

Estandarización de la CPUE de merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) proveniente de la flota arrastrera comercial argentina. Período 2010-2020

Di Marco Emiliano J., Troccoli Gonzalo H., Martínez Patricia A, Wöhler Otto C.

*El presente trabajo ha sido aprobado para su publicación el 20-04-2022 por
NOTA GDE Nro. NO-2022-38395272-APN-DNI#INIDEP*

Citar como:

Di Marco EJ, Troccoli GH, Martínez PA, Wöhler OC. 2022. Estandarización de la CPUE de merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) proveniente de la flota arrastrera comercial argentina. Período 2010-2020. Inf. Invest. INIDEP 040/22. 22 p.





Estandarización de la CPUE de merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) proveniente de la flota arrastrera comercial argentina. Período 2010-2020.

Emiliano J. Di Marco, Gonzalo H. Troccoli, Patricia A. Martínez, Otto C. Wöhler

Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP)
Paseo Victoria Ocampo N°1, 7600, Mar del Plata

Resumen

Se realizó una estandarización de la Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) de merluza negra accesible a la flota arrastrera argentina que operó durante el período 2010-2020, a partir de la información proveniente de los observadores a bordo. Se aplicó un Modelo Lineal Mixto (MLM) con distribución normal de los errores, que incluyó al $\log(\text{CPUE})$ como variable respuesta y a variables influyentes sobre la CPUE como covariables del modelo, quedando el mismo definido como $\ln(\text{CPUE}) = \text{AÑO} + \text{MES} + \text{ÁREA} + \text{PROF} + \text{BUQUE} + \text{AÑO} \times \text{ÁREA} + \epsilon$. Los factores BUQUE y AÑOxÁREA se consideraron efectos aleatorios. El MLM cumplió con los supuestos requeridos para su aplicación, con una buena capacidad para explicar la variabilidad observada en los datos. La inclusión de los efectos aleatorios permitió tener en cuenta la dependencia entre las observaciones de un mismo nivel de agregación, disminuyendo el efecto de pseudoreplicación y mejorando la precisión en las estimaciones. La tendencia general anual de la CPUE estandarizada resultó levemente decreciente, con algunas variaciones durante el período analizado. En el último año (2020) el valor medio de CPUE estandarizado disminuyó un 18% respecto del año previo ubicándose en un nivel similar al de los más bajos del período. Dicho valor podría estar sesgado hacia valores más bajos debido a la falta de cobertura de observadores y a un comportamiento particular de la flota a causa de medidas y restricciones relacionadas con la pandemia COVID-19 pero, fundamentalmente, a la existencia de una veda para la captura del recurso durante la época reproductiva (julio a septiembre) que comenzó en 2020. Los valores medios mensuales de la CPUE estandarizada evidenciaron estacionalidad. Aquellos obtenidos entre agosto y octubre resultaron ser los más elevados coincidiendo, en gran parte, con la época reproductiva. Respecto del análisis espacial, se destacó el cuadrángulo 5461, localizado dentro del Área de Protección de Juveniles de Merluza Negra (APJMN), donde los valores de CPUE estuvieron por encima del resto. La CPUE media estandarizada podría presentar sesgo en el valor del último año del período (2020) sin poder considerarse la serie completa como un índice de abundancia de la fracción de la población de merluza negra accesible a la flota arrastrera. Si este fuera el caso, probablemente será necesario construir un índice de abundancia independiente a partir del año 2020.

Palabras Clave

Dissostichus eleginoides, CPUE estandarizada, índice de abundancia, flota argentina.

Introducción

La pesquería argentina de merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) se ha desarrollado desde comienzos de los años noventa. Hasta el año 1993, fue capturada en forma incidental por la flota arrastrera que dirigía su esfuerzo hacia otras especies. A partir de dicho año, las capturas cobraron relevancia debido al inicio de la pesca dirigida por parte de la flota palangrera, alcanzando un máximo de 18.225 t en 1995. Posteriormente, como consecuencia del establecimiento de medidas de administración tendientes a la sostenibilidad de la pesquería, las capturas disminuyeron hasta llegar, en el año 2006, a 1.100 t aproximadamente. Durante los años subsiguientes dicha tendencia se revirtió, registrándose un aumento progresivo, hasta alcanzar las 3.742 t promedio entre los años 2015 y 2020 (SSPyA 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020), nivel de captura cercano a la Captura Máxima Permisible (CMP) anual establecida durante dicho período por el Consejo Federal Pesquero (CFP).

Desde el año 2004, el INIDEP realiza estimaciones de la abundancia de la especie que permiten recomendar Capturas Biológicamente Aceptables de merluza negra al considerar el potencial



biológico-pesquero de la especie (Wöhler et al. 2004 a y b, Wöhler y Martínez 2005, Martínez y Wöhler 2006, 2007, Martínez et al. 2015, 2016, Di Marco et al. 2018, 2019, 2020). En los inicios, el índice representativo de la abundancia, elegido para ser utilizado en la calibración de los modelos de evaluación, fue aquel proveniente de la CPUE (Captura por Unidad de Esfuerzo) de la flota palangrera debido a su amplia área de operación y gran porcentaje de la captura total de la especie (Di Marco et al. 2017; 2018).

Al momento del establecimiento del régimen de Cuotas Individuales Transferibles de Captura (CITC), en el año 2010, operaban en la pesquería cinco buques palangreros y cuatro arrastreros. Como consecuencia del retiro de buques palangreros de la pesquería desde 2014, y de la distribución diferencial de las CITC de la especie entre ambas flotas, la proporción de captura procedente de la flota arrastrera fue haciéndose notoriamente superior a la de palangre. De esta forma, la información procedente de la flota palangrera resultó insuficiente para estimar un índice representativo de la abundancia de la especie, por lo cual se consideró el análisis de los datos de CPUE procedentes de la flota arrastrera.

Como medida de manejo que permitiera la protección de los adultos reproductores de la especie, se estableció, a partir del año 2020, una veda estacional, durante los meses de julio a setiembre, que implica la prohibición de la pesca dirigida de merluza negra en el sector localizado entre la Isla de los Estados y el Banco Burdwood (Martínez et al. 2019). Esta área constituye el principal caladero para los buques arrastreros dirigidos a la captura del recurso en el Mar Argentino.

En este documento, tal como en informes previos (Di Marco et al. 2017, 2018, 2019, 2020), se realizó la estandarización de la CPUE nominal de la flota arrastrera argentina a partir de un Modelo Lineal Mixto (MLM, Breslow y Clayton 1993, Pinheiro y Bates 2000, Venables y Dichmont 2004, Faraway 2006, Zuur et al. 2009). Los conceptos básicos relacionados con dicho tipo de modelo y las ventajas de utilizarlos en la construcción de índices de abundancia, han sido indicadas en el primer informe de índice de abundancia de merluza negra (Di Marco et al. 2018).

Con el objetivo de contar con un índice de la abundancia relativa para ser utilizado en la calibración de los modelos de evaluación, en este documento, se realizó la estandarización de la CPUE nominal de la flota arrastrera argentina a partir de un Modelo Lineal Mixto (MLM) para el período 2010-2020, metodología ya aplicada con anterioridad (Di Marco et al. 2017, 2018, 2019, 2020). Dicha estandarización se realizó a partir de la información colectada por los observadores a bordo, con el objetivo de contar con un índice de la abundancia relativa para ser utilizado en la calibración de los modelos de evaluación.

Materiales y métodos

Información básica

La información básica utilizada consistió en la CPUE (en kilogramos por hora, kg/h) de merluza negra y en la información temporal (año y mes) y espacial (cuadrángulo y profundidad) correspondientes a cada operación de pesca (lance) registrada por los observadores a bordo de los buques arrastreros que operaron durante el período 2010-2020.

En el análisis, se incluyeron sólo aquellos registros en los cuales la duración del arrastre fue menor a las cinco (5) horas, que representaría el tiempo máximo estimado en una operación de pesca dirigida a la captura de merluza negra (Aguilar com. pers.¹).

Además, se contó con distribuciones de longitudes anuales de la captura observada de merluza negra provenientes de la base de datos de los observadores a bordo de la flota comercial arrastrera correspondientes al período 2017-2020.

¹ Eduardo Aguilar. Programa Observadores a Bordo del INIDEP.

Índice de abundancia de merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) derivado de la flota arrastrera argentina. Período 2010-2020



Metodología aplicada

La estandarización de la CPUE anual se realizó por medio de la aplicación de un Modelo Lineal Mixto (MLM). En dicho modelo, se consideró el logaritmo natural de la CPUE ($\ln[CPUE]$) como variable respuesta, se asumió distribución normal de los errores, y se incorporaron factores y variables de tipo espacio-temporal considerados factibles de haber influido sobre la CPUE, tales como el factor año (AÑO) a partir del cual se extrae la serie cronológica de CPUE que correspondería al índice de abundancia, el factor mes (MES), el factor área (ÁREA), el factor buque de pesca (BUQUE) y la variable profundidad (PROF), comúnmente empleados y recomendados por varios autores (Cooke 1997, Candy 2003, 2004, Tascheri et al. 2010, Campbell 2015). En este modelo, los factores considerados como aleatorios fueron el factor BUQUE y la interacción AÑOxÁREA, dado que se espera que las observaciones de CPUE provenientes de cada nivel de efecto aleatorio, como, por ejemplo, aquellas que derivan de un mismo buque o unidad año-área, sean dependientes entre sí (correlacionadas), desbalanceadas, es decir, distinta cantidad de observaciones y, además, con una aleatoriedad en los niveles de AÑOxÁREA, sin necesariamente estar representadas todas las áreas en todos los años.

