$$-\ln L^{a50_b} = \frac{1}{2\sigma_{a50_b}^2} (\ln \widehat{a50_b} - \ln a50_b)^2 \text{ para } b=1 \text{ a } 4$$

$$-\ln L^{\sigma_{I_b}} = \frac{1}{2\sigma_{\sigma_{I_b}}^2} (\ln \widehat{\sigma_{I_b}} - \ln \sigma_{I_b})^2 \text{ para } b=1 \text{ a } 4$$

$$-\ln L^{\sigma_{D_b}} = \frac{1}{2\sigma_{\sigma_{D_b}}^2} (\ln \widehat{\sigma_{D_b}} - \ln \sigma_{D_b})^2 \text{ para } b=1 \text{ a } 4$$

En esta oportunidad se liberó aún más los parámetros de la derecha de las curvas de selección para que de ser necesario se ajustaran a una curva logística.

Estimación de parámetros del modelo de evaluación

Todo el sistema de ecuaciones del modelo dependió de los siguientes parámetros estimados durante el proceso de ajuste del mismo: el reclutamiento en el año de inicio del período de diagnóstico 1986 (N_{ini}), el parámetro h de la relación *stock-recluta* (*steepness*), los errores utilizados para calcular las mortalidades por pesca previas al año inicial del período de diagnóstico (ϵ_a^{Nini} para edades a=1 a 7+), los errores de los reclutamientos (ϵ_t^R para años t=1987 a 2021), el vector de mortalidades por pesca anuales (f_t para años t=1986 a 2021) (considerados como subparámetros a fin de resolver la ecuación de captura de Baranov) y los parámetros que definen el patrón de selección para cada período (bloque) de selección ($a50_b$, σ_{I_b} y σ_{D_b} para bloques b=1 a 4).

Modelos empleados para la evaluación

La campaña realizada en la ZCPAU en 2021 evidenció una importante disminución de la densidad media en número y en peso de todos los grupos de edad, comparada con la del año 2016 (Irusta et al 2022). Este sector es una fracción importante del efectivo norte de 41 ° S, el promedio estimado de la biomasa en dicho sector respecto del total de todos los años con información, fue 58 %. A partir de ese promedio se calculó la biomasa para todo la zona norte, cuyo valor disminuyó respecto del 2016, 31 %. La falta de campañas desde 2016 al 2021 arrojó mayor incertidumbre a la tendencia de aumento de la BR estimada en las evaluaciones anteriores (Irusta et al 2021). Por lo tanto, en esta oportunidad, se efectuaron tres modelos con el objeto de comprender y describir el nivel de abundancia de la población. El **Modelo 1 (M1)**, es una continuación del modelo seleccionado el año anterior para evaluar al efectivo norte, donde no se incorporó la información de la campaña 2021. El Evaluación del estado de explotación de la merluza (*Merluccius hubbsi*) del efectivo norte de 41° S y sugerencias de manejo para 2023



Modelo 2 (M2), fue elaborado bajo iguales condiciones pero con la incorporación de dicho valor y el **Modelo 3 (M3)**, que es igual al dos, pero con la condición de un único coeficiente de capturabilidad (q) para calibrar la CPUE a lo largo de todo el período de observación (1986-2021).

Puntos Biológicos de Referencia y proyecciones

En este trabajo, los PBR considerados para la recuperación de la BR derivaron de la relación stock-recluta de Beverton y Holt, los cuales fueron definidos durante la evaluación efectuada en el año 2019 (Irusta 2019) en 230.000 t y 150.000 t. En esta oportunidad, se decidió efectuar un cambio de los mismos, debido a que los resultados del presente informe mostraron que la BR actual se encuentra muy por debajo de aquella mencionada en las evaluaciones de 2020 y 2021 (Irusta y Santos, 2020 e Irusta et al, 2021), como consecuencia de la inclusión de nueva información para calibrar al modelo de evaluación.

Las estimaciones de las Capturas Biológicamente Aceptables derivaron de los modelos de evaluación aplicados, se utilizó la estimación del desvío correspondiente a la media estimada de la biomasa total para el último año. Las proyecciones partieron del número de individuos por edad y el vector de F del año 2021 y se supuso una captura en 2022 de 30.000 t. Además, se utilizó un patrón de selección por edad del último bloque de selección (2014 y 2020) para proyectar a partir de 2023. Los reclutamientos fueron proyectados mediante la relación stock-recluta de Beverton y Holt con un error lognormal, cuya variación derivó de la estimación del promedio de los reclutamientos de los últimos diez años menos los dos últimos (2020 y 2021) y su desvío medio. El reclutamiento inicial de los años 2021 y 2022 fue asumido como el promedio mencionado.

El análisis de riesgo se realizó considerando el objetivo propuesto respecto a la recuperación y mantenimiento de la BR por encima de 150.000 t, considerado como límite. También se obtuvieron los resultados en los mismos términos de biomasa y capturas para el caso en que el objetivo de recuperación se elevara a 230.000 t, valor sustentado en la mayor probabilidad de obtener reclutamientos más altos y más estables. El análisis de riesgo consistió en medir la proporción de casos sobre el total en los que no se cumplió el objetivo de mantener la biomasa reproductiva por encima de los valores preestablecidos.

Las Capturas Biológicamente Aceptables sugeridas (CBA) para el año 2023 se obtuvieron como el promedio de las 1.000 simulaciones para cada factor de mortalidad por pesca (F) que resultó con un riesgo promedio menor o igual al 10 % de no haber cumplido con el objetivo antedicho, en el corto y mediano plazo.



Resultados y Discusión

Captura total, captura por clase de edad y CPUE

Las capturas totales declaradas correspondientes a este efectivo mostraron una clara tendencia a la disminución desde el año 1991, cuando se desembarcaron aproximadamente 220.000 t. La flota argentina trasladó paulatinamente sus operaciones de pesca hacia el sur de la ZCPAU, con mayor intensidad a partir de la segunda mitad de los ochenta, como consecuencia de la disminución de su abundancia y por la oportunidad de centrar su actividad sobre el caladero patagónico, de mejores rendimientos durante todo el año (Irusta y Castrucci, 2021). A partir del año 2012, los valores rondaron las 50.000 t (Tabla 1). En 2017, la captura total se incrementó 21 %, por un aumento de la declaración de la flota argentina en la ZCPAU, que se duplicó, y de la flota uruguaya, que se incrementó un 50 %. En 2018, cayó 19% por la disminución de la actividad declarada de la flota argentina y en 2019, bajó nuevamente por una menor declaración de la flota uruguaya. Finalmente, entre 2020 y 2021 prosiguió la caída total que fue del 8 %, generada por ambas flotas (Figura 1).

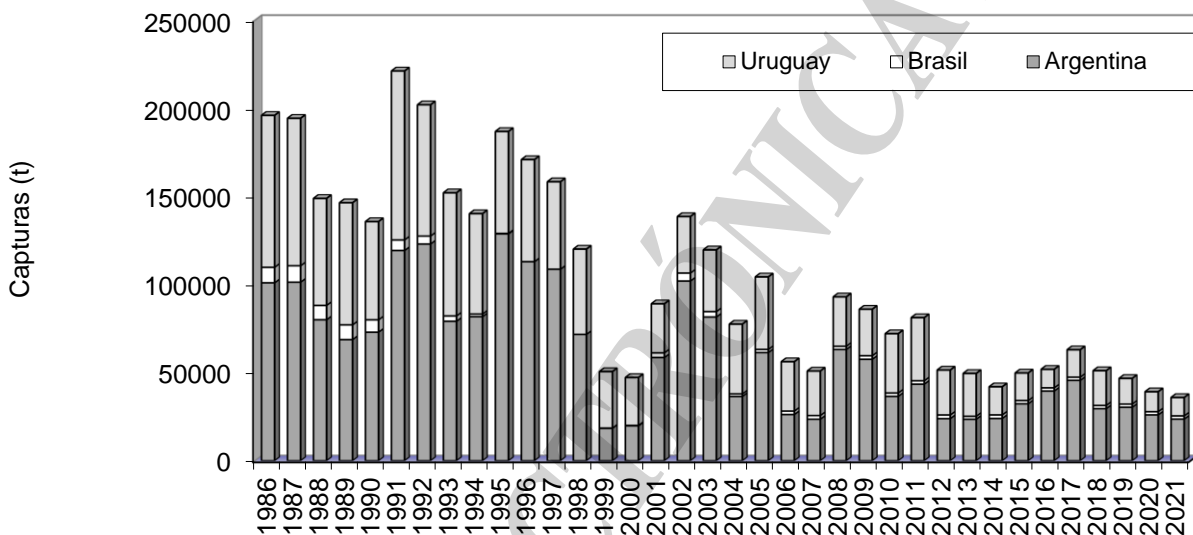


Figura 1. Capturas declaradas de merluza por Argentina, Uruguay y Brasil en el período 1986-2021, correspondientes al efectivo norte de 41° S.

La nueva serie de CPUE, luego de la importante disminución en los años 1999 y 2000 y un periodo de estabilidad hasta aproximadamente 2014, mostró un importante incremento hacia 2017 de 117%. En particular, entre este año y 2021, disminuyó 8 % y el esfuerzo estandarizado bajó 38 % (Tabla 4). De acuerdo con Suby et al (2022), las horas de arrastre nominales entre 2009 y 2021 cayeron 77% y las horas estandarizadas bajaron 76%, señalando una merma de la actividad pesquera, relacionada, por un lado, con las reglamentaciones impuestas, como las áreas de veda temporales y la reducción de los viajes a sólo cuatro anuales (Res. 26/2009, 5/11 y 14/17 del CFP) y el efecto de la implementación de las Cuotas Individuales Transferibles (Res. 23/2009 del CFP) en el stock sur de 41° S, que redujo la el número de buques operativos en la pesquería (Rotta *et al.*, 2018). Además, contribuyó la derivación de la flota fresca argentina a la captura de langostino, que produjo, también, una reducción del esfuerzo dirigido a merluza. Similares circunstancias, como el cierre de empresas pesqueras y la poca demanda del mercado, por su escaso valor, comparado con otros productos, redujo las operaciones de la flota merluquera uruguaya. Por ello, tanto la actividad comercial argentina como la uruguaya disminuyeron la presión pesquera en el área.

Las capturas argentinas estuvieron sostenidas principalmente por los grupos de edad 2 y 3 (Figura 2), pero desde el año 2009, se observó una tendencia a la baja de la proporción de la edad 2 y un

aumento del número de individuos de las edades 3 a 5. Del año 2016 en adelante se mantuvieron los porcentajes juveniles (edades 1 y 2) respecto de los adultos (de tres en adelante), entre 51 y 49 % respectivamente, denotando un aumento en la proporción de individuos considerados adultos en las capturas.

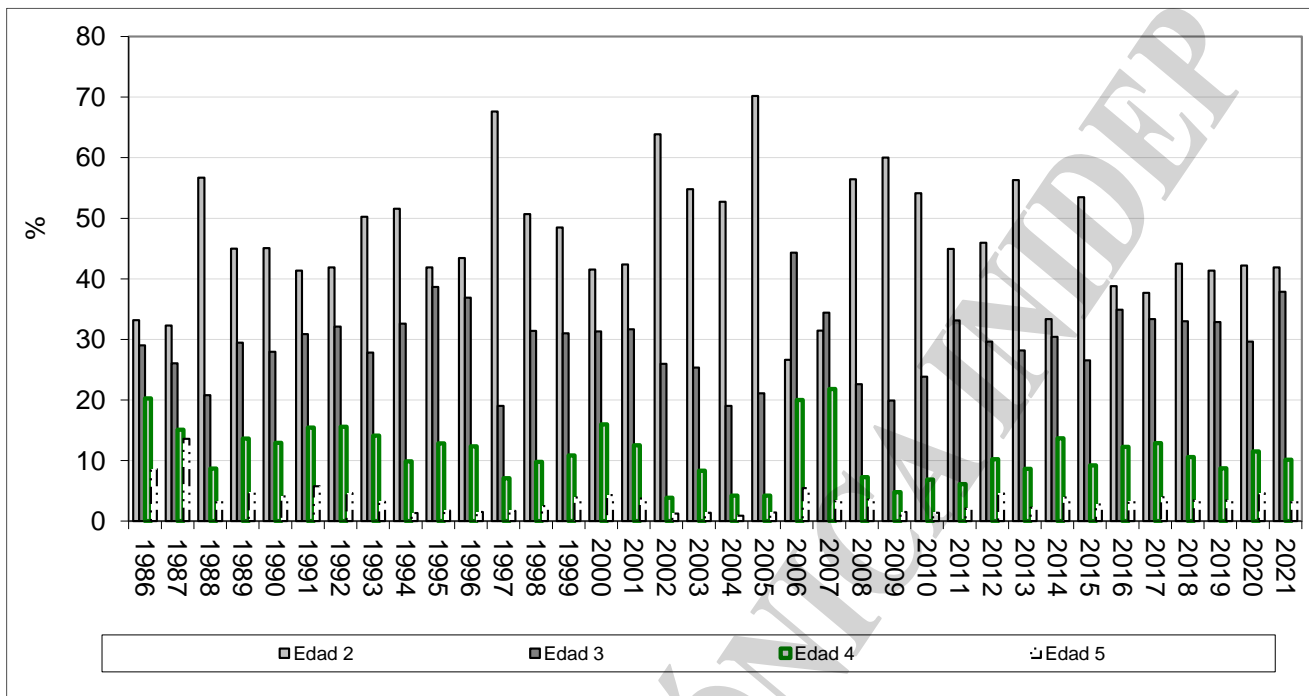


Figura 2. Porcentaje de la captura en número (miles) por grupos de edad de merluza (efectivo norte) estimado a partir de los datos obtenidos de la flota comercial. Período 1986 - 2021.

