

COMISIÓN INTERAMERICANA DEL ATÚN TROPICAL

COMITÉ CIENTÍFICO ASESOR

DÉCIMA REUNIÓN

San Diego, California (EE. UU.)

13-17 de mayo de 2019

DOCUMENTO SAC-10 INF-F

EVALUACIÓN DE INCONSISTENCIAS EN LOS ÍNDICES DE ABUNDANCIA DEL ALETA AMARILLA

Carolina Minte-Vera, Mark N. Maunder, Alexandre Aires-da-Silva, y Haikun Xu

ÍNDICE

Resumen .....	1
1. Introducción.....	2
2. Sensibilidad de la evaluación al índice de abundancia palangrero .....	2
3. Inconsistencia entre los índices de abundancia relativa .....	3
4. Discusión.....	5
5. Plan de trabajo.....	6
Referencias.....	6

RESUMEN

Se estima que la mortalidad por pesca ( $F$ ) reciente del atún aleta amarilla está por encima del nivel de rendimiento máximo sostenible ( $F_{RMS}$ ; multiplicador de  $F^1 = 0.89$ ), lo cual representa un cambio sustancial con respecto a la evaluación previa. Investigaciones mostraron que se debía a la añadidura de nuevos datos para el índice de abundancia basado en la CPUE<sup>2</sup> palangrera. Se plantearon preocupaciones similares acerca de la evaluación del atún patudo en 2018, que presentó un cambio sin precedente en el multiplicador de  $F$ , causado principalmente por nuevos datos en el índice palangrero ([SAC-09 INF-B](#)). Las investigaciones realizadas bajo el proyecto [H.1.a](#) para mejorar la evaluación del patudo han identificado varios problemas con el índice palangrero que necesitan ser abordados, y estos problemas valen también para el aleta amarilla.

Existe una inconsistencia entre el índice basado en la CPUE palangrera y los índices basados en CPUE cerquera asociada a delfines, y el modelo de evaluación de poblaciones no es capaz de ajustarse adecuadamente a ambos tipos de índice ([Informe de Evaluación de Stocks 17](#)). Además, han ocurrido cambios importantes en la composición por tallas de las capturas de la pesquería palangrera (presentación, [SAC-08](#)), indicando posiblemente cambios en la operación de dicha flota. Se consideraron cuatro hipótesis (cambios de objetivo, crecimiento erróneamente especificado, consideración inadecuada de la estructura espacial en los índices de abundancia, y estructura espacial de la población) que podrían explicar las discre-

<sup>1</sup> Multiplicador de  $F$ : el valor por el cual se ha de multiplicar la mortalidad por pesca ( $F$ ) para que equivalga a  $F_{RMS}$  (la mortalidad por pesca correspondiente al rendimiento máximo sostenible)

<sup>2</sup> Captura por unidad de esfuerzo

pancias entre los índices, y se probaron los tres primeros, pero ninguno explicó adecuadamente las inconsistencias. Serán necesarias investigaciones adicionales para construir un modelo de evaluación de población para el aleta amarilla en el Océano Pacífico oriental (OPO) que brinde asesoramiento de ordenación fiable. Se ha desarrollado un plan de trabajo para lograr esto antes de la evaluación de referencia en 2020.

## 1. INTRODUCCIÓN

Se tienen programadas evaluaciones de referencia para los atunes patudo y aleta amarilla en 2020, para poder proporcionar asesoramiento de ordenación para 2021. El personal de la CIAT ha enfocado la implementación del plan de trabajo para mejorar la evaluación del atún patudo (proyecto [H.1.a](#)), porque en 2018 se concluyó que la evaluación no era suficientemente fiable para brindar asesoramiento de ordenación ([SAC-09 INF-B](#)).