Las variables consideradas en la construcción del modelo se describen a continuación:

$CPUE_{ijklm}$: variable continua correspondiente a la captura por unidad de esfuerzo expresada en kilogramos por hora de arrastre (kg/h), dependiente del año i , mes j , área (cuadrángulo) k , profundidad l , buque m e interacción entre año i y área k .

Intercepto: constante del modelo

$AÑO_i$: factor fijo correspondiente al año en que se efectuó el lance de pesca, con i niveles ($i=11$ años: 2010 a 2020).

MES_j : factor fijo correspondiente al mes en que se efectuó el lance de pesca, con j niveles ($j=12$ meses: enero a diciembre).

$ÁREA_k$: factor fijo correspondiente al estrato de área, representado por cada cuadrángulo en que se efectuó el lance de pesca, con k niveles ($k=9$ cuadrángulos: Figura 1).

$PROF_l$: variable continua correspondiente a la profundidad registrada en cada lance de pesca, con valores que variaron entre los 29 y 1.400 metros.

$BUQUE_m$: factor aleatorio correspondiente al buque arrastrero que efectuó el lance de pesca, con m niveles ($m=9$ buques arrastreros).

$AÑO_i \times \text{ÁREA}_k$: interacción aleatoria correspondiente al año i y al cuadrángulo k , en que se efectuó el lance de pesca, con $i \times k$ niveles ($i \times k = 10 \times 9 = 90$ años-áreas).

ε_{ijklm} : término de error del modelo.

A fin de aplicar y ajustar el MLM, se utilizó la plataforma de programación R versión 4.0.3 (<http://www.R-project.org/>; R Core Team, 2020) con la ayuda de librerías relacionadas con la selección de submodelos, ajuste, diagnóstico, inferencia y extracción de estimaciones de este tipo de modelos (mixtos), entre ellas los paquetes *lme4* (Bates et al. 2015, 2019), *nlme* (Pinheiro et al. 2020), *cAIC4* (Säfken et al. 2018), *emmeans* (Lenth et al. 2020), *lmerTest* (Kuznetsova et al. 2017, 2019), *car* (Fox y Weisberg 2019), *ggplot2* (Wickham 2016, Wickham et al. 2020), *sjstats* (Lüdecke 2020), *r2glmm* (Jaeger et al. 2017), *MuMIn* (Barton 2013, 2019), *HLMdiag* (Loy y Hofmann 2014, Loy 2015), *maps* (Brownrigg y Minka 2010, Becker y Wilks 2018).

La estimación de los parámetros se realizó sobre la base de la selección del mejor modelo. Para ello, se procedió a identificar la mejor estructura para cada una de las componentes fija y aleatoria, siguiendo los cuatro pasos del protocolo de selección de modelos (Zuur et al. 2009). Se utilizó el



Criterio de Información de Akaike (AIC; Akaike 1973), que tiene en cuenta los efectos fijos y el Criterio de Información de Akaike Condicional (cAIC; Vaida y Blanchard 2005, Greven y Kneib 2008), que considera los efectos aleatorios. El cAIC utilizado fue el “corregido” (Liang et al. 2008) que, mediante aproximación numérica, corrige la estimación de la incertidumbre en los efectos aleatorios, y su versión analítica, desarrollada por Greven y Kneib 2010), aplicado mediante la función cAIC del paquete cAIC4 (Säfken et al. 2018) del programa R.

La estimación de los parámetros del MLM se realizó mediante parametrización *sigma-restrictiva* (Hernández 2004).

La estimación de las varianzas de los efectos aleatorios se obtuvo mediante Máxima Verosimilitud Restringida (REML).

Se utilizó el método de Kenward-Roger (Kenward y Roger 1997, 2009) a fin de aproximar la prueba exacta de Fisher (“prueba F”) para ANOVA sobre los efectos fijos, particularmente estimar los grados de libertad del denominador y el factor de escala.

Una vez ajustado el mejor modelo (modelo final), se determinó el grado de bondad de ajuste y varianzas explicadas por las componentes fija y aleatoria del mismo mediante la estimación de los coeficientes de determinación (R^2) marginal y condicional (Nakagawa y Schielzeth 2013). El R^2 marginal representa la varianza explicada por la componente fija y el R^2 condicional se interpreta como la varianza explicada por ambas componentes, la fija y la aleatoria, por lo que este último se utilizó como indicador de ajuste global del modelo.

Se realizó un diagnóstico del modelo a fin de validar los supuestos del MLM de normalidad, homocedasticidad, linealidad e independencia (Altman y Krzywinski 2016). Dichos supuestos se verificaron tanto para los factores de la componente fija como para los correspondientes a la componente aleatoria. Se realizó un análisis de residuales sobre el modelo completo, efectos fijos y efectos aleatorios (Zuur 2009, Bolker et al. 2009, Pinheiro y Bates 2000, Correa Morales y Salazar Uribe 2016). En particular, a fin de verificar los supuestos sobre los efectos aleatorios, se estimaron y extrajeron los BLUP o “Mejor Predictor Lineal e Insesgado”, los cuales tienen los menores cuadrados medios del error de predicción entre todos los predictores lineales insesgados (Henderson 1975, Robinson 1991, Bates y Maechler 2009, Bates 2010). Dichos BLUP son una componente de la varianza-covarianza condicional sobre los efectos aleatorios, y representan la esperanza condicional dado los datos observados.

Una vez diagnosticado el modelo, se procedió a la extracción y análisis de los valores estandarizados de las medias, desvíos estándares y límites de sus respectivos intervalos de confianza correspondientes al factor AÑO, mediante la función *lsmeans* de la librería *emmeans*.

Posteriormente, se analizaron los valores de CPUE estandarizados estimados para los factores y covariables espacio-temporales restantes.

A fin de investigar si el valor del último año de la serie estandarizada de CPUE anual pudiera contener algún tipo de sesgo que ponga en duda su validez como índice de abundancia dado que el año 2020 habría sido atípico por la entrada en vigencia de la veda reproductiva impuesta sobre la merluza negra durante los meses de julio a septiembre (Resolución CFP 12/2019) y por las restricciones impuestas por la pandemia de COVID-19, que podrían haber afectado tanto a la actividad de los observadores a bordo como al comportamiento de la flota arrastrera, se realizó la comparación, por un lado, de la CPUE mensual observada en el año 2020 respecto del previo y, por otro lado, la distribución de frecuencias de longitudes observadas en la captura de merluza negra de la flota durante dicho año respecto de años previos (2017-2019).

Resultados y Discusión

Procesamiento de la información

Del total de los registros de la base de datos provenientes de observadores a bordo, 7.530 resultaron aptos para su posterior análisis e inclusión en el MLM. Los mismos correspondieron a nueve buques arrastreros que operaron sobre áreas (cuadrángulos) ubicadas al sur de los 52° S durante el período 2010-2020 (Tabla 1 y Figura 1). Sólo se incluyeron aquellos buques con dos o más años con registros de captura de merluza negra. Cabe destacar que esta especie fue ocasionalmente capturada como fauna acompañante por otros buques y en otros cuadrángulos que no fueron considerados relevantes para este análisis (Martínez et al. 2015, Gorini y Giussi 2018, 2019, 2020).

Tabla 1. Número de registros por buque de pesca considerados para la aplicación del MLG (período 2010-2020).

Buque	Año											Total
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
1	0	0	32	58	24	0	0	0	0	0	0	114
2	0	18	87	0	0	0	0	0	0	0	0	105
3	0	0	0	0	147	74	83	149	278	479	195	1.405
4	0	16	48	0	0	0	0	0	0	0	0	64
5	140	142	284	201	269	237	220	236	603	143	128	2.603
6	33	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52
7	320	246	145	69	72	212	176	377	267	132	194	2.210
8	131	114	110	56	150	61	104	50	33	35	0	844
9	62	71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	133
Total	686	626	706	384	662	584	583	812	1181	789	517	7.530

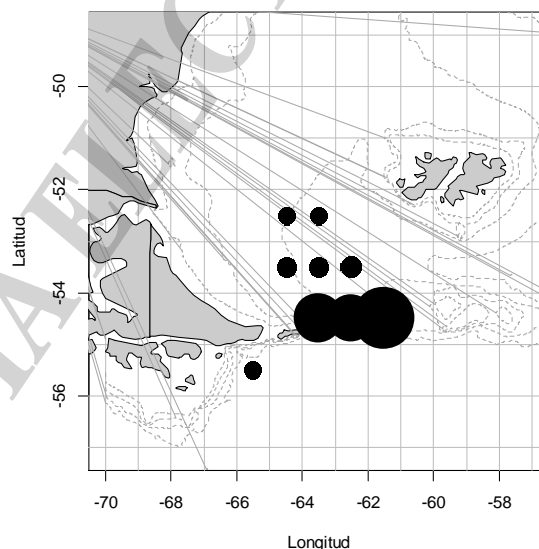


Figura 1. Valores medios de CPUE nominal de merluza negra (kg/h) capturada mediante arrastre de fondo por cuadrángulo considerado para la aplicación del MLG (período 2010-2020).

**Construcción del MLM (protocolo de selección de modelos)**

El paso 1 del protocolo de selección del modelo final constó de plantear un modelo con todos los efectos fijos considerados como más influyentes sobre la CPUE (Tabla 2). Se realizó un Análisis de la Varianza (ANOVA, tipo “II”) a fin de mostrar la significancia de dichos factores planteados.

Tabla 2. Análisis de la Varianza (ANOVA) del modelo que incluyó solo los factores (y variables) fijos.