Índices de abundancia derivados de la campaña global de evaluación del recurso

La tendencia de la densidad media estimada por campaña entre 1996-2008 fue declinante, del orden del 75 % y entre 2006 y 2008 disminuyó un 37 % (D'Atri *et al.*, 2009). En 2011 y 2012 se estimó un incremento respecto de 2008, sin embargo este aumento se correspondió principalmente con individuos juveniles (menores a 35 cm), en especial con las edades 1 y 2 (Figura 3).

Al considerar los resultados de la campaña de evaluación integral de los recursos demersales al norte de 41° S, correspondiente al año 2016, se estimó un incremento de la densidad media en 10 % respecto del año 2011, con un aumento significativo en la ZCPAU del 40 % y una baja del 27 % al sur de la misma.

En cuanto a las distribuciones de longitudes, se observó que entre 2011 y 2016 disminuyeron los ejemplares correspondientes a las edades 0 y 1 y aumentaron los de la edad 2 y mayores, por lo que, el porcentaje de individuos juveniles, menores a 35 cm de LT, bajó de 86% a 74%. Por otro lado, el porcentaje referido al grupo de edad 2 y mayores aumentó de 23 % a 38 % principalmente a partir de la 32 cm de LT en adelante (Irusta *et al.*, 2017). En 2016, la mayoría de los grupos de edad mostraron un incremento respecto de la última información disponible (Figura 3). De acuerdo a estas campañas, los menores reclutamientos se habrían detectado en los años 1998, 1999, 2005, 2006 y 2008, en tanto que los mayores en 1996, 2001, 2000 y 2016 (Figura 3).

En 2021, como se mencionó, sólo se pudo prospectar el sector correspondiente a la Zona Común de Pesca Argentino-Uruguaya donde los resultados no siguieron la tendencia de aumento, ya que la biomasa total estimada disminuyó 46 % respecto de 2016, conjuntamente con la abundancia de todos los grupos de edad. Por otro lado, la CPUE estimada, solamente a partir de los datos de la flota



uruguay para la ZCPAU, mostró que la tendencia fue de aumento hacia 2017 y 2018, y luego una disminución importante con cierta estabilidad entre 2019, 2020 y 2021, estos dos últimos datos incorporados en la evaluación de este año (CTMFM, GT-Merluza, 2022). Esta evidencia expuso claramente el efecto de contar con pocos índices globales y estructurados de campañas de investigación en el período 2017 a 2021, siendo principalmente la CPUE la que calibró la probable trayectoria de la biomasa vulnerable hasta el año pasado (CTMFM, GT-Merluza, 2021).

Por lo tanto, existió cierta incertidumbre acerca de la verdadera evolución del efectivo de merluza en la ZCPAU, derivada de la escasa información disponible de los cruceros, y la alta variabilidad detectada en los resultados disponibles de los dos últimos datos de CPUE uruguayo. Esto motivó que se plantearan dos modelos o escenarios distintos, con y sin el dato de la campaña de 2021, los que resultaron en una percepción muy diferente de la situación actual del recurso merluza en la ZCPAU, tanto en los niveles de abundancia como en los reclutamientos que habrían ocurrido en los últimos años que fueron plasmados en la evaluación de merluza en la ZCPAU el corriente año (CTMFM, GT-Merluza, 2022).

Este antecedente, permitió suponer que en la totalidad del efectivo norte podría también haber ocurrido una caída de la biomasa, ya que pertenece al mismo efectivo, por lo cual se incluyó un modelo de evaluación que contempló la estimación de la biomasa total para todo el efectivo norte, el cual mostró una disminución del 31 %, como fue mencionado anteriormente respecto de 2016. La estructura por edad de la campaña no pudo ser integrada ya que la composición de longitudes es diferente entre la ZCPAU y al sur hasta 41° S (Irusta et al 2017).

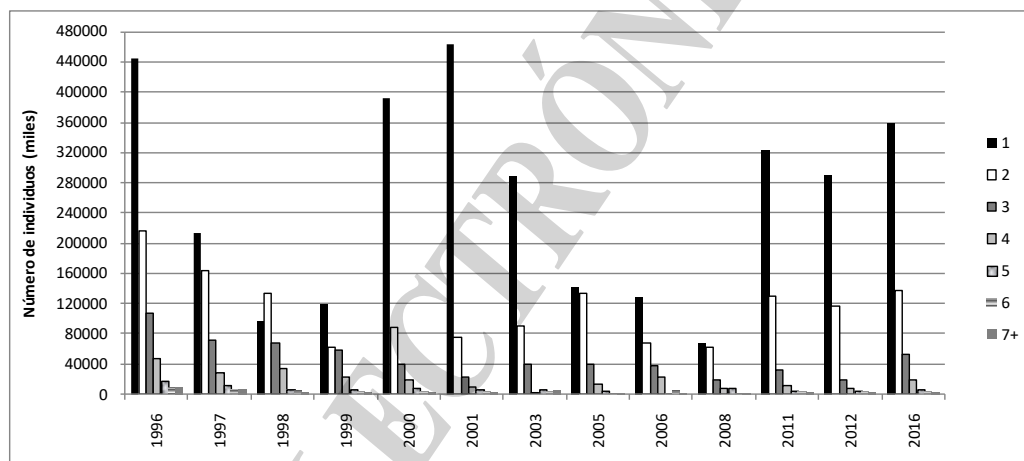


Figura 3. Número de individuos por edad (miles) en la población estimados a partir de los datos obtenidos en las campañas de evaluación del efectivo norte de merluza.

Índices relativos del reclutamiento

El índice obtenido durante las campañas de juveniles realizada en diciembre por el BIP E. Holmberg, correspondiente a la edad 1 y asignado a la edad 2 en enero del año siguiente, mostró una tendencia declinante en todos los años analizados (Tabla 8). Los menores valores de los años 1999 y 2000 (edad 2), coincidieron con las observaciones de la edad 1 en las campañas de evaluación de 1998 y 1999.

El índice relativo correspondiente a la edad 1 estimado a partir de las campañas de otoño del buque de investigación uruguayo Aldebarán, presentó uno de los menores valores en 2006, los mayores, en 2007 y 2011 (Tabla 9). En primavera se destacaron los relativamente buenos reclutamientos estimados entre los años 1991-1996 y posteriormente el del 2010 (Tabla 9).



Resultados de la aplicación de los modelos estadísticos de captura por edad

Los datos nuevos de entrada de 2021 fueron la declaración de captura total, la CPUE y la captura por edad de ese último año. Como consecuencia de la incertidumbre asociada a la disminución de la biomasa en la ZCPAU, se consideraron tres modelos, cuya base fue el seleccionado el año anterior, en el cual se consideró un cambio en la capturabilidad de la flota a partir del 2017, por el significativo aumento en la tendencia de la CPUE en ese año. El **Modelo 1 (M1)** utilizó la información completa actualizada, sin considerar la estimación de la biomasa de 2021 y en el **Modelo 2 (M2)**, sí. El **Modelo 3 (M3)**, es igual al 2, pero con la condición de un único coeficiente de capturabilidad (q) para toda la CPUE estimada entre 1986-2021.

En las Figuras 4 a 14 se observan los ajustes de los modelos empleados. La tendencia creciente estimada por el **M1** hacia el final del período produjo una leve sobrestimación de la abundancia en relación a los datos de CPUE de la flota argentina en el período 2020-2021 (Figura 4). Por el contrario, el **M2** se ajustó más a los valores de CPUE de finales del período y subestimó en mayor grado el aumento detectado en la campaña de 2016. Para estos dos modelos la capturabilidad (q) cambió a partir de 2017. En el caso del **M3**, con un solo valor de q , la CPUE subestimó los altos valores de 2017, 2018 y 2019 y se ajustó a los dos últimos años de observación. Además, este modelo sobreestimó aún más el valor de biomasa de la campaña de 2021 (Figura 5).

El resto de los ajustes no presentaron diferencias significativas entre modelos (Figuras 6 a 14).

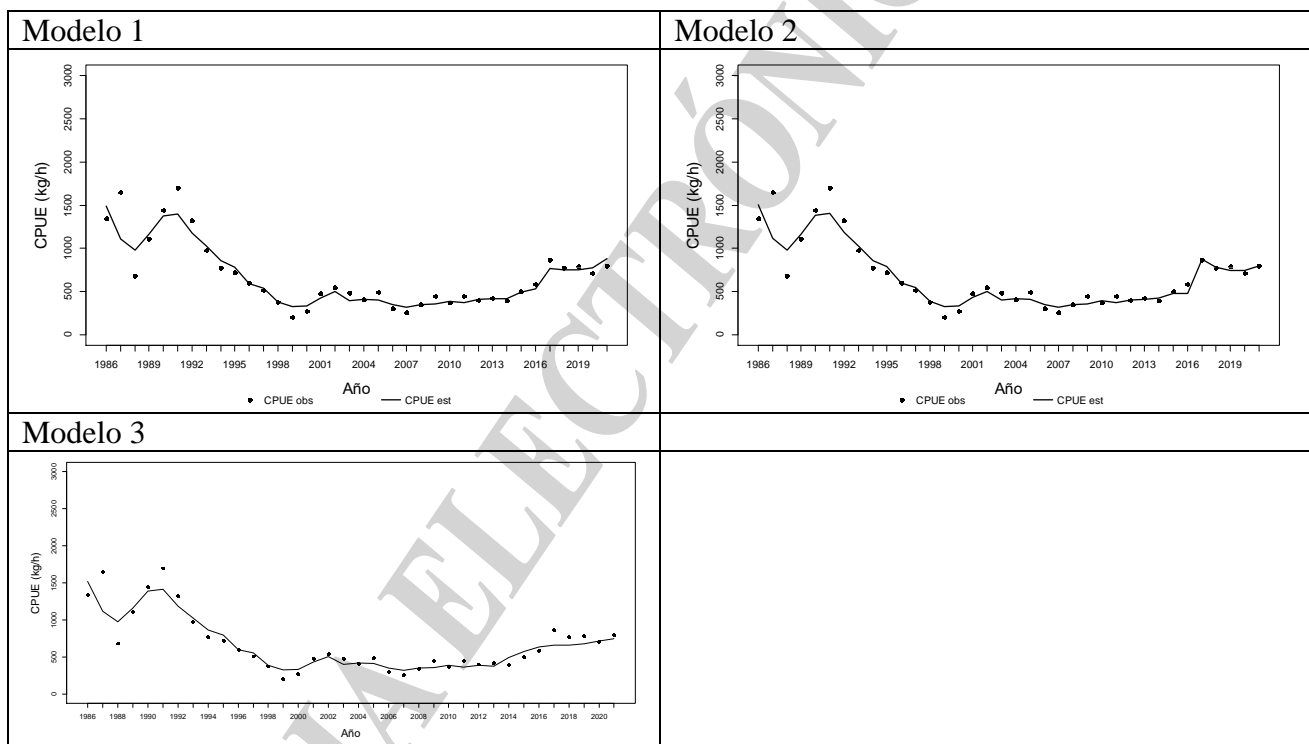


Figura 4. Ajustes de la CPUE en el Modelo 1, 2 y 3. Merluza efectivo norte de 41° S.