Factor	SC	gl	F	p (>F)
AÑO	251,7	10	8,4	1,03E-13
MES	496,5	11	15,1	< 2,2e-16
ÁREA	4.520,9	8	188,4	< 2,2e-16
PROF	9.042,9	1	3.015,6	< 2,2e-16
Residuales	22.487,4	7.499		

El paso 2 consistió en seleccionar la estructura óptima de la componente aleatoria. Para ello, se compararon cuatro submodelos, todos ellos con idéntica componente fija, pero diferenciados en su componente aleatoria (Tabla 3). El mejor submodelo resultó ser el más complejo, que incluyó, además de la componente fija, el factor aleatorio BUQUE más la interacción aleatoria AÑOxÁREA. Por lo tanto, la inclusión de ambos factores aleatorios mejoró la modelación al representar un modelo más parsimonioso.

Tabla 3. Verosimilitud, criterio de Información de Akaike (AIC) y AIC Condicional (cAIC) sobre las componentes fija y aleatoria, respectivamente.

Componente fija	Componente aleatoria	logVer	gl	AIC	cAIC
AÑO + MES + ÁREA + PROF	+ BUQUE + AÑOxÁREA	-14.310,53	100,23		28.821,52
AÑO + MES + ÁREA + PROF	+ AÑOxÁREA	-14.456,88	92,42		29.098,59
AÑO + MES + ÁREA + PROF	+ BUQUE	-14.680,89	39,53		29.440,85
AÑO + MES + ÁREA + PROF		-14.496,51	32	29.671,48	

En el paso 3, se obtuvo la estructura óptima de la componente fija (Tabla 4). Se compararon modelos anidados, con la misma estructura en su componente aleatoria pero diferenciados en su componente fija, utilizando el AIC y ajustando mediante máxima verosimilitud (ML).

Tabla 4. Resultados del Criterio de Información de Akaike (AIC) sobre la componente fija del MLM.

Modelo	Intercepto	Año	Area	Mes	Prof	gl	logVer	AIC	deltaAIC	peso
8	0,92	+	+	+	0,0061	34	-14.454	28.976	0	1,00
6	0,72	+	+		0,0064	23	-14.499	29.043	67	0,00
7	0,86	+	+		0,0062	26	-14.506	29.065	88	0,00
5	0,66	+			0,0065	15	-14.550	29.129	153	0,00
4	4,01	+	+	+		33	-15.468	31.001	2.025	0,00
3	3,96	+	+			25	-15.566	31.181	2.205	0,00
2	3,80	+	+			22	-15.730	31.504	2.528	0,00
1	3,76	+				14	-15.828	31.684	2.708	0,00

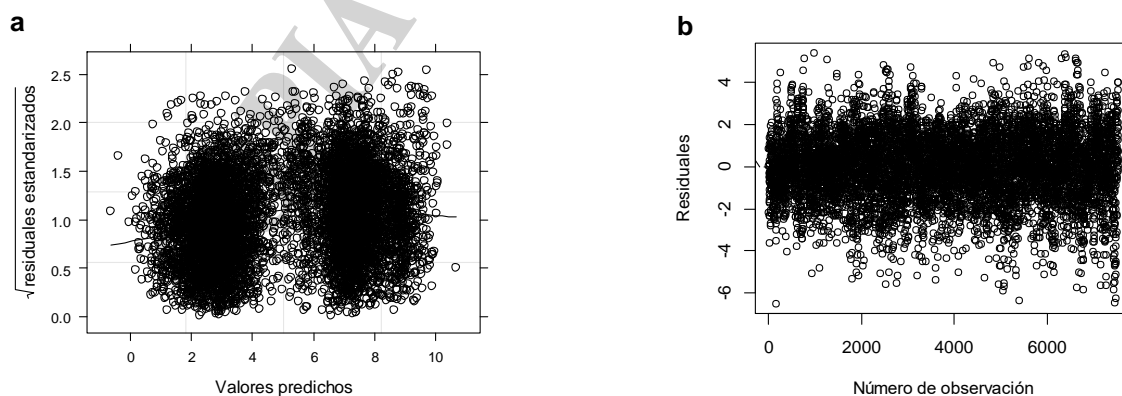
Por último, en el paso 4, se construyó el modelo óptimo definitivo, conformado por las dos componentes, la fija y la aleatoria, con sus estructuras definidas en los pasos 2 y 3, y se ajustó mediante máxima verosimilitud restringida (REML). El modelo final considerado quedó definido como:

$$\ln(\text{CPUE}_{ijkl}) = \text{Intercepto} + \text{AÑO}_i + \text{MES}_j + \text{ÁREA}_k + \text{PROF}_l + \text{BUQUE}_m + \text{AÑO}_i \times \text{ÁREA}_k + \varepsilon_{ijklm}$$

$$\text{siendo } \varepsilon_{ijkl} \sim N(0, \sigma_\varepsilon) \quad (\text{distribución normal de errores})$$

Diagnóstico del MLM (verificación de supuestos)

La ausencia de tendencia (o patrón) en los errores del modelo y de una desviación notoria respecto de la forma lineal, indicó que se cumpliría, de forma aceptable, el supuesto de homocedasticidad y linealidad del MLM (Figura 2). Los residuales mostraron varianza relativamente constante, excepto en el rango central de valores esperados, donde se observó cierta reducción en el número de observaciones (Figura 2a). Dicha discontinuidad se debería a la ausencia de operaciones de pesca, entre los 600 y 800 m aproximadamente, tanto de los buques que capturaron a la especie en forma incidental, a profundidades menores a los 600 m, como de los que la capturaron en forma dirigida, con la obligación de hacerlo a más de 800 m de profundidades. Además, los residuos se encontraron aleatoriamente distribuidos, sin una tendencia definida, indicando un buen grado de independencia en las observaciones (Figura 2b).


Figura 2. Distribución de los residuos estandarizados por sus desviaciones estándares estimadas respecto de los valores esperados (a) y residuos respecto del número de observación (b) a partir del MLM ajustado.

La distribución de frecuencias de los errores (o residuos) correspondientes al MLM ajustado, resultó aproximadamente normal, por lo cual se aceptó el supuesto básico de normalidad para su correcta aplicación (Figura 3a). Algo similar se observó en la gráfica de la probabilidad normal de los residuos, que evidenció una cierta aproximación a la distribución normal (Figura 3b). La mayoría de los residuos se encontraron normalmente distribuidos, excepto en el extremo inferior izquierdo donde los puntos se alejaron de la recta de distribución teórica normal.

Se decidió analizar el comportamiento anual de dichos residuos y, de este modo, observar qué años particulares influyeron sobre los desvíos de los residuos respecto de la recta teórica mencionado en el párrafo anterior (Figura 4). En la mayoría de los años se observó un buen comportamiento de los puntos, como así también en la estabilidad de la pendiente de la serie de puntos, excepto en los años 2012, 2015, 2017 y 2020, en los cuales algunos de los puntos en el extremo inferior izquierdo, presentaron menores valores que los teóricos normales. En el año 2020 los desvíos de los puntos fueron más acentuados y, probablemente, podrían deberse a diversos factores tales como una menor cobertura de observadores a bordo con la consecuente disminución de la cantidad de información disponible. Esto se debió a cambios en la operatividad de la flota debido a las restricciones impuestas por la pandemia COVID-19 y, como factor más importante, la implementación por primera vez de una veda para la captura de la especie durante el trimestre julio-septiembre (Resolución CFP 12/2019), período en el cual ocurre la reproducción en el sector oeste y sur del talud del Banco Burdwood (Martínez et al. 2019). En general, los supuestos de normalidad y homocedasticidad se habrían cumplido de manera aceptable asegurando una adecuada aplicación del modelo.

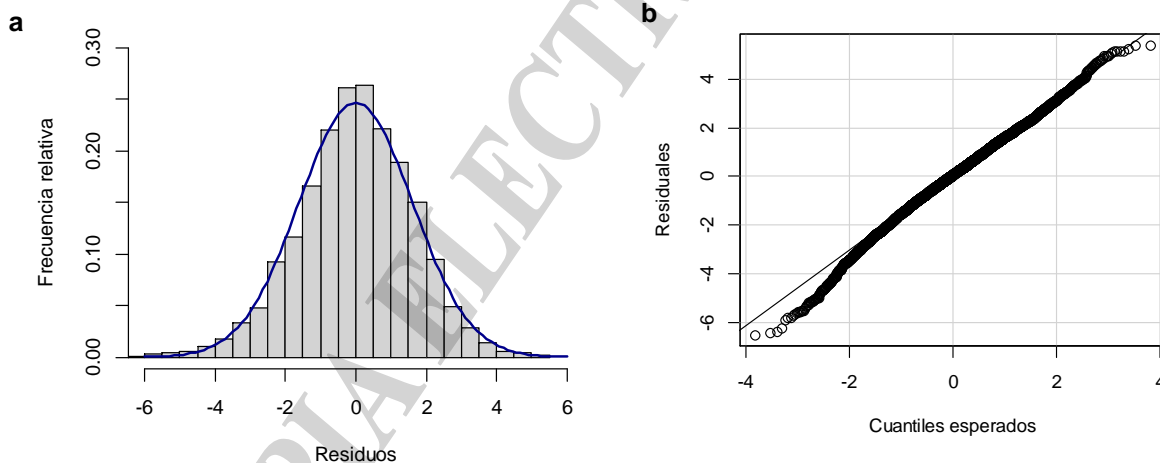


Figura 3. Valores normales esperados (a) y distribución de frecuencias (b) de los residuos estandarizados del MLM. Las líneas continuas (curva y recta) indican la distribución teórica normal.