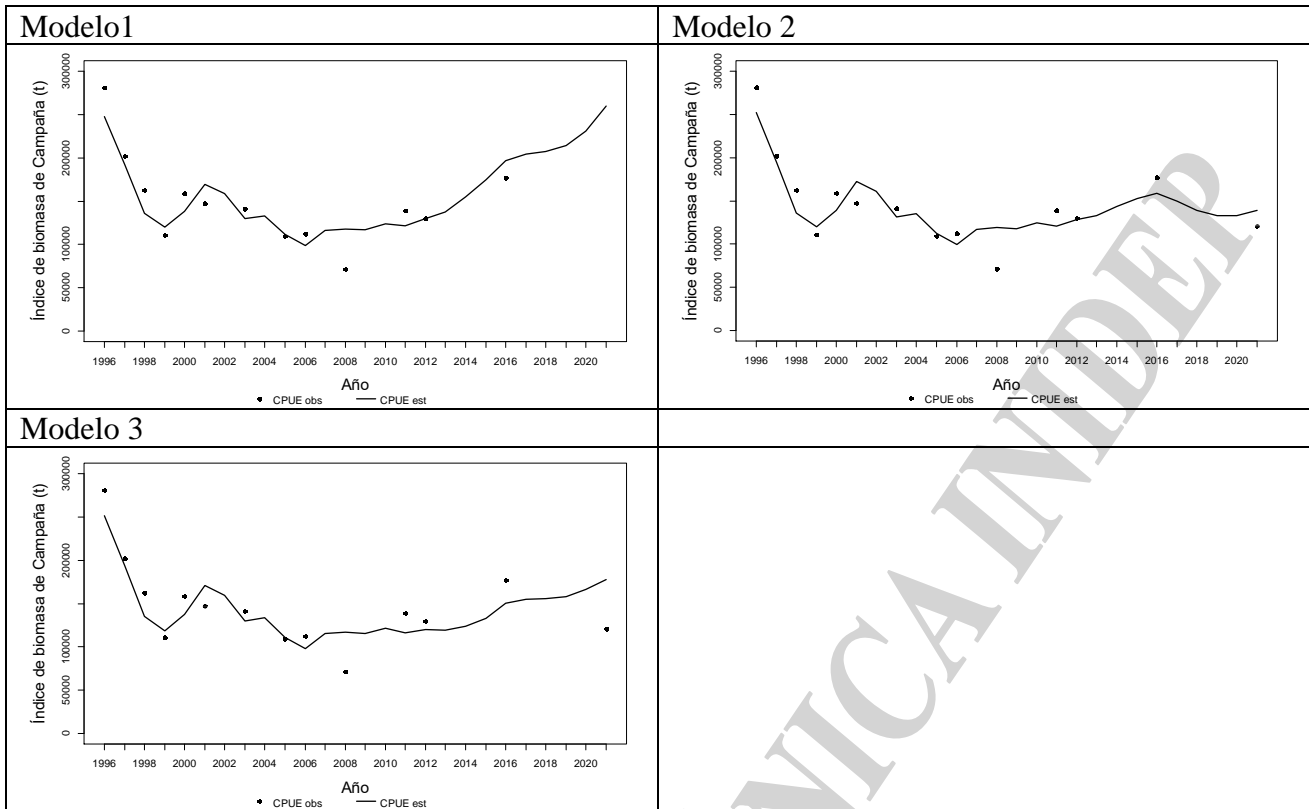


Figura 5. Ajuste de la información de las campañas de evaluación argentinas a los tres modelos planteados. Merluza efectivo norte de 41° S.

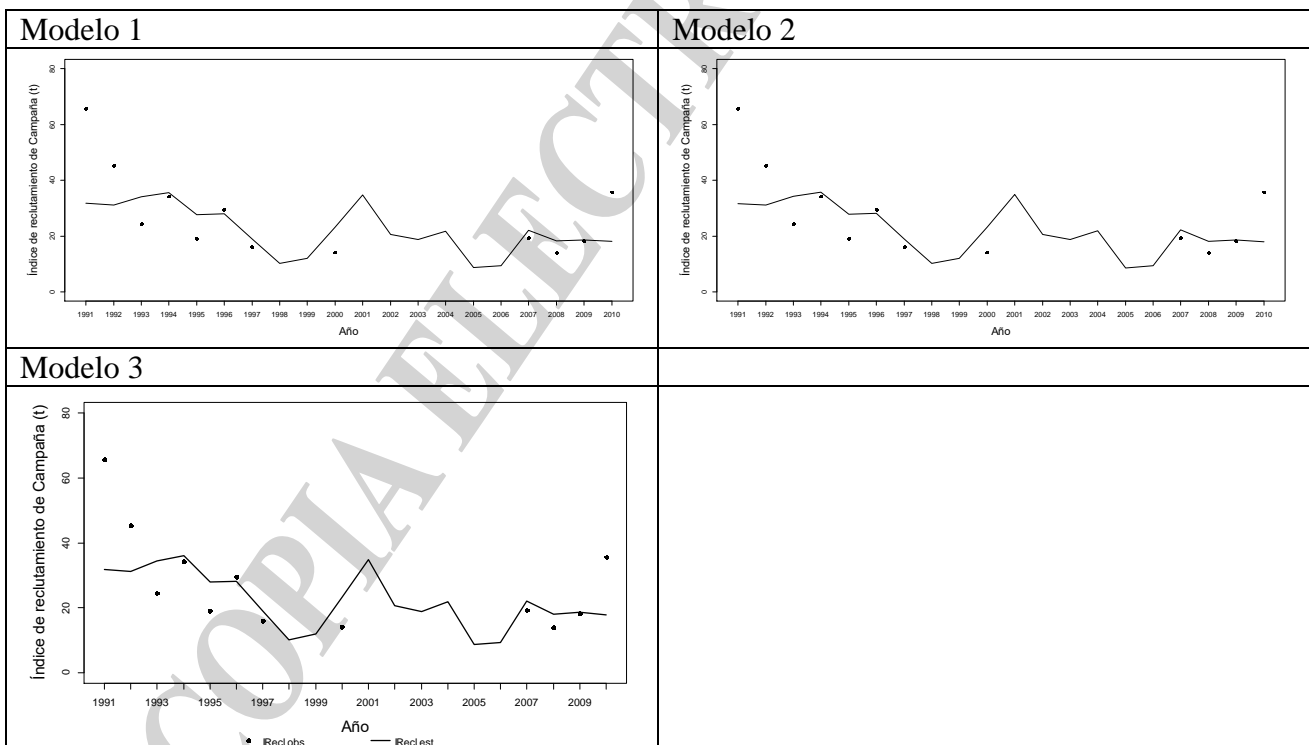


Figura 6: Ajustes de los índices de calibración del reclutamiento (edad 1) derivados de las campañas del Aldebarán efectuadas en primavera. Modelos 1, 2 y 3. Merluza efectivo norte de 41° S.

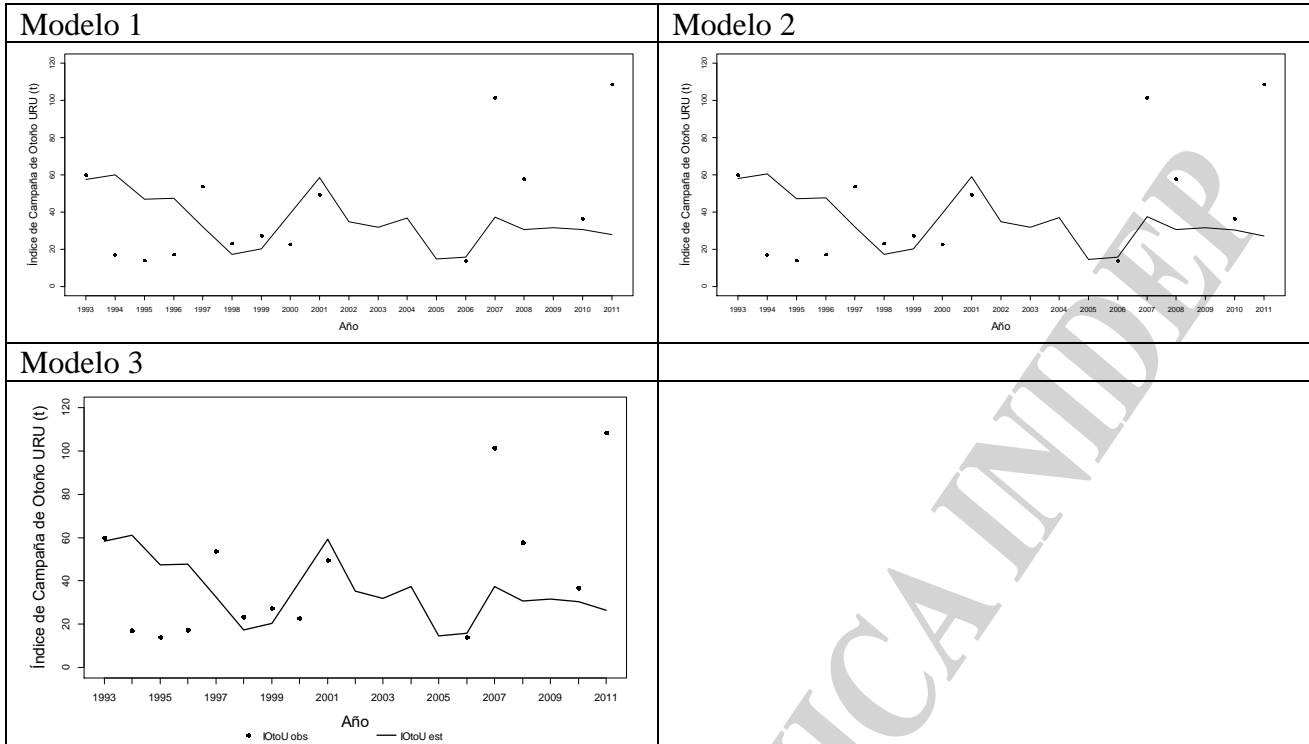


Figura 7: Ajustes de los índices de calibración del reclutamiento (edad 1) derivados de las campañas del Aldebarán efectuadas en otoño. Modelos 1, 2 y 3. Merluza efectivo norte de 41° S.

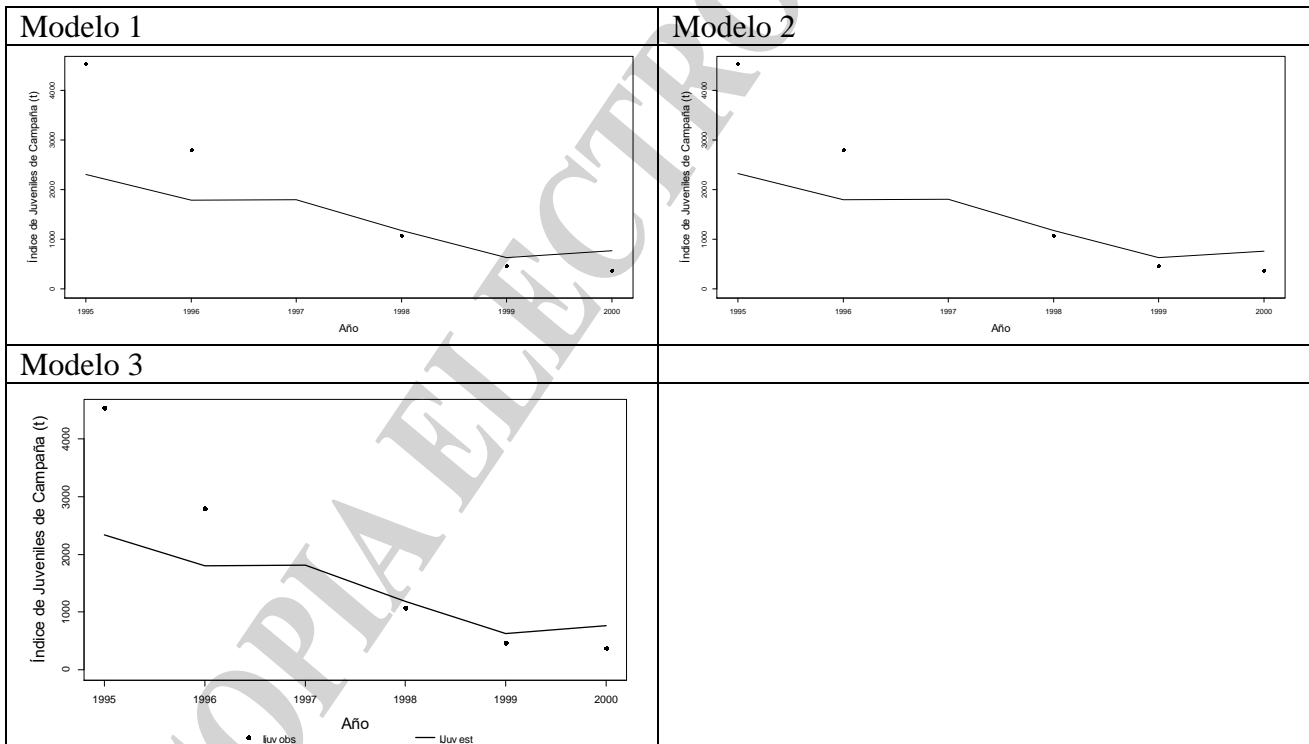


Figura 8. Ajuste de las campañas de evaluación de juveniles efectuadas por el Holmberg, asignadas a la edad 2 en verano. Modelo 1 y Modelo 2. Merluza efectivo norte de 41° S.