El análisis residual de los valores observados en cada factor (o variable) fijo (Figura 5) no mostró problemas de falta de homogeneidad de varianzas ni de linealidad dado que, en general, no se observaron patrones o tendencias marcadas en el comportamiento de las varianzas ni de las medianas. En cambio, si existió cierta heterogeneidad entre algunos cuadrángulos (factor ÁREA), y en un reducido grupo de puntos con valores residuales negativos ubicados a la derecha en la gráfica de la covariable PROF.

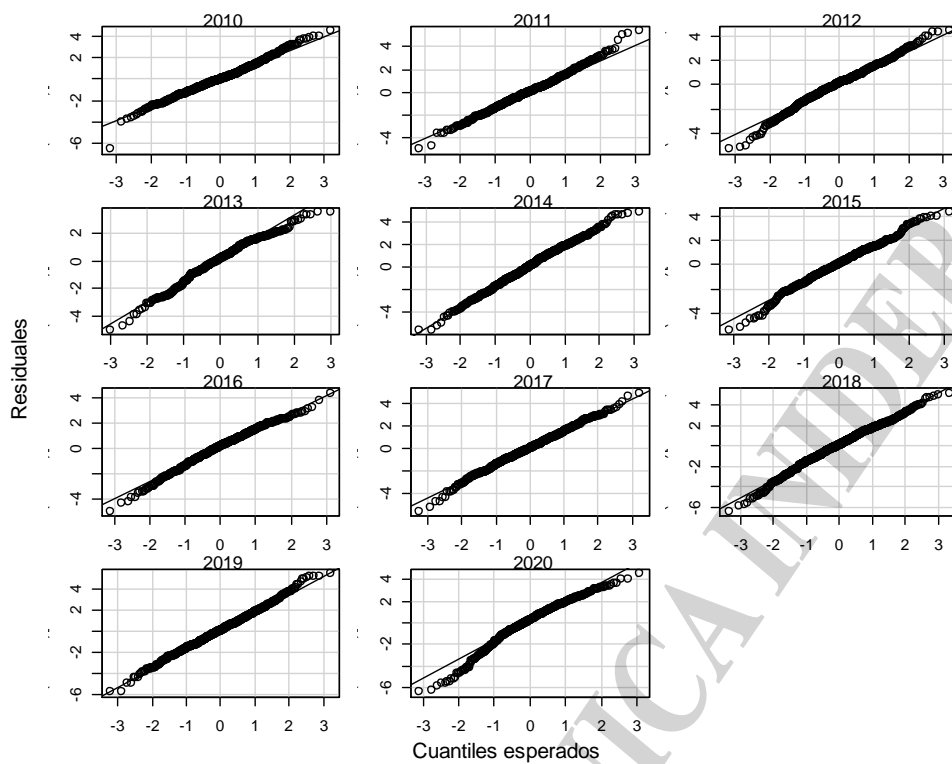


Figura 4. Valores normales esperados de los residuos estandarizados (gráfico cuantil-cuantil) por cada nivel del factor AÑO considerado en el MLM. La línea recta continua indica la probabilidad teórica normal.

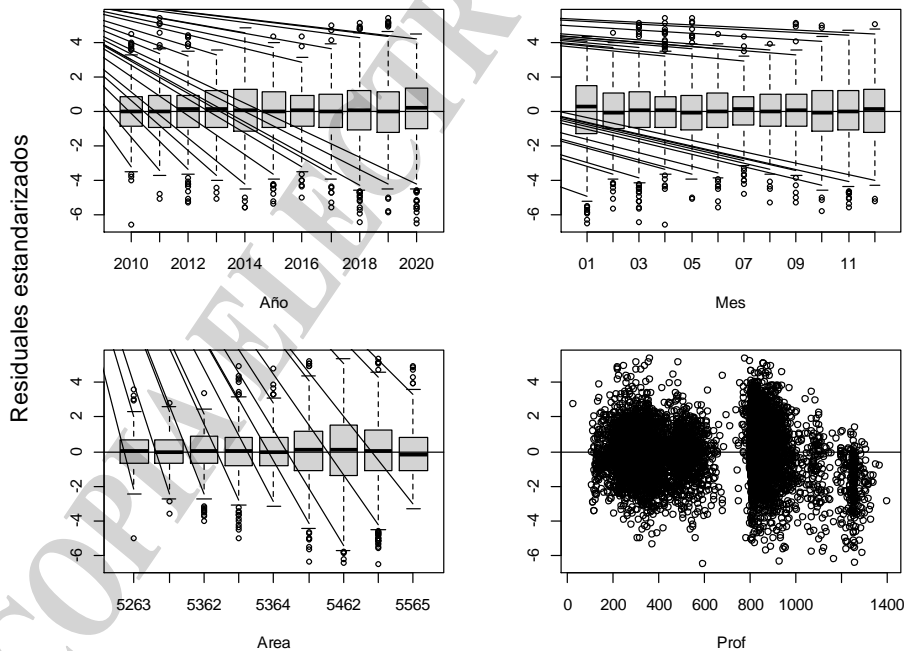


Figura 5. Gráficos de “caja” de los residuos estandarizados para los factores fijos (AÑO, MES y ÁREA) y gráfico de dispersión para la variable continua profundidad (PROF).

Los valores medios y desvíos estándares de las “predicciones” (BLUP) de los interceptos de cada nivel de efecto aleatorio, tanto para BUQUE como AÑOxÁREA (Figura 6), en general, tendieron

a encontrarse alejados, tanto a la izquierda como a la derecha de la línea cero la cual representa la estimación correspondiente a los efectos fijos. Los buques que se encontraron a la izquierda de dicha línea, con valores medios negativos, tendrían menores valores medios de CPUE que los que se encontraron a la derecha, con valores positivos. Los intervalos de confianza (95%), basados en los componentes de la varianza estimados, en cuatro (4) de los nueve (9) buques incluyeron al valor cero (0), lo que sugiere que dichos buques no son “significativamente” diferentes del buque promedio del grupo. Sin embargo, el resto de los buques tuvieron un efecto “significativo” sobre la CPUE. Además, algunos buques presentaron intervalos de confianza no superpuestos entre sí, indicando diferencias “significativas” entre ellos. En general, los buques con desvíos más pequeños correspondieron a buques que poseen CITC de la especie y que pescan en forma dirigida. La mayoría de ellos son buques con potencia de máquina elevada o intermedia. El resto, con desvíos más amplios, pescarían merluza negra en forma incidental ya que no poseen CITC.

Los niveles de la interacción AÑOxÁREA se comportaron de forma muy similar a los niveles del efecto BUQUE (Figura 6b), con interceptos negativos y positivos, ciertos intervalos de confianza sin incluir al cero y algunos sin superponerse entre sí. Los desvíos de dichos niveles fueron reducidos, en determinados años, para aquellas áreas en las que se pescó de forma más direccional. El valor correspondiente al nivel 2019-5461 se alejó del resto, con un valor BLUP cercano a -2 (Figura 6b), aunque su intervalo de confianza superior casi coincidió con el inferior correspondiente a otros niveles.

Por lo tanto, ambos factores aleatorios, BUQUE y AÑOxÁREA, tendrían un efecto relativamente “significativo” sobre la CPUE, sumado a la diferencia que arrojó el análisis de varianza, lo que justificaría la consideración de un modelo con una estructura de error adicional (error aleatorio). De otra manera, no se tendrían en cuenta las correlaciones producidas entre las observaciones que provinieran de un mismo nivel de factor aleatorio, aumentando el efecto de pseudoreplicación. Además, si los efectos aleatorios se consideraran como fijos, la estimación del modelo podría presentar algún tipo de problema dependiendo del grado de desbalance en los datos (Candy, 2003).

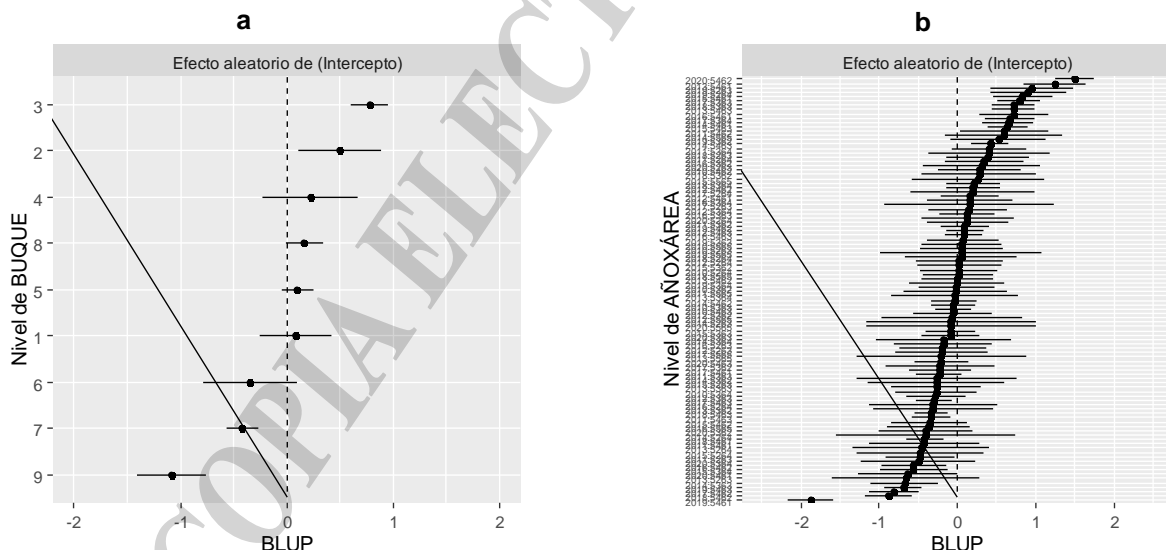


Figura 6. Gráfico de “oruga”: intervalo de predicción (BLUP: Mejor Predictor Lineal Insegado) del 95% (valores medios y desviaciones estándares) basado sobre las modas (distribuciones) y varianzas condicionales para cada nivel de los efectos aleatorios BUQUE (a) e interacción AÑOxÁREA (b) dados los datos observados.



Bondad de ajuste del MLM y varianzas explicadas por las componentes fija y aleatoria

El grado de bondad de ajuste del modelo final (óptimo) fue bueno, con un coeficiente de determinación marginal (R^2_m) de 0,61 y el condicional (R^2_c) en 0,69. La diferencia entre dichos valores, interpretada como la varianza explicada por la componente aleatoria, resultó de 0,08, es decir, un 8% del total, valor relativamente bajo, aunque no despreciable. El MLM tuvo adecuada capacidad para predecir los datos observados respecto de los modelos lineales comúnmente aplicados sobre datos de captura y esfuerzo. Estos últimos suelen presentar valores de R^2 relativamente bajos, menores que los estimados en este trabajo, debido a distintos factores (ambientales, tecnológicos y operacionales) que influyen la abundancia relativa pero que no pueden ser considerados en el modelo (Maunder y Punt 2004).

La varianza explicada por la componente fija (61,34%) resultó mucho más importante que la residual (31%), ambas mayores que las varianzas explicadas por los efectos aleatorios (3,70 y 4,28%, Tabla 5). La varianza explicada por el efecto aleatorio BUQUE resultó casi el doble de la del efecto aleatorio AÑOxÁREA. La varianza residual representó la variabilidad (desviaciones de los valores estimados) dentro de cada nivel de factor aleatorio, que no se debió a ningún efecto aleatorio, es decir, la varianza no explicada por el modelo.

Tabla 5. Componentes de varianzas estimadas de los efectos fijos, aleatorios y residuales del MLM.

Efecto	Tipo	Varianza	Varianza explicada (%)
COMPONENTE FIJA	Factores fijos	5,30	61,34
COMPONENTE ALEATORIA	Factores aleatorios		
BUQUE	(intercepto)	0,32	3,70
AÑOxÁREA	(intercepto)	0,37	4,28
RESIDUAL		2,65	30,67

El modelo se aplicó sobre observaciones de CPUE desbalanceadas (con distinto número de observaciones o registros), que pueden provenir tanto del mismo buque como de buques diferentes. Aquellas correspondientes a buques diferentes se consideraron como réplicas, independientes entre sí (no correlacionadas), mientras que las correspondientes al mismo buque se consideraron como medidas repetidas, dependientes entre sí (correlacionadas), que ejercen un efecto que se conoce como pseudoreplicación sobre los efectos fijos (Crawley 2013). Por ejemplo, las particularidades de cada buque, tales como la potencia de motor, la eslora, la capacidad de bodega, la estrategia de pesca, el tipo de procesamiento entre lances, etc., se verían reflejadas en todas las observaciones que provengan de dicho buque. Por lo tanto, el modelo que incluyó solamente factores fijos estaría sujeto, en este caso, al efecto de pseudoreplicación.

Cabe destacar que, al considerarse los factores AÑO y AÑOxÁREA como aleatorios, la cantidad de parámetros a ser estimados fue menor que si se hubiera considerado como fijos, tal como en un modelo lineal simple, siendo el modelo mixto, así, un modelo más parsimonioso.

**CPUE estandarizada en función de los factores y covariables del MLM ajustado***Extracción de valores medios correspondientes al factor AÑO:*

En general, el comportamiento de los valores medios de la CPUE estandarizada, correspondiente al factor AÑO, evidenció una tendencia general levemente decreciente, con algunas oscilaciones durante el período analizado, es decir, desde 2010 a 2020 (Tabla 6, Figura 7). El valor medio estimado más elevado de la serie correspondió al año 2011. Durante la primera mitad de dicho período la tendencia fue decreciente hasta el año 2014 mientras que, durante la segunda mitad del período, la tendencia fue relativamente estable, con una cierta disminución durante los últimos tres años. En el año 2020, el valor medio de CPUE anual estandarizado disminuyó un 18% con respecto al 2019, ubicándose entre los valores más bajos del período, acumulando una caída del 27% desde el año 2017, el cual representó el valor más alto de los años más recientes.

Probablemente, la disminución de la CPUE estimada en el año 2020 respecto del anterior tenga relación directa con el cambio en la operatividad de la flota dirigida durante dicho año provocada por la implementación de una veda estacional, tal como se mencionó anteriormente.

Según los resultados obtenidos a partir del programa de marcado y recaptura, tanto los ejemplares juveniles como los adultos de merluza negra permanecerían, en su mayoría, en áreas cercanas al lugar donde fueron marcados, y sólo una pequeña fracción de los mismos realizarían mayores desplazamientos (Martínez et al. 2014, Troccoli et al. en corrección). Después del incremento de las concentraciones durante la temporada reproductiva, la mayoría de los individuos se dispersarían ligeramente, hecho que haría disminuir los valores de CPUE a partir del mes de octubre.

Asimismo, la disminución de la información disponible a partir de los observadores a bordo, por las razones ya mencionadas, podría haber influido sobre la caída de la CPUE en el año 2020.

Tabla 6. Valor medio, desvío estándar (de), intervalo de confianza (Lím.Inf. IC-95%; Lím.Sup.IC+95%) y número de registros de la CPUE (kg/h) media anual estandarizada por el MLM (período 2010-2019).

AÑO	CPUE	de	Lím.Inf. IC-95%	Lím.Sup. IC+95%	n
2010	122,09	37,32	65,73	226,78	686
2011	189,88	56,29	103,99	346,71	626
2012	108,45	32,09	59,44	197,85	706
2013	92,90	30,01	48,50	177,97	384
2014	95,95	31,59	49,48	186,06	662
2015	120,19	36,73	64,76	223,09	584
2016	132,15	39,58	71,98	242,62	583
2017	136,15	41,69	73,25	253,07	812
2018	114,51	34,22	62,43	210,02	1.181
2019	121,42	36,84	65,67	224,52	789
2020	99,17	30,95	52,80	186,25	517

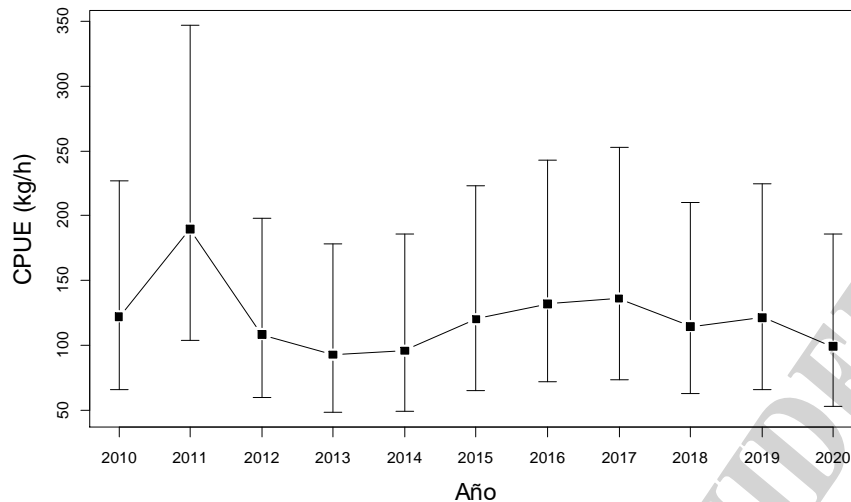


Figura 7. Valores medios e intervalos de confianza (95%) de la CPUE estandarizada (kg/h) correspondientes al factor AÑO del MLM aplicado (período 2010-2020).

Análisis de la CPUE estandarizada correspondiente al factor MES:

Los valores medios de la CPUE estandarizada correspondientes al factor MES (Figura 8) evidenciaron un marcado patrón de estacionalidad. Los más elevados se presentaron de julio a enero y, particularmente, en el trimestre agosto-octubre, que coincidieron temporalmente con los meses en los que la merluza negra se concentraría con fines reproductivos, de julio a octubre (Prenski y Almeyda 2000, Pájaro et al. 2009).

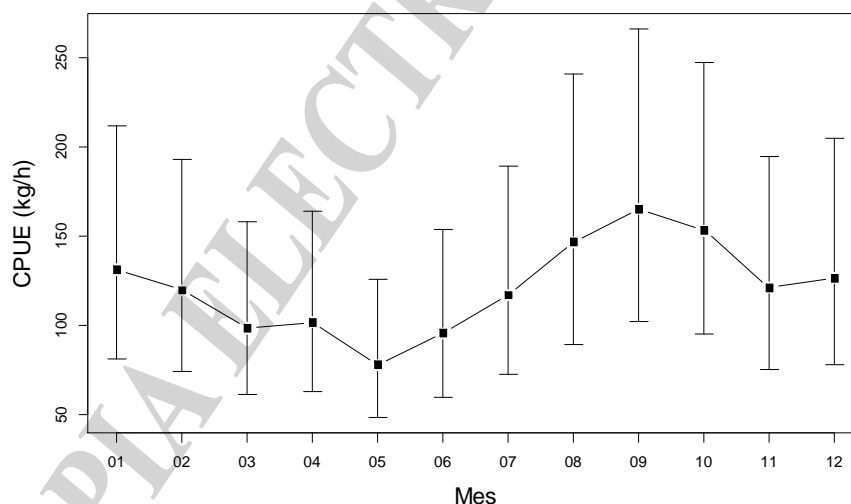


Figura 8. Valores medios e intervalos de confianza (95%) de la CPUE estandarizada (en kilogramos por hora, kg/h) correspondientes al factor MES del MLM aplicado durante el período 2010-2020.