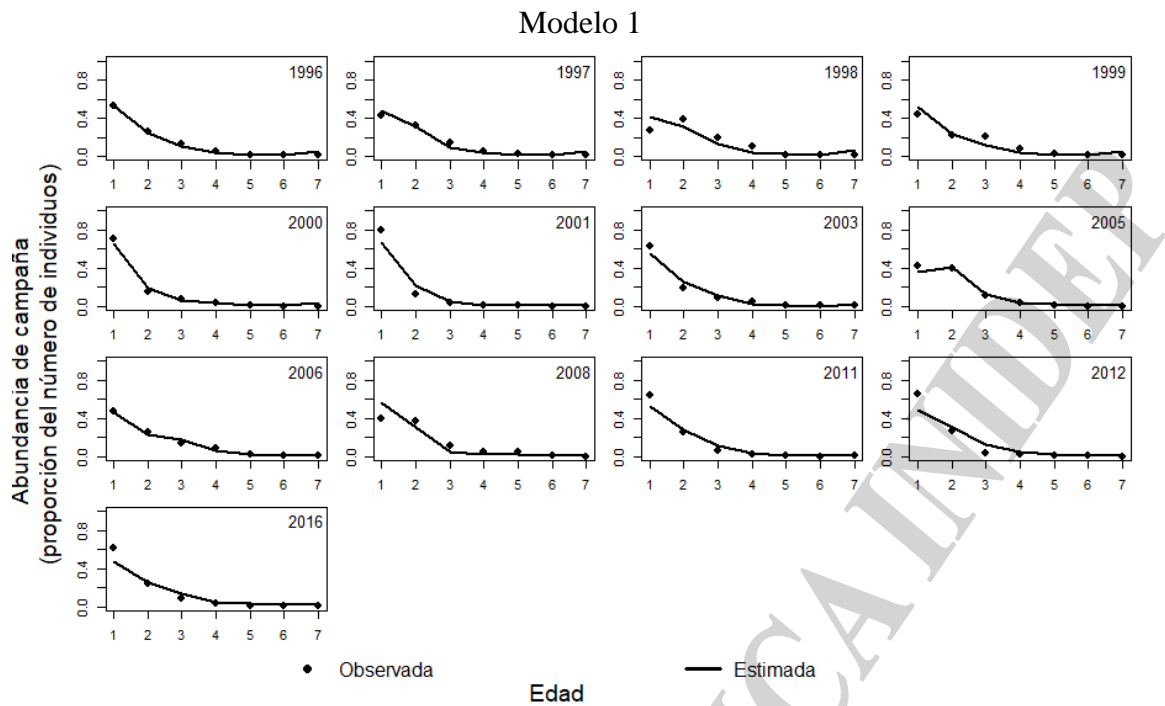


Figura 9. Ajustes de la proporción por edad de la abundancia estimada a partir de las campañas de evaluación del efectivo. Modelo 1. Merluza efectivo norte de 41° S.

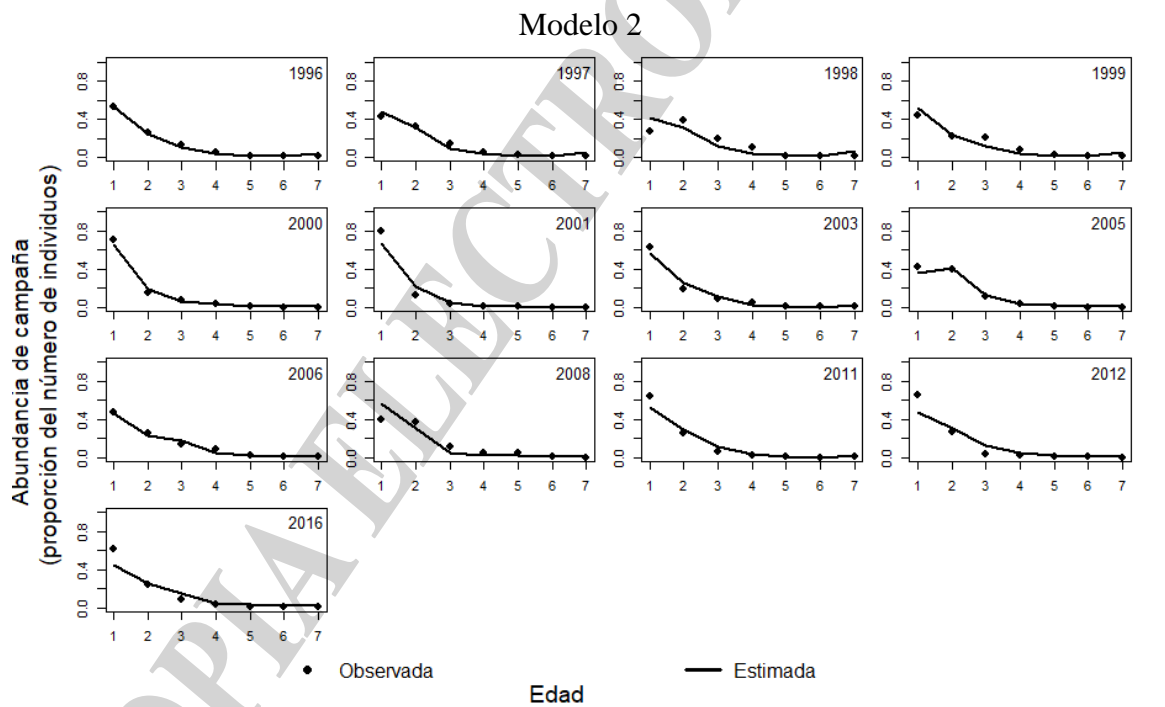


Figura 10. Ajustes de la proporción por edad de la abundancia estimada a partir de las campañas de evaluación del efectivo. Modelo 2. Merluza efectivo norte de 41° S.

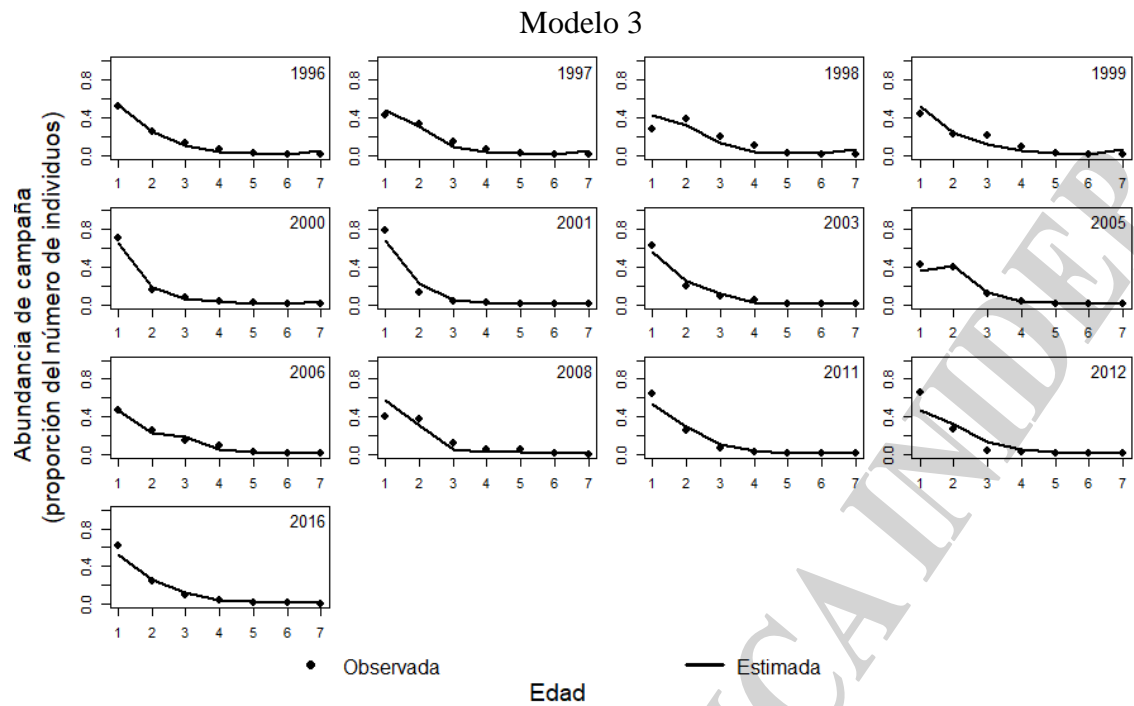


Figura 11. Ajustes de la proporción por edad de la abundancia estimada a partir de las campañas de evaluación del efectivo. Modelo 3. Merluza efectivo norte de 41° S.

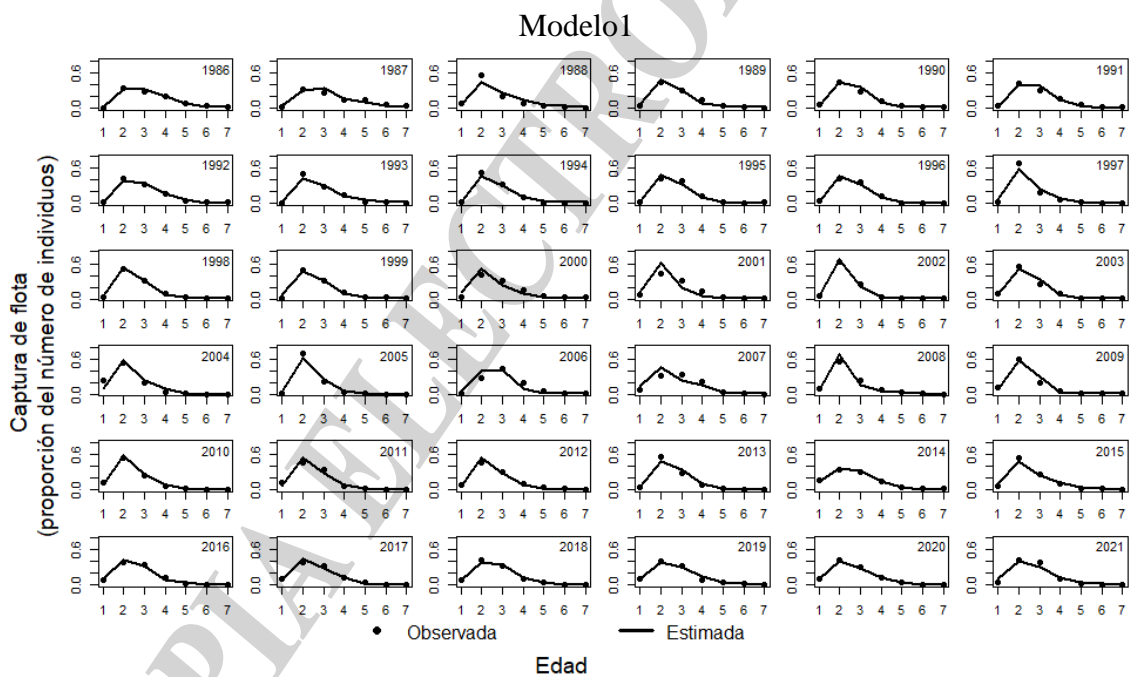


Figura 12. Ajustes de la proporción de las capturas por edad. Modelo 1. Merluza efectivo norte de 41° S.

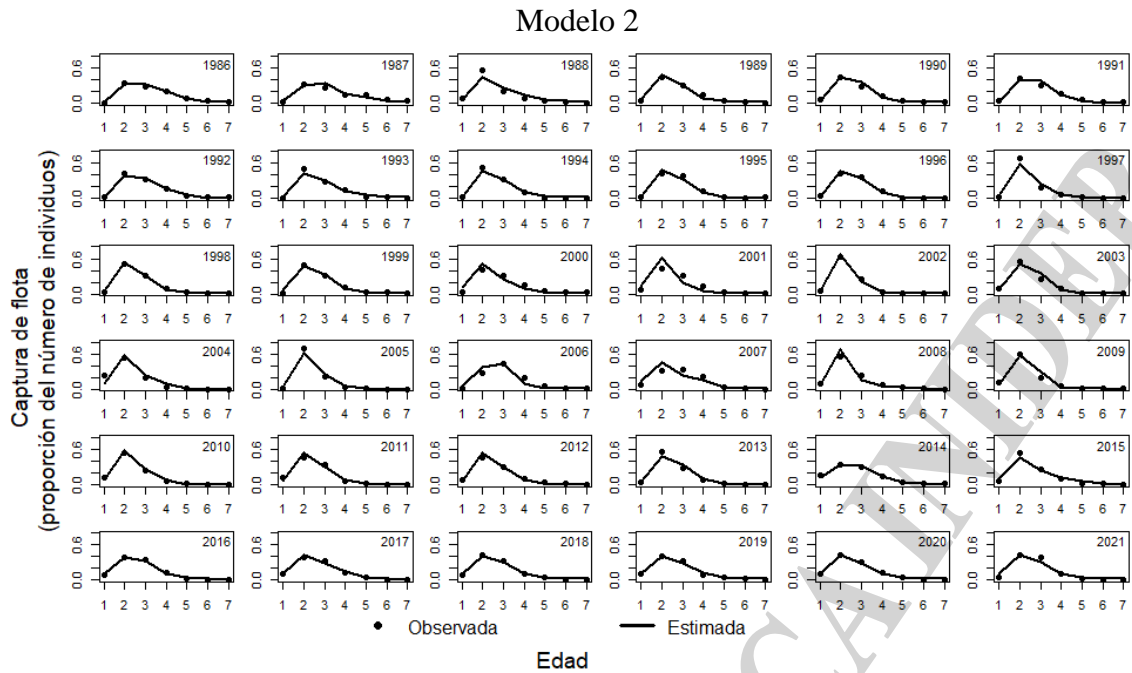


Figura 13. Ajustes de la proporción de las capturas por edad. Modelo 2. Merluza efectivo norte de 41° S.