La veda reproductiva impidió la captura del recurso en los cuadrángulos de pesca más importantes, principalmente durante el mes de setiembre, que fue el que presentó los rendimientos más altos durante 2019. Durante los meses de julio y agosto de los últimos años, la operación de los buques arrastreros en dicha zona resultó ocasional debido a limitaciones autoimpuestas para la explotación de la especie durante el período reproductivo. En setiembre del año 2020, se observó la disminución notoria de la CPUE observada respecto de la obtenida el año previo (Figura 9).

Dicho cambio en la operatividad de la flota se vio reflejado, también, sobre la distribución de frecuencias de longitudes proveniente de la captura registrada por los observadores a bordo en el año 2020, la cual resultó ser diferente de la obtenida en años previos, presentando una mayor dispersión de longitudes y una moda menos definida (Figura 10). Cabe destacar que la forma de dicha distribución también podría ser efecto, en parte, de la menor cobertura por parte de los observadores a bordo a causa de las restricciones por la pandemia de COVID-19 durante el año 2020, en mareas dirigidas a la especie y en determinados buques.

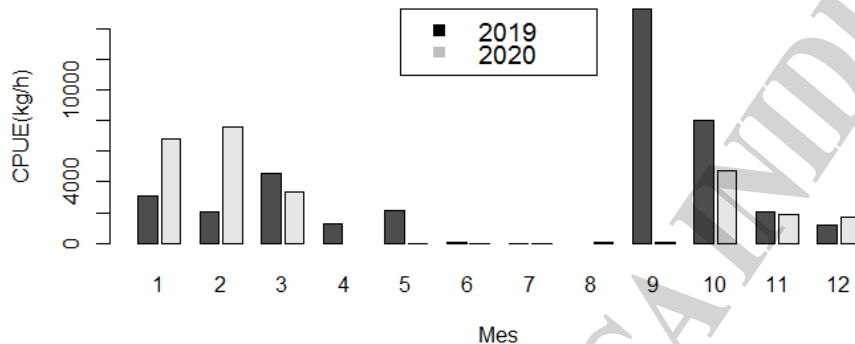


Figura 9. Valores medios de la CPUE observada (en kilogramos por hora) correspondientes a los meses de veda estacional para protección de los adultos (julio, agosto y septiembre) durante los años 2019 y 2020.

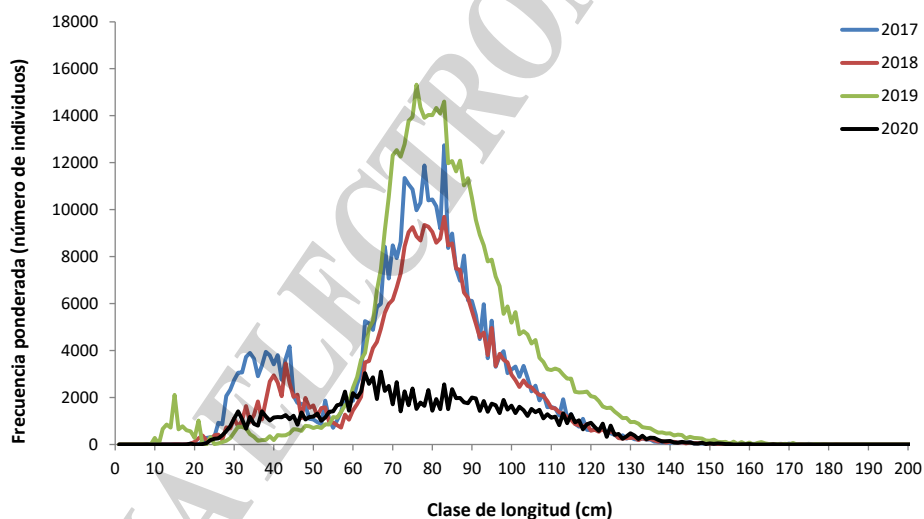


Figura 10. Distribución de frecuencias de longitudes de merluza negra ponderadas a la captura de las embarcaciones con observador a bordo de la flota arrastrera argentina durante el período 2017-2020.

Análisis de la CPUE estandarizada correspondiente al factor ÁREA (cuadrángulo):

Respecto del análisis del factor ÁREA, el máximo valor medio correspondió al cuadrángulo 5461 siguiéndole, en importancia, el correspondiente al cuadrángulo 5463 (Figuras 11 a y b). Ambos cuadrángulos formarían parte del Área de Protección de Juveniles de Merluza Negra (APJMN). Por fuera de dicha área los valores de CPUE estimados resultaron mucho más bajos.

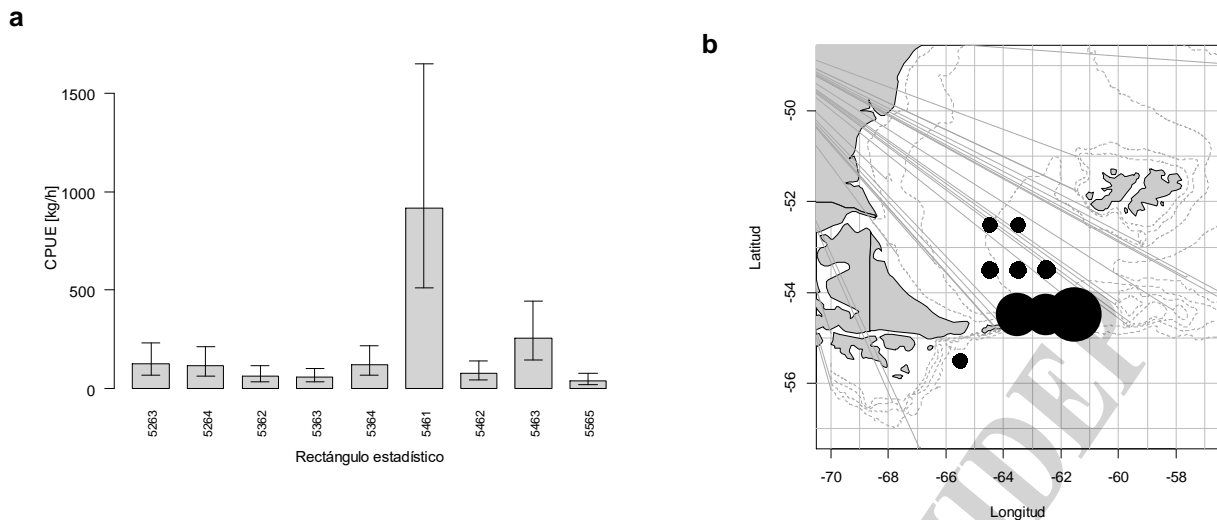


Figura 11. Valores medios e intervalos de confianza (95%) (a) y posición geográfica (b) de la CPUE estandarizada (kg/h) correspondientes al factor ÁREA del MLM aplicado (período 2010-2020). El tamaño de los puntos en el gráfico b indica el valor de CPUE estandarizada (kg/h).

Análisis de la relación entre la CPUE estandarizada y la covariable PROFUNDIDAD:

La CPUE estimada por el MLM aumentó con la profundidad dado el supuesto de relación lineal entre ambas variables (Figura 12). Se destacaron tres concentraciones de puntos bien diferenciados. Hasta los 600 m se observaron las CPUE más bajas. Luego, se observó una interrupción, prácticamente, sin observaciones hasta los 800 m. A partir de dicha profundidad, donde están obligados a operar los buques que pescan en forma dirigida (Resolución CFP N°2/2012), las observaciones se presentaron muy concentradas y con valores de CPUE elevados. Más allá de los 1.000 m también se obtuvieron valores considerables pero algo más dispersos.

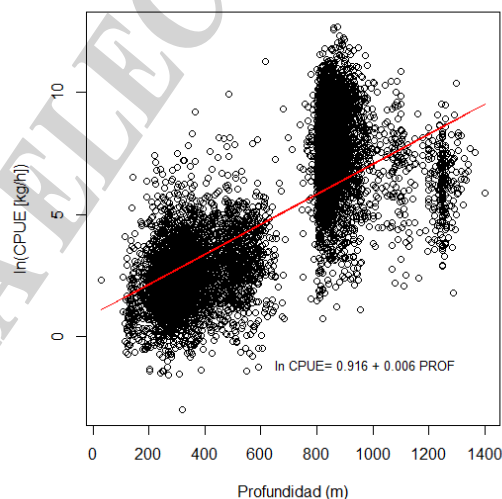


Figura 12. Valores observados (puntos) y estimados (recta) del ln CPUE (kg/h) en función de los valores observados de la covariable PROF del MLM aplicado (período 2010-2020).



Conclusiones

El Modelo Lineal Mixto (MLM) aquí planteado cumplió de forma adecuada con los supuestos básicos necesarios para su correcta aplicación y evidenció una buena capacidad para predecir los datos observados ($R^2_m=0,64$; $R^2_c=0,71$).

Los efectos aleatorios BUQUE y AÑOxÁREA habrían influido de manera positiva en el modelo, disminuyendo el efecto de pseudoreplicación que se daría si no se hubieran considerado ambos factores, que mejoraron, de esta forma, la precisión en las estimaciones.

La tendencia general anual de la CPUE estandarizada resultó levemente decreciente, con algunas oscilaciones durante el período analizado (2010-2020). Durante la primera mitad de dicho período la tendencia fue decreciente mientras que, durante la segunda mitad del período la misma fue relativamente estable, aunque con valores relativamente bajos y con una leve disminución en los últimos años.

Los valores medios mensuales de la CPUE estandarizada evidenciaron un patrón de estacionalidad. Los más elevados se presentaron de agosto a octubre coincidiendo, en gran parte, con los meses en los que la merluza negra se concentraría con fines reproductivos.

En el último año (2020) el valor de CPUE disminuyó un 18% respecto del año previo (2019) ubicándose en un nivel similar al de los más bajos del período. Sin embargo, podría estar sesgado hacia valores más bajos debido, en parte, a una menor cobertura de observadores a bordo de la flota dirigida a merluza negra, motivada por las restricciones impuestas por la pandemia de COVID-19 hacia finales del año 2019 y a cambios en la operatividad de la flota relacionados, principalmente, con la implementación de la reciente veda reproductiva. Este cambio en la operatividad de la flota se vio reflejado también en la distribución de frecuencias de longitudes proveniente de la captura registrada por los observadores a bordo en el año 2020, la cual resultó ser diferente de la obtenida en años previos, presentando una mayor dispersión de longitudes y una moda menos definida. Si esta situación persistiera en años siguientes y se comprobara el efecto de la veda reproductiva sobre la estimación anual de la CPUE estandarizada, podría ser necesario construir un índice de abundancia independiente a partir del año 2020 inclusive.

Se destacó el cuadrángulo 5461, con valores muy elevados de CPUE estandarizada, siguiéndole en importancia el 5463, ambos localizados dentro del Área de Protección de Juveniles de Merluza Negra (APJMN). Por fuera de dicha área, los valores promedio de CPUE estandarizada resultaron mucho más bajos.

La CPUE estimada, en general, aumentó en función de la profundidad, aunque presentó un óptimo entre los 800 y 900 metros, donde la merluza negra es mayormente capturada por la flota dirigida. Los buques que la capturan en forma incidental, lo hacen, generalmente, en profundidades menores a los 600 metros, con rendimientos significativamente más bajos.

Bibliografía

- Akaike H. 1973. Information Theory and an Extension of the Maximum Likelihood Principle. In: B.N. PETROV and F. CSAKI, eds. Second International Symposium on Information Theory. Budapest: Akademiai Kiado, pp. 267–281.
- Altman N, Krzywinski M. 2016. Points of Significance: Regression diagnostics. *Nature Methods* 13, 385–386.
- Barton K. 2013. MuMIn: Multi-model inference. R package version 1.10.0. 1.
- Barton K. 2018. MuMIn: Multi-Model Inference (Version 1.42.1).



- Bates D. 2010. lme4: Mixed-effects modeling with R. URL <http://lme4.r-forge.r-project.org/book>.
- Bates D, Maechler M. 2009. lme4 Linear Mixed-Effects Models Using S4 Classes. R package version 0.999375-32.
- Bates D, Maechler M, Bolker B, Walker S. 2015. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1-48. doi:10.18637/jss.v067.i01.
- Bates D, Maechler M, Bolker B, Walker S, Bojesen Christensen RH, Singmann H, Dai B, Scheipl F, Grothendieck G, Green P, Fox J. 2019. Linear Mixed-Effects Models using 'Eigen' and S4. R package. <https://cran.r-project.org/web/packages/lme4/lme4.pdf>
- Becker R, Wilks A. 2018. maps (version 3.3.0). R version by Ray Brownrigg. Enhancements by Thomas P Minka and Alex Deckmyn.
- Bolker B, Brooks M, Clark C, Geange S, Poulsen J, Stevens HS, White J. 2009. Generalized Linear Mixed Models: A Practical Guide for Ecology and Evolution. *Trends in ecology & evolution (Personal edition)*. 24. 127-35. 10.1016/j.tree.2008.10.008.
- Brandao A, Butterworth DS, Johnston SJ, Glazer JP. 2004. Using a GLMM to estimate the somatic growth rate for male South African west coast rock lobster *Jasus lalandi*. *Fisheries Research* 70,335–345.
- Breslow NE, Clayton DG. 1993. Approximate Inference In generalized Linear Mixed Models. *Journal of the American Statistical Association*, 88, 9-25.
- Brownrigg R, Minka T. 2010. maps: Draw Geographical Maps. R package version 2.1-4.
- Campbell RA. 2015. CPUE standardization and the construction of indices of stock abundance in a spatially varying fishery using general linear models. *Fish. Res.* 161, 109–130.
- Candy SG. 2003. Modelling catch and effort data using generalised linear models, the Tweedie distribution, and random vessel effects: longline fishery for *Dissostichus eleginoides* in CCAMLR Subarea 48.3. Document WG-FSA-SAM-03/12.CCAMLR, Hobart, Australia.
- Candy SG. 2004. Modelling catch and effort data using generalised linear models, the tweedie distribution, random vessel effects and random stratum-by-year effects. *CCAMLR Science*, Vol. 11 (2004): 59–80.
- Cayuela L. 2018. Modelos Lineales Mixtos (MLM) y Modelos Lineales Generalizados Mixtos (GLMM) en R. Area de Biodiversidad y Conservación Rey Juan Carlos, Madrid, España. <https://dl.orangedox.com/XpAZAQ0duvnoBmWZJ2/5Modelos%20lineales%20mixtos%20en%20R.pdf>
- Cooke JG. 1997. A procedure for using catch-effort indices in bluefin tuna assessments (revised). *ICCAT Collective Volume of Scientific Papers* 46, 228–232
- Crawley MJ. 2013. *The R Book*. Second Edition. Michael J. Crawley. Imperial College London at Silwood Park, UK <http://www.bio.ic.ac.uk/research/mjcrow/therbook/index.htm>.
- Dicovski Riobóo LM, Pedroza Pacheco ME. 2017. Modelos lineales generales y mixtos en la caracterización de la variable calificación, Ingeniería Agroindustrial, Uni-norte. *Nexo Revista Científica*, ISSN-e 1995-9516, Vol. 30, N°2, 2017 (Ejemplar dedicado a: Nexa Revista Científica), págs. 84-95.
- Di Marco EJ, Troccoli G, Martínez PA. 2017. Índice de abundancia de merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) derivado de la información de observadores a bordo de La flota comercial palangrera/cachalotera argentina. Período 2009-2015. *Inf. Inv. INIDEP N°027/2017*. 14 pp.
- Di Marco EJ, Troccoli G, Martínez PA. 2018. Índice de abundancia de merluza negra (*Dissostichus eleginoides*): estandarización de la CPUE de la flota palangrera/cachalotera



- argentina que operó durante el período 2009-2016. Informe de Investigación DNI- INIDEP N° 044/2018. 13 pp.
- Di Marco EJ, Troccoli G, Martínez PA. 2017. Estandarización de las tasas de captura de merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) observadas a bordo de la flota arrastrera argentina. Período 2010-2016. Informe de Investigación DNI- INIDEP N° 120/2017. 13 pp.
- Di Marco EJ, Troccoli G, Martínez PA. 2019. Estandarización de la Captura por Unidad de Esfuerzo de merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) derivada de la flota arrastrera argentina mediante la aplicación de un modelo lineal mixto. Período 2010-2017. Informe de Investigación DNI- INIDEP N°065/2019. 19 pp.
- Di Marco EJ, Troccoli G, Martínez PA. 2019. Estandarización de las tasas de captura de merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) accesible a la flota arrastrera argentina que operó durante el periodo 2010-2018. Informe de Investigación DNI- INIDEP N° 09/2019. 19 pp.
- Di Marco EJ, Troccoli G, Martínez PA. 2020. CPUE estandarizada de merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) derivada de la flota arrastrera argentina. Periodo 2010-2019. Informe de Investigación DNI- INIDEP N° 081/2020. 19 pp.
- Di Marco EJ, Martínez PA, Troccoli G, Wöhler OC. 2018. Evaluación de la abundancia y estado de explotación de la merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) del Atlántico Sudoccidental. Recomendación de la captura biológicamente aceptable año 2019. Informe Técnico Oficial N°046/2018. 33pp.
- Di Marco EJ, Martínez PA, Wöhler OC, Troccoli G. 2019. Evaluación de la abundancia y estado de explotación de la merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) del Atlántico Sudoccidental durante el período 1980-2018 Captura Biológicamente Aceptable para el año 2020. Informe Técnico Oficial N°043/2019. 33pp.
- Di Marco EJ, Martínez PA, Wöhler OC, Troccoli G. 2020. Evaluación de la abundancia y del estado de explotación de la merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) en el Atlántico Sudoccidental (período 1980-2019): recomendación de la Captura Biológicamente Aceptable año 2021. Informe Técnico Oficial N°036/2020. 33pp.
- Faraway J. 2006. Extending the Linear Model with R :Generalized Linear, Mixed Effects and Non parametric Regression Models. Chapman & Hall / CRC Texts in Statistical Science, Second Edition. 399 p.
- Fox J, Weisberg S. 2019. An R Companion to Applied Regression, Third Edition. Thousand Oaks CA: Sage. URL: <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>
- Gorini F, Giussi A. 2018. Actualización de la estadística pesquera de peces demersales australes en el Atlántico Sudoccidental (período 2005-2017). Informe Técnico Oficial N°25/18. 62 pp.
- Gorini F, Giussi A. 2019. Actualización de la estadística pesquera de peces demersales australes en el Atlántico Sudoccidental (período 2006-2018). Informe Técnico Oficial N°33/19. 62 pp.
- Gorini F, Giussi A. 2020. Actualización de la estadística pesquera de peces demersales australes en el Atlántico Sudoccidental (período 2007-2019). Informe Técnico Oficial N°28/20. 63 pp.
- Greven S, Kneib T. 2008. On the Behavior of Marginal and Conditional Akaike Information Criteria in Linear Mixed Models. Johns Hopkins University, Department of Biostatistics Working Papers, Paper 179.
- Greven S, Kneib T. 2010. On the behaviour of marginal and conditional AIC in linear mixed models, *Biometrika*, Volume 97, Issue 4, 1 December 2010, Pages 773–789, <https://doi.org/10.1093/biomet/asq042>