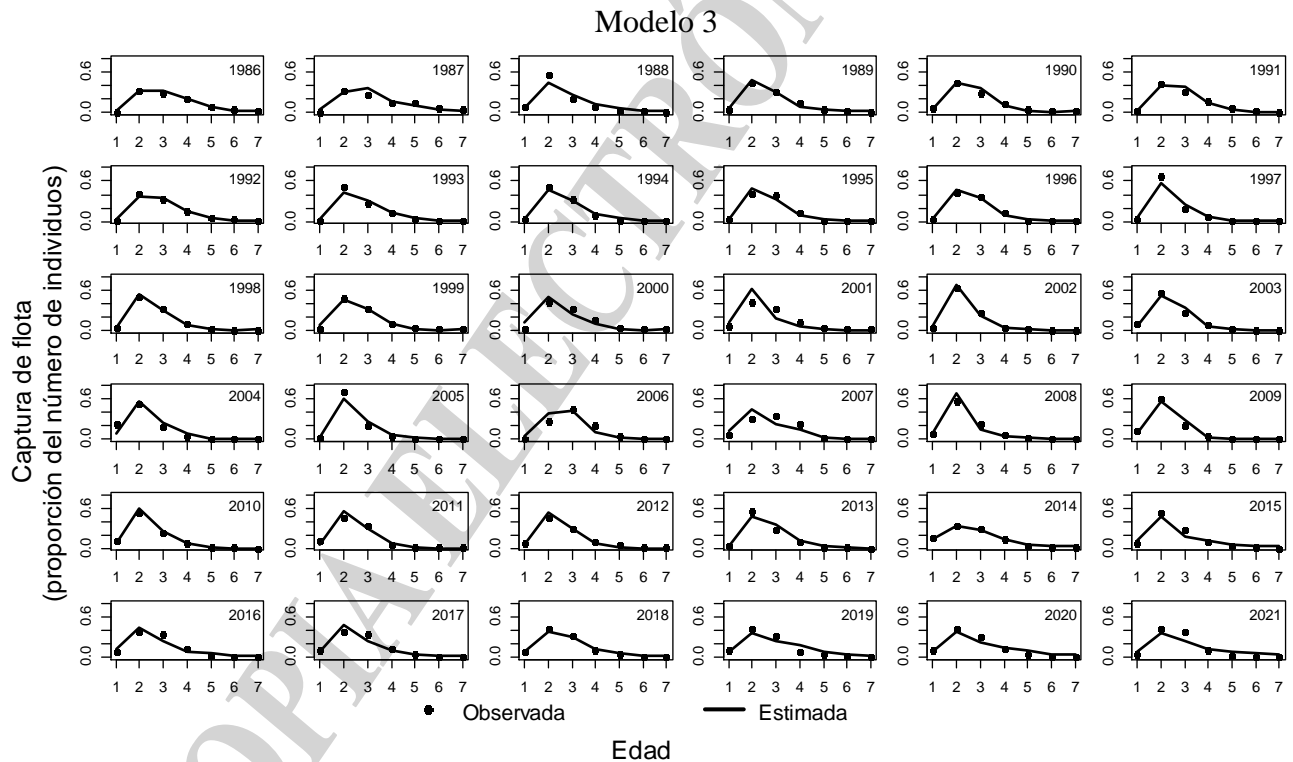


Figura 14. Ajustes de la proporción de las capturas por edad. Modelo 3. Merluza efectivo norte de 41° S.

*Biomasa total, Reproductiva, reclutamientos y mortalidad por pesca*

Todos los modelos estimaron una fuerte caída hacia los años 1999-2000 y una cierta estabilidad hasta 2012. Posteriormente, a partir dicho año, las biomazas (BT y BR) evidenciaron una tendencia creciente hasta 2017, sin embargo, mucho menor para los **M2** y **M3** que para el **M1**. Hacia 2021, el primer modelo continuó en ascenso, ya que ningún otro índice marcó disminución. El **M2**, decreció hacia el último año por el ajuste a la campaña de 2021 y el **M3** prosiguió aumentando levemente por la combinación entre el ajuste al dato de campaña y a la CPUE que fue modelado con la capturabilidad constante en todo el período (Figura 15 y Tabla 11).

En el **M1** se estimó una trayectoria de la biomasa total y reproductiva similar a aquella calculada a partir de las evaluaciones realizadas en 2020 y 2021 (Irusta et al, 2020 y 2021). En este caso, el incremento hacia 2021 se vio fuertemente influido por la elevada biomasa de la campaña de 2016 (última considerada en este caso) y por los mayores valores de CPUE desde 2017 a 2021 que a pesar de ser considerado otro índice por su capturabilidad, mostró una leve disminución y hacia el final aumento en la BT(Figura 15).

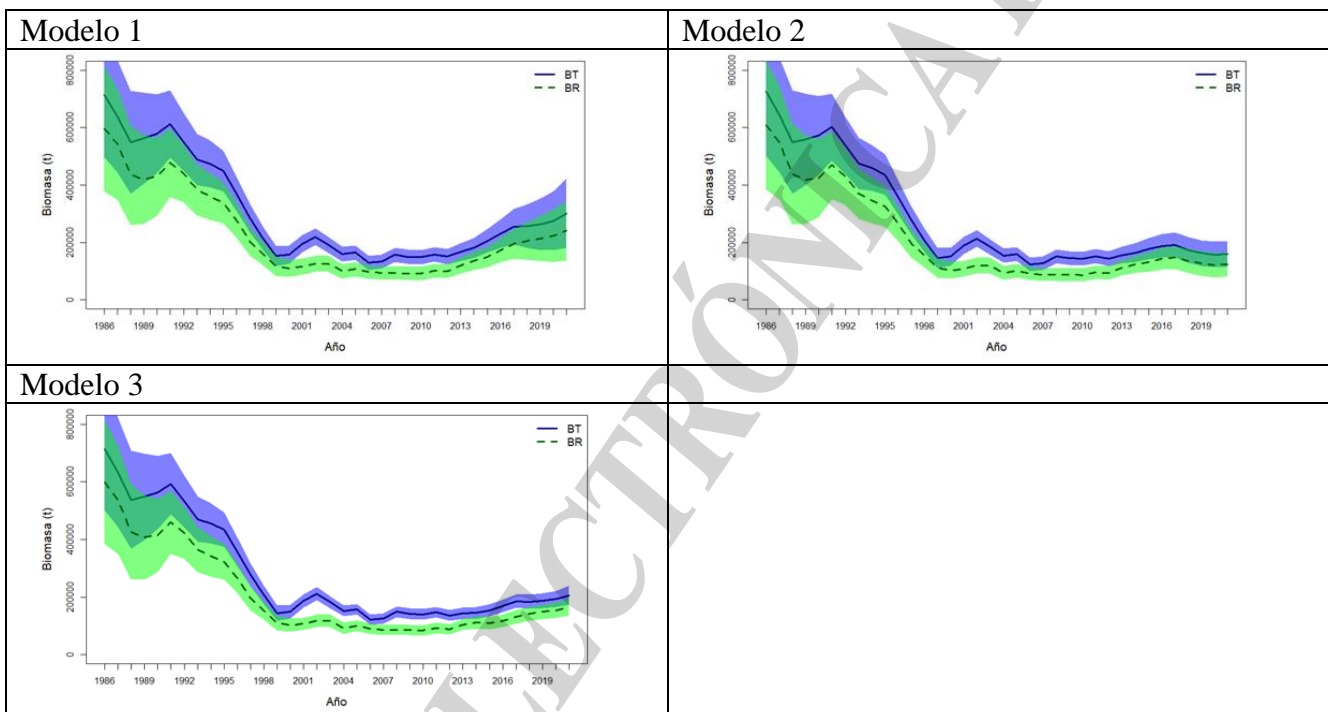


Figura 15. Biomasa Total y Reproductiva del período 1986-2021 estimada por los modelos. Merluza efectivo norte de 41° S.

Todos los modelos coincidieron en estimar una disminución significativa de la mortalidad por pesca de juveniles y adultos desde 2008 hacia el final del periodo (Figuras 16 y 17).

Los reclutamientos estimados a partir del año 2013 también mostraron diferencias entre los modelos (Figura 18). Mientras que el **M1** indicó cierta recuperación, responsable del aumento de la abundancia resultante desde el año 2012, en el **M2** tal recuperación fue mucho menor, como consecuencia de una disminución gradual de los reclutamientos hacia 2021(Figura 18), en tanto que el **M3**, evidenció un aumento hacia 2016 y luego una disminución que lo ubicó en una situación intermedia (Figura 18).

Las curvas de selección (S) mostraron una progresión hacia la captura de ejemplares juveniles, en especial, en el período 1997-2013 y, posteriormente, una disminución en la retención de los mismos, pero distinta entre modelos (Figura 19). El **M1** estimó menores valores de selección para las edades 3 a 7+ que el **M2**, mientras que el **M3**, estimó una curva logística con retención total de las edades correspondientes a adultos (3 a 7), Figura 19.

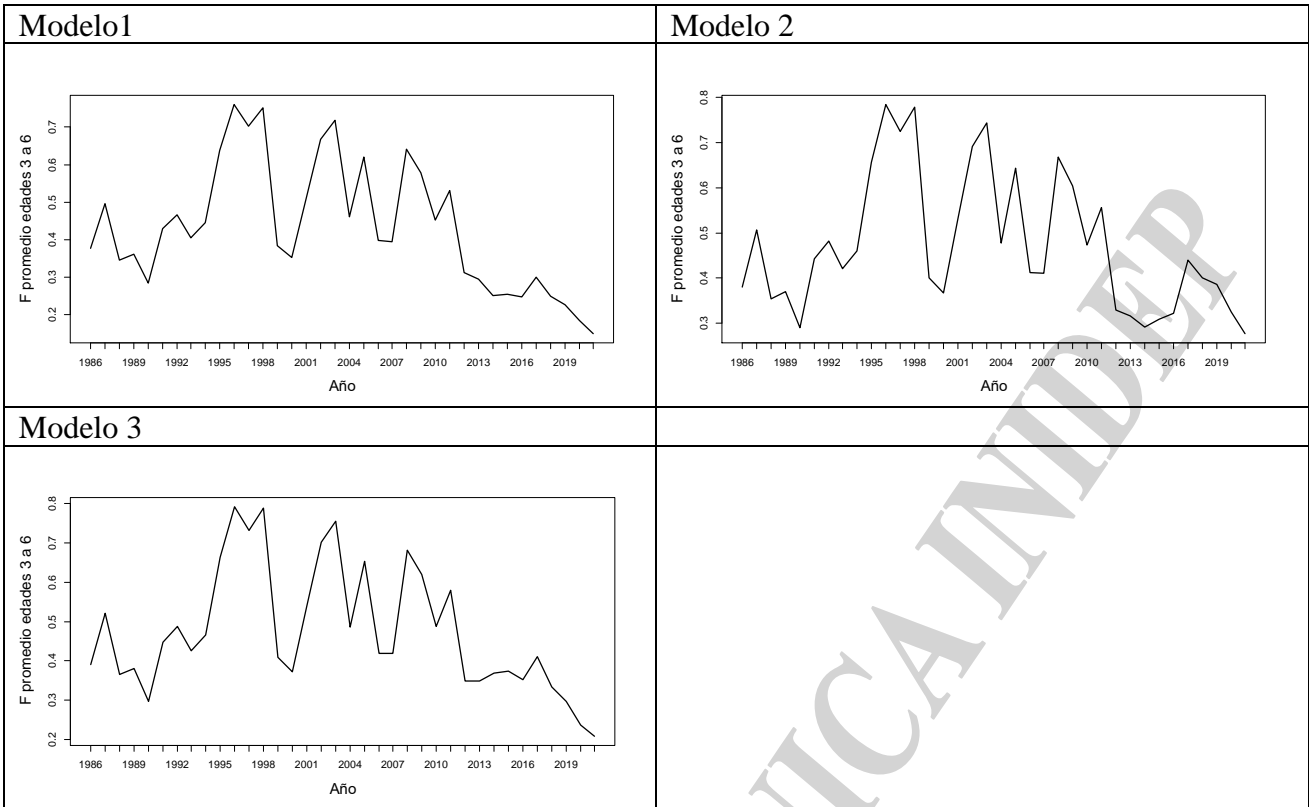


Figura 16. Trayectorias estimadas de la mortalidad sobre las edades 3 a 6 (adultos) por los modelos planteados. Merluza efectivo norte de 41° S.

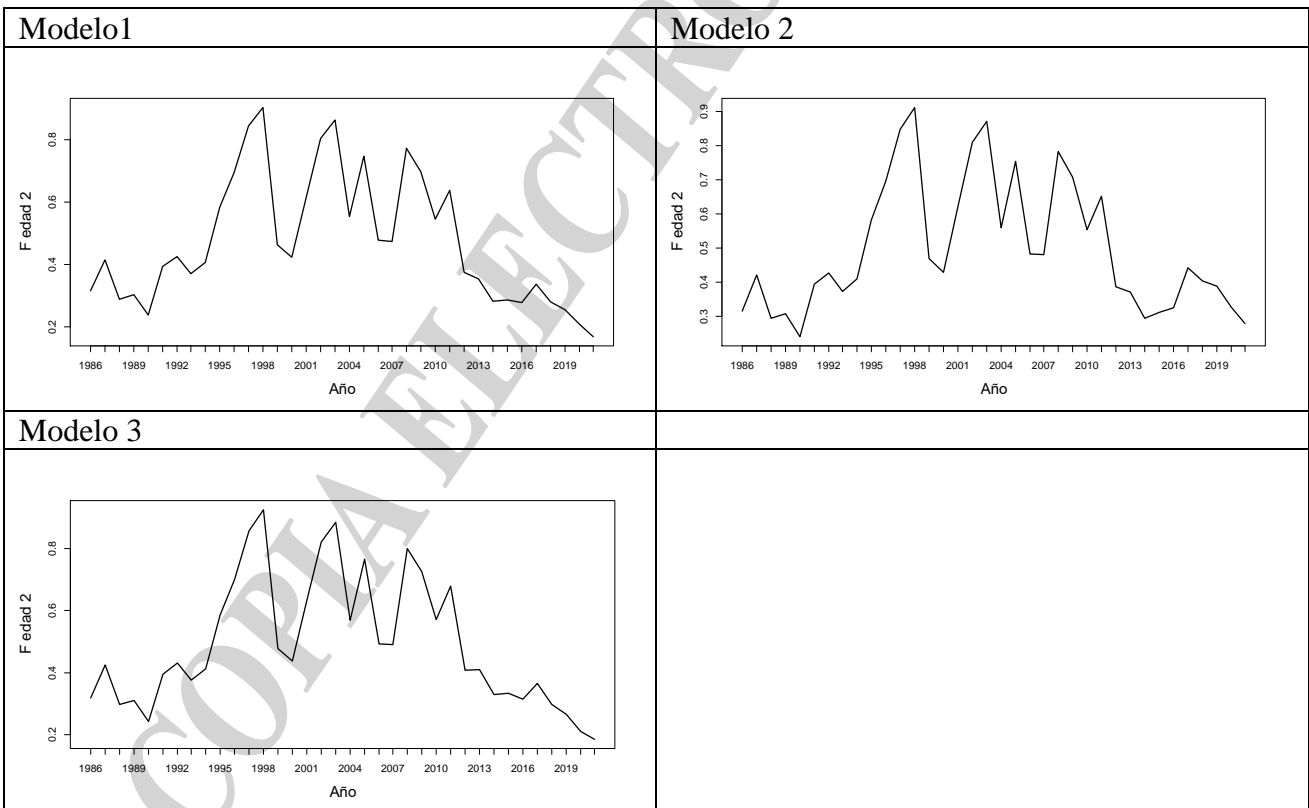


Figura 17. Trayectorias estimadas de la mortalidad sobre la edad 2 (juveniles) por los modelos. Merluza efectivo norte de 41° S.

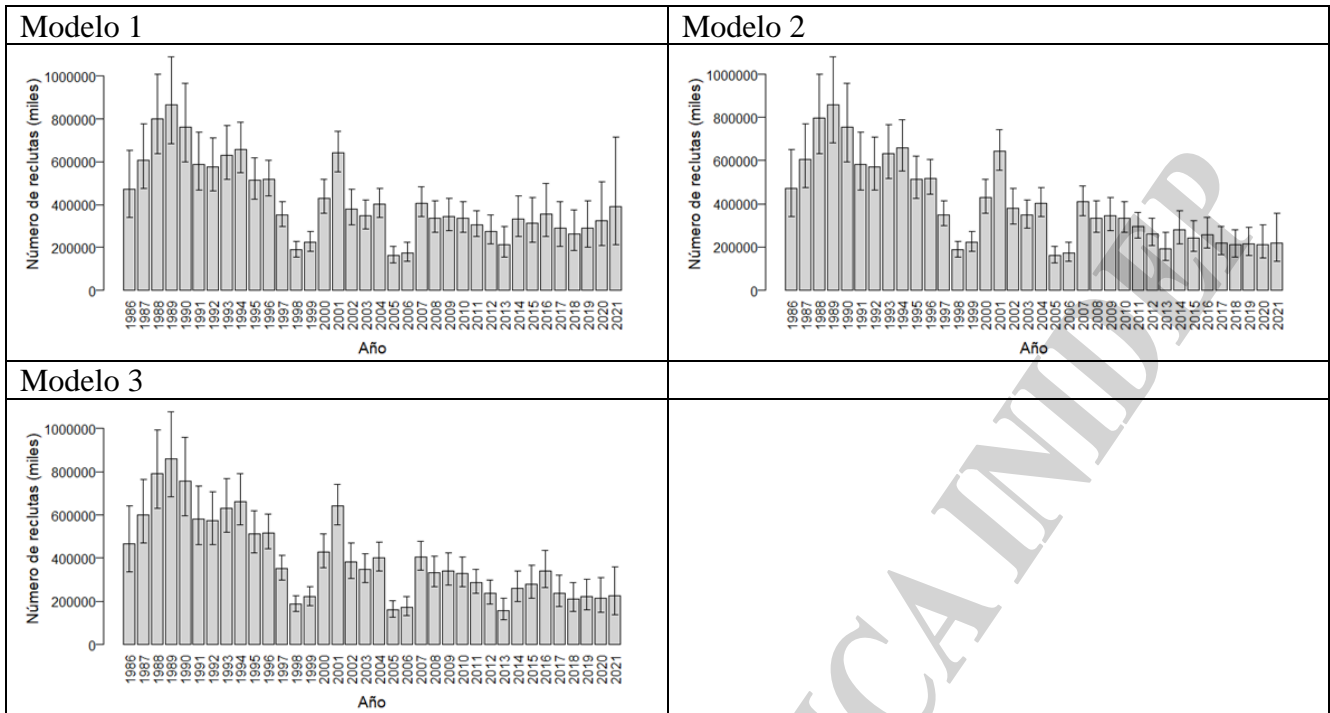


Figura 18. Reclutamientos anuales resultantes de la aplicación de los modelos. Merluza efectivo norte de 41° S.

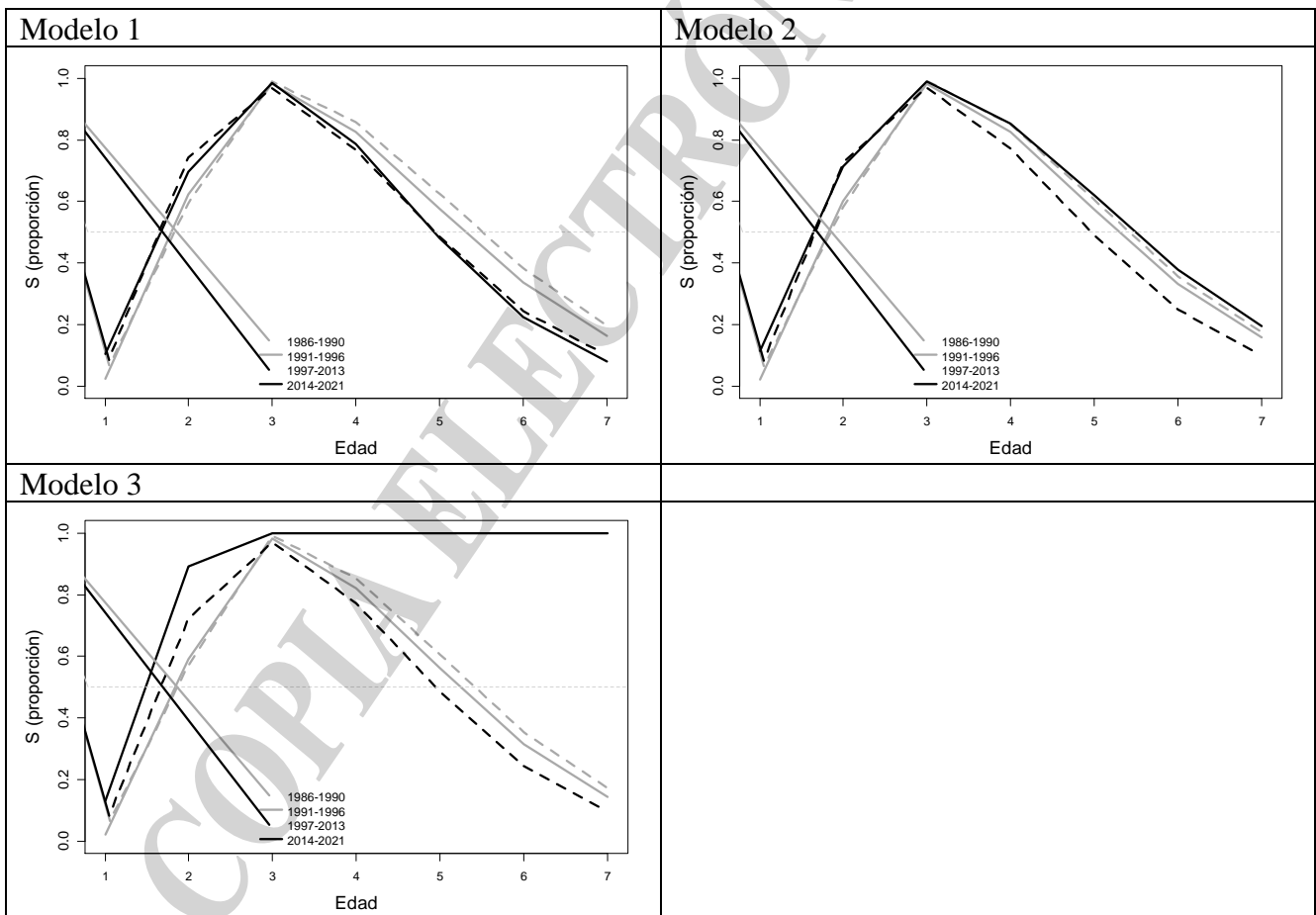


Figura 19. Curvas de selección estimadas por bloques de los modelos planteados Merluza efectivo norte de 41° S.