- Henderson CR. 1975. Best Linear Unbiased Estimation and Prediction under a Selection Model. *Biometrics*, Vol. 31, No. 2 (Jun., 1975), pp. 423-447. International Biometric Society Stable <http://www.jstor.org/stable/2529430>
- Hernández D. 2004. Estimación de índices de abundancia relativa, estimación del poder de pesca y estandarización del esfuerzo a partir de modelos multiplicativos. Revisión y ampliación de notas de 2002. Notas de divulgación, Biblioteca INIDEP, Mar del Plata, 56 pp.
- Jaeger B, Edwards L, Das K, Sen P. 2017. An R2 statistic for fixed effects in the generalized linear mixed model, *Journal of Applied Statistics*, 44:6, 1086-1105, DOI: 10.1080/02664763.2016.1193725
- Jaeger B. 2017. r2glmm: Computes R Squared for Mixed (Multilevel) Models (Version 0.1.2)
- Kenward MG, Roger JH. 1997. "Small Sample Inference for Fixed Effects from Restricted Maximum Likelihood." *Biometrics* 53:983-997.
- Kenward MG, Roger JH. 2009. "An Improved Approximation to the Precision of Fixed Effects from Restricted Maximum Likelihood." *Computational Statistics and Data Analysis* 53:2583-2595.
- Kuznetsova A, Brockhoff PB, Christensen RHB. 2017. "lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models." *Journal of Statistical Software*, 82(13), 1-26. doi: 10.18637/jss.v082.i13
- Kuznetsova A, Brockhoff PB, Christensen RHB. 2019. Tests in Linear Mixed Effects Models. <https://cran.r-project.org/web/packages/lmerTest/lmerTest.pdf>
- Lenth R, Singmann H, Love J, Buerkner P, Herve M. 2019. emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. <https://cran.r-project.org/web/packages/emmeans/vignettes/basics.html>
- Loy A, Hofmann H. 2014. HLMdiag: A Suite of Diagnostics for Hierarchical Linear Models in R. *Journal of Statistical Software*, 56(5), 1-28. URL <http://www.jstatsoft.org/v56/i05/>.
- Loy A. 2015. HLMdiag: Diagnostic Tools for Hierarchical (Multilevel) Linear Models (Version 0.3.1)
- Lüdtke D. 2020. sjstats: Statistical Functions for Regression Models (Version 0.17.9). doi: 10.5281/zenodo.1284472, <https://CRAN.R-project.org/package=sjstats>.
- Martínez PA, Wöhler OC. 2006. Estimación de la abundancia y el potencial pesquero durante el período 1986-2005 de la merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) del Atlántico Sudoccidental. Informe Interno INIDEP N° 30/06. 30 pp.
- Martínez PA, Wöhler OC. 2007. Estimación de la abundancia y el potencial pesquero de la merluza negra del Atlántico Sudoccidental. Período 1986-2006. Informe Interno INIDEP N°42/07. 33pp.
- Martínez PA, Waessle JA, Wöhler OC, Giussi AR. 2014. Síntesis del Programa de Marcado y Recaptura de Merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) en el Atlántico Sudoccidental y de los resultados obtenidos desde su implementación en el año 2004 hasta diciembre de 2013. Inf Invest INIDEP N° 06/2014.
- Martínez PA, Wöhler OC, Troccoli G. 2015. La evolución de la pesquería de merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) en el espacio marítimo argentino. Período 2013- 2014. Informe Técnico Oficial INIDEP N°11/15, 12 pp.
- Martínez PA, Wöhler OC, Di Marco EJ. 2016. Diagnóstico del estado de explotación de la merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) del Atlántico sudoccidental. Recomendación de la captura biológicamente aceptable año 2016. Informe Técnico Oficial INIDEP N°31/15, 27 pp.



- Martínez PA, Wöhler OC, Troccoli GH, Di Marco EJ. 2019. Sugerencia de establecimiento de una veda estacional y medidas adicionales para resguardar a la fracción adulta y el proceso reproductivo de merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) en el área de protección de juveniles de la especie. Inf Téc INIDEP N° 38/2019, 9 pp.
- Maunder MN, Punt AE. 2004. Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches Fish. Res., 70 (2004), pp. 141-159.
- Nakagawa S, Schielzeth H. 2013. A general and simple method for obtaining R^2 from Generalized Linear Mixed-effects Models. *Methods in Ecology and Evolution* 4: 133–142
- Pájaro M, Macchi GJ, Martínez PA, Wöhler OC. 2009. Características reproductivas de dos agregaciones de merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) del Atlántico Sudoccidental. Informe de Investigación INIDEP N°49/09, 16 pp.
- Pinheiro JC, Bates DM. 2000. *Mixed-effects models in S and S-PLUS*. New York: Springer. 528 p.
- Pinheiro JC, Bates D, Debroy S, Sarkar D, Heisterkamp S, Van Willigen B. 2018. *Linear and Nonlinear Mixed Effects Models*. R package. <https://cran.r-project.org/web/packages/nlme/nlme.pdf>
- Pinheiro JC, Bates D, Debroy S, Sarkar D. R CORE TEAM. 2018. *nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models*. R package version 3.1-137, <https://CRAN.R-project.org/package=nlme>.
- Prenski B, Almeyda M. 2000. Some biological aspects relevant to Patagonian Toothfish (*Dissostichus eleginoides*) exploitation in the Argentine exclusive economic zone and adjacent ocean sector. *Frente Marítimo* 18(A): 103-124.
- Resolución CFP N°12. Resolución del Consejo Federal Pesquero de Argentina (2019). Publicada en el Boletín Oficial, 22 de noviembre de 2019. Número 34245. Página 34. Argentina.
- Robinson GK. 1991. That BLUP is a good thing: the estimation of random effects. *Statist. Sci.*, 6 (1991), pp. 15-51
- Säfken B, Ruegamer D, Kneib T, Greven S. 2018. Conditional Model Selection in Mixed-Effects Models with cAIC4. <https://arxiv.org/abs/1803.05664>
- Seoane J. 2014. ¿Modelos mixtos (lineales)? Una introducción para el usuario temeroso. *Etología*, 24, 15-37.
- Tascheri R, Saavedra-Nievas C, Roa-Ureta R. 2010. Statistical models to standardize catch rates in the multi-species trawl fishery for Patagonian grenadier (*Macruronus magellanicus*) off southern Chile. *Fisheries Research* 105, 200-214.
- Troccoli G, Martínez PA, Di Marco E, Waessle JA, Wöhler OC. En corrección. Análisis de los patrones migratorios de merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) en el Atlántico Sudoccidental a través del programa de marcado y recaptura llevado a cabo a bordo de la flota argentina. *Inf. Invest. INIDEP en corrección*. 23 pp.
- Correa Morales J, Salazar Uribe J. 2016. *Introducción a los modelos mixtos*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Escuela de Estadística, 2016. 257 páginas.
- Vaida F, Blanchard S. 2005. Conditional Akaike information for mixed-effects models. *Biometrika* 2005; 92: 351-70
- Venables B, Dichmont CM. 2004. GLMs, GAMs and GLMMs: An overview of theory for applications in fisheries research. *Fisheries Research* 70(2-3): 315-333 pp.



- Waessle JA, Martínez PA. 2018. Resultados del programa de marcado de merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) en el Atlántico Sudoccidental, 2004-2017. Informe de Investigación N°085/18. 20 pp.
- Wickham H. 2016. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York.
- Wickham H, Chang W, Henry L, Pedersen T, Takahashi K, Wilke C, Woo K. 2018. ggplot2: Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics (Version 3.1.0).
- Wöhler OC, Martínez PA, Hansen JE. 2004a. Estimación de la abundancia de merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) en el Atlántico Sudoccidental mediante la aplicación de un modelo de producción de biomasa estructurado por edades. Informe Interno INIDEP 13/04. 25 pp.
- Wöhler OC, Martínez PA, Hansen JE. 2004b. Estimación de la abundancia y el potencial pesquero de la merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) en el Atlántico Sudoccidental. Informe Interno INIDEP 65/04. 32 pp.
- Wöhler OC, Martínez PA. 2005. Estimación de la abundancia y el potencial pesquero de la merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) en el Atlántico Sudoccidental período 1986-2004. Informe Interno INIDEP 15/05. 32 pp.
- Zuur AF, Ieno En, Walker N, Saveliev A, Smith G. 2009. Mixed Effect Models and Extensions in Ecology With R. DOI: 10.1007/978-0-387-87458-6.

Cita sugerida

Di Marco EJ, Troccoli GH, Martínez PA, Wöhler OC. 2021. Estandarización de la CPUE de merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) proveniente de la flota arrastrera comercial argentina. Período 2010-2020. Inf. Invest. INIDEP XX/XX. 21 p.