Tabla 11. Biomasa total (t), Reproductiva (t) y Número de reclutas (miles) resultantes de la aplicación de los modelos. Periodo 1986-2021. Merluza efectivo norte de 41° S.

| Año | BT-M1 | BR-M1 | Recl M1 | BT-M2 | BR-M2 | Recl-M2 | BT-M3 | BR-M3 | Recl-M3 |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1986 | 714.235 | 596.231 | 472.747 | 725.992 | 609.131 | 472.079 | 714.372 | 598.174 | 466.958 |
| 1987 | 639.249 | 542.305 | 606.466 | 645.412 | 548.919 | 602.197 | 633.502 | 537.746 | 599.841 |
| 1988 | 548.246 | 434.962 | 800.324 | 549.839 | 437.403 | 794.306 | 538.147 | 426.221 | 791.798 |
| 1989 | 562.652 | 419.819 | 864.946 | 559.702 | 418.138 | 857.087 | 548.523 | 407.277 | 858.726 |
| 1990 | 579.380 | 429.153 | 761.991 | 572.890 | 424.234 | 753.421 | 562.968 | 414.114 | 756.171 |
| 1991 | 611.815 | 477.058 | 587.943 | 602.040 | 468.837 | 582.348 | 593.557 | 459.974 | 583.071 |
| 1992 | 549.995 | 440.746 | 575.410 | 537.540 | 429.298 | 571.836 | 531.000 | 422.603 | 572.586 |
| 1993 | 489.048 | 383.428 | 630.596 | 475.268 | 370.228 | 630.175 | 470.134 | 364.929 | 632.388 |
| 1994 | 473.559 | 360.176 | 656.369 | 459.792 | 346.503 | 658.209 | 455.923 | 342.253 | 661.698 |
| 1995 | 449.332 | 338.810 | 512.916 | 436.631 | 325.942 | 513.051 | 434.001 | 322.866 | 513.995 |
| 1996 | 369.784 | 277.220 | 518.111 | 358.904 | 266.295 | 518.219 | 357.302 | 264.553 | 518.129 |
| 1997 | 287.056 | 205.571 | 351.449 | 277.997 | 196.551 | 350.426 | 276.942 | 195.500 | 350.807 |
| 1998 | 216.039 | 162.679 | 189.046 | 208.070 | 154.918 | 187.388 | 206.874 | 153.779 | 186.991 |
| 1999 | 152.956 | 118.269 | 222.983 | 145.742 | 111.384 | 220.890 | 144.335 | 110.106 | 220.456 |
| 2000 | 158.024 | 110.490 | 430.195 | 151.143 | 104.045 | 427.218 | 149.469 | 102.496 | 426.790 |
| 2001 | 195.875 | 115.209 | 640.943 | 189.318 | 109.045 | 641.509 | 187.449 | 107.327 | 640.740 |
| 2002 | 220.146 | 126.169 | 380.685 | 213.933 | 120.097 | 379.490 | 211.938 | 118.242 | 380.783 |
| 2003 | 190.885 | 125.209 | 347.828 | 185.062 | 119.626 | 346.924 | 183.092 | 117.646 | 347.061 |
| 2004 | 159.748 | 99.537 | 403.066 | 154.279 | 94.247 | 402.776 | 152.418 | 92.417 | 403.457 |
| 2005 | 164.765 | 107.265 | 162.444 | 159.434 | 102.157 | 159.713 | 157.578 | 100.316 | 159.434 |
| 2006 | 129.298 | 97.658 | 174.283 | 123.900 | 92.698 | 172.370 | 121.951 | 90.871 | 171.816 |
| 2007 | 133.877 | 93.179 | 407.932 | 128.427 | 88.031 | 407.680 | 126.313 | 86.089 | 406.176 |
| 2008 | 156.993 | 93.828 | 336.974 | 151.523 | 88.634 | 333.382 | 149.164 | 86.593 | 331.584 |
| 2009 | 150.690 | 92.960 | 345.642 | 145.154 | 87.988 | 343.779 | 142.413 | 85.718 | 340.941 |
| 2010 | 149.604 | 91.921 | 336.384 | 143.829 | 86.687 | 332.081 | 140.461 | 83.976 | 327.949 |
| 2011 | 158.628 | 101.817 | 305.031 | 152.186 | 96.363 | 296.117 | 147.673 | 92.926 | 286.673 |
| 2012 | 151.121 | 99.909 | 276.032 | 143.102 | 93.702 | 261.176 | 136.103 | 89.094 | 236.608 |
| 2013 | 167.061 | 120.076 | 214.331 | 156.010 | 112.006 | 191.195 | 144.197 | 104.824 | 156.901 |
| 2014 | 180.938 | 135.728 | 332.948 | 164.030 | 124.249 | 279.681 | 145.617 | 111.327 | 259.865 |
| 2015 | 205.906 | 150.274 | 312.559 | 178.203 | 132.394 | 240.117 | 154.405 | 110.023 | 279.450 |
| 2016 | 231.848 | 173.661 | 355.307 | 188.052 | 143.914 | 255.687 | 168.983 | 117.466 | 340.742 |
| 2017 | 254.720 | 195.090 | 291.513 | 191.582 | 148.497 | 218.832 | 186.311 | 132.053 | 237.971 |
| 2018 | 256.409 | 204.632 | 264.207 | 174.124 | 136.248 | 208.458 | 184.494 | 141.546 | 211.473 |
| 2019 | 263.144 | 214.020 | 290.162 | 163.654 | 127.125 | 215.000 | 187.805 | 149.021 | 220.737 |
| 2020 | 275.870 | 222.774 | 324.912 | 157.977 | 121.015 | 211.348 | 193.608 | 154.404 | 216.130 |
| 2021 | 301.657 | 240.485 | 391.820 | 160.677 | 123.142 | 217.177 | 205.813 | 165.980 | 224.367 |

Relación stock-recluta de Beverton y Holt

Por lo motivos planteados anteriormente, la relación stock-recluta de Beverton y Holt en los modelos implementados evidenciaron un estado actual diferente. El **M1** (Figura 20) mostró una mejoría como fue descrito en las evaluaciones anteriores (Irusta et al 2020; Irusta et al 2021). El **M2**, una reducción



de la biomasa reproductiva por debajo de las 150.000 t (Figura 21) y el **M3**, más cercana a ese valor (Figura 22). Los modelos más adecuados que describieron la situación actual del recurso, ya que incorporaron la última información disponible, fueron el **M2** y **M3** por lo que los Puntos de Referencia Objetivos derivados de la relación stock-recluta fueron modificados a valores menores que aquellos utilizados en evaluaciones anteriores (230.000 t y 280.000 t, Irusta et al 2021). La campaña de 2021 mostró una disminución de la biomasa respecto de 2016 que retrotrajo a la población a una situación no tan favorable como la estimada anteriormente en 2020 y 2021.

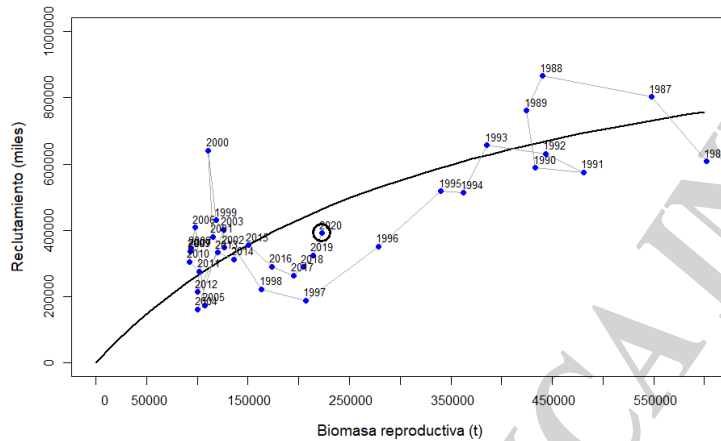


Figura 20. Relación stock-recluta de Beverton y Holt. Periodo 1986-2021. Modelo 1. Merluza efectivo norte de 41° S.

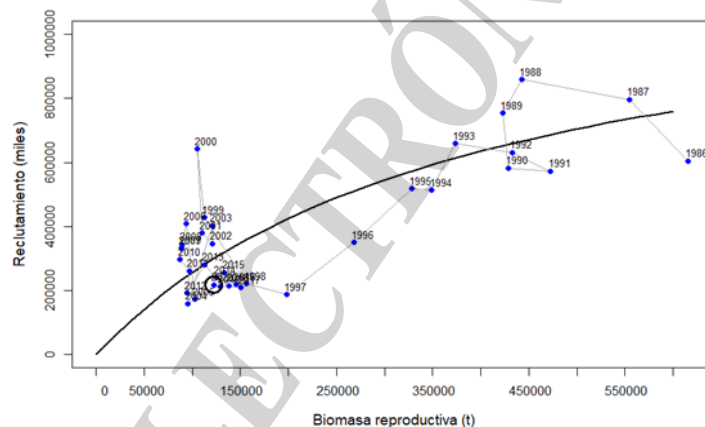


Figura 21. Relación stock-recluta de Beverton y Holt. Periodo 1986-2021. Modelo 2. Merluza efectivo norte de 41° S.

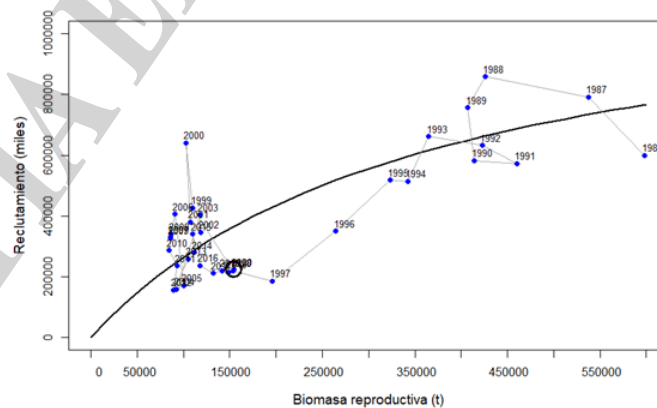


Figura 22. Relación stock-recluta de Beverton y Holt. Periodo 1986-2021. Modelo 3. Merluza efectivo norte de 41° S.



Proyección y estimación de la CBA a partir de los modelos estructurados por edad y sugerencias de manejo para el 2023

Las proyecciones se efectuaron considerando los resultados de la evaluación derivada de los dos modelos estructurados **M2** y **M3**. La captura total de 2022 se estimó preliminarmente en aproximadamente 30.000 t, considerando las diferencias registradas con el año anterior y la proyección utilizada para la ZCPAU (23.156 t). El patrón de selección se consideró constante en el tiempo, correspondiente al promedio de los dos últimos bloques de selección de la fase de diagnóstico (S3 y S4). Se incorporó incertidumbre en la biomasa inicial a comienzos de 2021 (resorteo a partir del valor medio y desvío estándar estimado en el diagnóstico) y se consideró a los reclutamientos de los años 2021 y 2022 como promedio de aquellos estimados durante los diez últimos años menos los dos últimos. Los reclutamientos, a partir del año 2023, se proyectaron según la relación de Beverton y Holt con error simulado, siguiendo una distribución log-normal con sigma de 0,3, tal como en el diagnóstico, estimado a partir de la variación observada en los reclutamientos en el período mencionado anteriormente.

Las Capturas Biológicamente Aceptables (CBA) se estimaron en el corto y mediano plazo con un riesgo del 10 % de que no alcance la Biomasa Reproductiva Objetivo de 150.000 t y de 230.000 t. Los valores resultantes sugieren que la captura recomendada no debería superar las 60.700 t si se opta por recuperar la biomasa reproductiva a 150.000 t en el mediano plazo o 39.901 t para alcanzar las 230.000 t en el mismo tiempo, para el modelo más precautorio (**M2**), Tabla 12.

Tabla 12. Resumen del análisis de riesgo en el corto y mediano plazo considerando que los reclutamientos proyectados representen la relación stock-recluta de Beverton y Holt. Los valores de F relativa y CBA corresponden al riesgo de 10 % de no cumplir con el objetivo de recuperación de la biomasa de reproductores (BR). **Modelo 2.** Merluza efectivo norte de 41° S.

| Objetivo = | <i>BR > 150.000 t</i> | | <i>BR > 230.000 t</i> | |
|---------------|--------------------------|---------------|--------------------------|---------------|
| Proyección | F relativa | CBA 2023 | F relativa | CBA 2023 |
| Corto plazo | 0,416 | 49.439 | - | - |
| Mediano Plazo | 0,527 | 60.700 | 0,324 | 39.901 |

Tabla 13. Resumen del análisis de riesgo en el corto y mediano plazo considerando que los reclutamientos proyectados representen la relación stock-recluta de Beverton y Holt. Los valores de F relativa y CBA corresponden al riesgo de 10 % de no cumplir con el objetivo de recuperación de la biomasa de reproductores (BR). **Modelo 3.** Merluza efectivo norte de 41° S.

| Objetivo = | <i>BR > 150.000 t</i> | | <i>BR > 230.000 t</i> | |
|---------------|--------------------------|----------|--------------------------|----------|
| Proyección | F relativa | CBA 2023 | F relativa | CBA 2023 |
| Corto plazo | 0,554 | 88.611 | 0,228 | 40.811 |
| Mediano Plazo | 0,536 | 86.312 | 0,348 | 59.615 |

Se recomienda, además, que para el sector localizado entre el extremo sur de la ZCPAU y los 41°S, se descunte al valor finalmente establecido del efectivo norte, la declaración de captura promedio de Argentina y Uruguay de la ZCPAU, que no ha superado la CMP establecida por resolución de la CTMFM. Entre 2017 y 2021 el promedio de las capturas declaradas fue 22.860 t.



Si bien se detectó una mejora en la biomasa total y reproductiva del efectivo hacia 2017, la nueva información incluida en el modelo evidenció que no fue de la magnitud presentada en el **M1**. **La inclusión de la biomasa de 2021 que mostró una disminución de la biomasa total y reproductiva respecto de la del 2016, evidenció que la magnitud de tal recuperación no fue tal alta. Esto denota la importancia de que al menos cada dos años se realicen las campañas de evaluación integral de los recursos demersales efectuadas en conjunto con Uruguay, donde no sólo se toma información de merluza común sino del ambiente y de otros componentes del ecosistema y que a su vez, se alterne con la campaña de evaluación reproductiva y de juveniles en el mismo sector. Por otro lado, se recomienda establecer a futuro un área de veda permanente en conjunto con Uruguay que proteja el crecimiento de los juveniles durante todo el año, ya que la recuperación dependerá de la biomasa reproductiva y del éxito de los futuros reclutamientos. En este sentido fue un importante logro de la CTMFM establecer un área de clausura en invierno, que puede proteger a reproductores y juveniles, sin embargo, para ello es necesario establecer un monitoreo eficiente y constante a través del tiempo con campañas de investigación.**

Es necesario hacer notar que niveles bajos de esfuerzo, como los de los últimos años, permitirían alcanzar niveles de biomasa reproductiva que podrían generar, a futuro, reclutamientos mayores y estables a los estimados en el último decenio y que, de ser así, se podrían obtener rendimientos mejores y más estables. En este sentido, las evaluaciones directas y estandarizadas, como la de las campañas de evaluación total del recurso o de la fracción reproductiva, permitirán profundizar el conocimiento adquirido y reducir la incertidumbre inherente a los modelos de evaluación (Irusta et al 2021).

El estado de explotación de este efectivo ha mostrado que la recuperación pudo no haber sido tan importante como la descrita en las evaluaciones 2020 y 2021, (Irusta y Santos, 2020; Irusta et al, 2021), por no contar con índices de campañas, entonces, aún más resulta imprescindible la recomposición de los reclutamientos poniendo especial énfasis en la protección de las áreas de desove. El stock al norte de 41° S se reproduce principalmente en otoño - invierno en la ZCPAU (35° - 38° 30' S), entre los 50 y 100 m, observándose un desplazamiento espacial en el pico de desove a medida que avanza la temporada de puesta (Macchi & Pájaro 2003; Dato et al. 2009; Rodrigues & Macchi 2010).

Numerosas medidas tendientes a reducir las capturas, tanto en la ZCPAU como al sur de la misma hasta 41° S abarcando la totalidad del efectivo, se han efectivizado. En la ZCPAU, la implementación de un plan de recuperación basado en medidas como la reducción de la Captura Total Permissible de 90.000 a 70.000 t (CTMFM, Res. 2021) y la protección de juveniles y adultos con la clausura de un área durante el invierno, que complementó el resto de las vedas en las demás temporadas también fue impuesta. Además, se redujeron los viajes dirigidos a merluza a cuatro anuales por embarcación con un tope de captura total (Resoluciones: CTMFM 7/11, 6/11 y CFP 16/13 y 14/17).

Para la recuperación de los reclutamientos, una medida complementaria es el uso efectivo de los dispositivos de selectividad, ya que permitirían una mayor sobrevivencia de las clases juveniles permitiéndoles a un mayor número de ejemplares la posibilidad de alcanzar la edad de primera madurez con el fin de aumentar la cantidad de reclutas a los tres años de la puesta.

Conclusiones

En esta oportunidad, la inclusión de los resultados de la campaña efectuada en la ZCPAU y extrapolada a todo el efectivo norte evidenció un estado poblacional diferente al evaluado en 2020 y 2021, ya que mostró una caída del 31 % de la biomasa observada respecto de 2016. De no haber tenido esta información, los resultados hubieran sido similares a las evaluaciones de esos años pero su incorporación mostró que la recomposición poblacional pudo no ser de tal magnitud (**M2**) y en el caso del **M3** la continuación de una recuperación pero de menor magnitud que la del **M1**. La reducciones estimadas en el estado poblacional mediante estos dos últimos modelos, y por lo tanto, la



de la relación stock-recluta, a partir de la cual surgen los Puntos Biológicos de Referencia, indujo a la reducción de los mismos a valores utilizados en la evaluación del año 2019 (150.000 t y 230.000 t de BR).

Con el fin de confirmar las tendencias evaluadas en este informe es necesario que se efectúe la campaña de evaluación integral conjunta con Uruguay, al menos cada dos años, y la campaña dirigida a evaluar la fracción desovante y juveniles del efectivo norte también año por medio. Así como también, tener una mayor frecuencia de información derivada de los Observadores científicos del INIDEP y a futuro de la CTMFM.

Sería necesario, además, establecer una única zona de protección permanente de juveniles y del desove durante todo el año, a fin de asegurar el éxito de los mismos y mecanismos de selectividad que coadyuven a tal fin.

Finalmente, se sugiere que las capturas efectuadas en el efectivo norte no sobrepasen las 60.700 t, si se opta por recuperar la biomasa reproductiva a 150.000 t en el mediano plazo, considerando el M2 más precautorio. Asimismo se menciona que para establecer la captura permitida en el sector comprendido entre el sur de la ZCPAU y los 41° S se le reste a la CBA planteada el promedio de las últimas capturas efectuadas por Argentina y Uruguay en la ZCPAU que entre 2017 y 2021, valor que alcanzó las 22.860 t. Esta recomendación derivó del hecho de que las capturas declaradas estuvieron muy por debajo de las Capturas Máximas Permisibles de la ZCPAU y de la ZEE hasta 41° S.

En este contexto se reitera que resulta absolutamente necesario considerar otras medidas alternativas para su protección, para propender al crecimiento poblacional, como el resguardo de la principal área de reproducción durante el otoño e invierno, mantener las áreas de protección de las concentraciones de juveniles mediante la delimitación de áreas de veda durante todo el año. Así como también, tender al uso de dispositivos selectivos para el escape de juveniles y evitar el descarte.

También, es imperioso incrementar la presencia de Asistentes de investigación Oceanográfico Pesquera en la flota comercial fresquera de altura que opera al norte de 41° S, tanto en la flota argentina como en la uruguaya, dentro del ámbito de la CTMFM, como así también la frecuencia de las campañas dirigidas a evaluar el estado poblacional del recurso merluza en el efectivo norte.

Bibliografía

- BEZZI, S., RENZI, M. A. IRUSTA, C. G., SANTOS, B., TRINGALI, L., EHRLICH, M., SANCHEZ, F., GARCIA DE LA ROSA, S., SIMONAZZI, M. & CASTRUCCI, R. 2004. Caracterización biológica y pesquera de la merluza (*Merluccius hubbsi*). En SANCHEZ, R. P. & BEZZI, S. I. (Eds.). 2004. El Mar Argentino y sus recursos pesqueros. Tomo 4. Los peces marinos de interés pesquero. Caracterización biológica y evaluación del estado de explotación. Publicaciones Especiales INIDEP, Mar del Plata, 359 pp.
- CORDO H. D., RENZI, M.A. & IRUSTA, C. G. 2003. Evaluación del estado del efectivo norte de 41°S de la merluza (*Merluccius hubbsi*) y estimación de la captura biológicamente aceptable correspondiente al año 2003. Inf. Téc. Int. INIDEP-DNI N° 100/03: 27 pp.
- CORDO, H. D., RENZI, M. & IRUSTA, C. G. 2004. Evaluación del estado del efectivo norte de 41° S de la merluza (*Merluccius hubbsi*) y estimación de la captura biológicamente aceptable correspondiente al año 2004. Inf. Téc. Int. INIDEP-DNI N° 33/04, 28 pp.
- CTMFM. 2021. Informe del Grupo de Trabajo Merluza en el ámbito de la CTMFM. Inf. N° 1, GT_MERLUZA, 36 pp.
- CTMFM. 2022. Informe del Grupo de Trabajo Merluza en el ámbito de la CTMFM. Inf. N° 1, GT_MERLUZA, 34 pp.



- DATO, C.; MACCHI, G. & RODRIGUES, K. 2009 Abundancia, estructura de tallas y área de reproducción de merluza entre 35°S y 41°S durante mayo de 2009. Inf. Invest. INIDEP N° 32/2009: 13 pp.
- D'ATRI, L. L. 2012. Comparación de los resultados de las campañas de determinación de áreas de desove y cría de merluza y estimación de la abundancia de la población y de la fracción madura. Inf Invest. INIDEP N° 50/2012, 12 pp.
- D'ATRI, L. L.; IRUSTA, C. G. & CASTRUCCI, R. 2009. Resultados de la campaña global de evaluación de merluza (*Merluccius hubbsi*). Área al norte del paralelo 41° S (octubre de 2008). Comparación con los resultados de 2006 y 2007. Inf Invest. INIDEP N° 42/2009, 12 pp.
- D'ATRI, L. L, RODRIGUES, K. & MOLINARI, G. 2013. Distribución y abundancia de la merluza (*Merluccius hubbsi*) y caracterización oceanográfica en el área entre 34° S y 40° S durante el otoño del año 2013. Inf Invest. INIDEP N° 82/2013, 16 pp.
- EHRlich, M. D. & CIECHOMSKI, J. D. de. 1994. Reseña sobre la distribución de larvas de merluza (*Merluccius hubbsi*) basada en veinte años de investigaciones. *Publicación de la Comisión Técnica Mixta del Frente Marítimo*, 15 (Sec.A): 37-50.
- IRUSTA, C. G., CASTRUCCI, R. y CHAVARRIA, L. S. 2017. Rendimientos, densidades, distribuciones de longitud y porcentajes de juveniles de merluza (*Merluccius hubbsi*) derivados de la campaña de evaluación integral de los recursos demersales efectuada al norte de 41° S en 2016. Comparación con los resultados de 2011 y 2012. Inf. Invest. INIDEP N° 56/2017, 14 pp.
- IRUSTA, C. G. & CASTRUCCI, R. 2020. Análisis de la actividad de la flota comercial de altura argentina que operó sobre la merluza (*Merluccius hubbsi*) en 2018 y 2019. Inf. Invest. INIDEP N° 58, 28 pp.
- IRUSTA, C. G. & CASTRUCCI, R. 2021. Análisis de la pesca comercial argentina de merluza (*Merluccius hubbsi*) y estimación de la CPUE entre 1986 y 2020 al norte de 41° S. Inf. Invest. INIDEP N° 02/21, 37 pp.
- IRUSTA, C. G. & SANTOS, B. 2020. Evaluación del estado del efectivo norte de 41° S de la merluza (*Merluccius hubbsi*) y estimación de la captura biológicamente aceptable para el año 2020. Inf. Téc. Of. INIDEP N° 20/2020, 41 pp.
- IRUSTA, C. G., CASTRUCCI, R. y CHAVARRÍA. 2017. Rendimientos, densidades, distribuciones de longitud y porcentaje de juveniles de merluza (*Merluccius hubbsi*) derivados de la Campaña de Evaluación Integral de los Recursos Demersales efectuada al norte de 41° S en 2016. Comparación con los resultados de 2011 y 2012. INIDEP, Inf. Invest. N° 56, 14 pp.
- IRUSTA, C. G, DI MARCO, E. y WOHLER, O. C. 2021. Evaluación de la abundancia del efectivo norte de 41° S de la merluza (*Merluccius hubbsi*). Estimación de la captura biológicamente aceptable para el año 2022. INIDEP, Inf. Téc. Of. N° 39, 45pp.
- IRUSTA, C. G, WOHLER, O. C y DI MARCO, E. 2022. Densidad, estructura de longitudes y edad de merluza (*Merluccius hubbsi*) estimada a partir de campañas de investigación efectuadas en la ZCPAU. Período 1996-2021. INIDEP, Doc. Trab. N° 9, 13 pp.
- IRUSTA, C. G., CHAVARRÍA, L. S., ALVAREZ COLOMBO, G., MOLINARI, G., WOHLER, O., CASTRO, F. Y. CASTRUCCI, R. 2019. Análisis comparativo de la información derivada de la campaña "Determinación de las áreas de desove y cría de merluza entre 34° S y 39°30' S" (VA-05/19)" respecto de los años 2009, 2011 y 2012. Inf. Invest. INIDEP, S/N°/19: 21 pp.
- SANTOS, B. & IRUSTA, C. G. 2020. Modelo estadístico de captura por edad, sobre la plataforma ADMB, en el diagnóstico del efectivo norte de merluza común (*Merluccius hubbsi*). Inf. Invest. INIDEP N° 83, 20 pp.
- IRUSTA, C. G. 2019. Evaluación del estado del efectivo norte de 41° S de la merluza (*Merluccius hubbsi*) y estimación de la captura biológicamente aceptable para el año 2020. Inf. Téc. Of. INIDEP N° 45/19, 32 pp.
- MACCHI, G. J. & PÁJARO, M. 2003. Fecundidad, producción potencial de huevos y talla de primera maduración de la merluza (*Merluccius hubbsi*) en el área de reproducción otoñal (35° - 39° 30' S). Inf. Téc. DNI-INIDEP N° 86/03, 13pp.



RODRIGUES, K.A. & MACCHI, G.J. 2010. Spawning and reproductive potencial of the Northern stock of Argentine hake (*Merluccius hubbsi*). Fisheries Research, 106: 560-566.

SUBY, A., IRUSTA, C. G. y CASTRUCCHI, R. 2022. Análisis de la actividad de la flota comercial de altura argentina que operó sobre la merluza (*Merluccius hubbsi*) en 2020 y 2021. Inf. Invest. INIDEP N° 76, 29 pp.

COPIA ELECTRÓNICA INIDEP