Al planear los trabajos de mejora de la evaluación del aleta amarilla, el personal está considerando varios temas que han sido identificados en evaluaciones previas (por ejemplo, Informes de Evaluación de Stocks de la CIAT [17](#), [19](#)) y la evaluación actualizada actual (SAC-10-07). Incluyen:

- a. Cambios en la distribución espacial del esfuerzo de la flota japonesa, cuyos datos se usan para representar la pesquería palangrera del sur, y cambios potenciales de objetivo, que podrían invalidar el uso de la CPUE de esta pesquería como principal índice de abundancia del modelo de evaluación. Esto podría implicar un cambio temporal en la selectividad y capturabilidad.
- b. Implementación de un programa de marcado a gran escala para investigar hipótesis sobre la estructura poblacional y diferencias regionales en parámetros del ciclo vital y reducción de abundancia.
- c. Mejoras de las estimaciones de crecimiento, particularmente de los peces más viejos.
- d. Ponderación de los distintos conjuntos de datos ajustados en el modelo de evaluación.
- e. Refinamiento de las definiciones de las pesquerías en el modelo de evaluación.
- f. Implementación de selectividad que varía con el tiempo, principalmente para las pesquerías cerqueras sobre objetos flotantes.
- g. Exploración de supuestos alternativos sobre la estructura de la población en el modelo de evaluación.

Además de estas mejoras planeadas, los resultados de [la investigación del patudo](#) están resaltando problemas similares que han sido identificados en la evaluación actual del aleta amarilla. El presente informe comenta los temas siguientes, e identifica las investigaciones necesarias para mejorar la evaluación de referencia de 2020:

1. Las cantidades de ordenación son sensibles a la inclusión de los datos de 2018 para el índice de abundancia palangrero.
2. Inconsistencias entre el índice principal de abundancia, que se basa en datos de CPUE de la pesquería palangrera japonesa al sur de 15°N, y los índices basados en las pesquerías cerqueras asociadas a delfines;
3. Cambios significativos en la composición por tallas de la pesquería palangrera del sur, que se basan en muestras de la flota japonesa, indicando posibles cambios operacionales.

## 2. SENSIBILIDAD DE LA EVALUACIÓN AL ÍNDICE DE ABUNDANCIA PALANGRERO

La evaluación del atún aleta amarilla es ajustada a cinco índices de abundancia, pero supone que el índice de CPUE palangrera del sur (“índice LL-S”) es el más fiable, y por lo tanto le asigna la mayor ponderación. No es por lo tanto sorprendente que el modelo sea sensible a su inclusión. Se ejecutó el modelo con y sin los datos actualizados de CPUE palangrera, y se descubrió que las cantidades de ordenación estimadas son sensibles a su inclusión (Tabla 1). En general, los datos de palangre de los tres primeros trimestres del año son incompletos, y no se usan al modelo, por lo que se hizo la comparación entre las ejecuciones del

modelo con los datos del índice LL-S hasta el tercer trimestre de 2017 y con los datos del índice LL-S hasta el tercer trimestre de 2018. Con los datos actualizados, el multiplicador de F es 0.89; sin ellos, es 1.00. Similarmente, el  $SBR/SBR_{RMS}^3$  con los datos actualizados es 0.76, mientras que sin ellos es 0.99. Se descubrió una sensibilidad similar a la CPUE palangrera en la evaluación del atún patudo ([SAC-09 INF-B](#)). Estas diferencias implican cambios sustanciales en la asesoramiento de ordenación que el personal formula para la Comisión. Por lo tanto, asegurar que el índice sea una buena medida de la abundancia relativa es crítico; si no lo es, podría ser apropiado asignar una mayor ponderación a los índices asociados a delfines.

### 3. INCONSISTENCIA ENTRE LOS ÍNDICES DE ABUNDANCIA RELATIVA

La inconsistencia entre el índice principal de abundancia, basado en la CPUE de la pesquería palangrera japonesa al sur de 15°N (LL-S) ([Figura 1](#)), y los índices basados en las CPUE de las pesquerías cerqueras asociadas a delfines (“índices DEL”) del norte (DEL-N) y costera (DEL-I), es motivo de preocupación particular para la evaluación del aleta amarilla. El modelo estima picos en los índices DEL antes de que ocurran, y subestima los índices a partir de 2010, pero hace lo contrario para el índice LL-S ([Informe de Evaluación de Stocks 17: Figura 2](#)). Además, la composición por tallas de la pesquería LL-S ha cambiado a peces más grandes recientemente, indicando posibles cambios en la operación de la pesquería palangrera (presencia, [SAC-08: Figura 3](#)).

Un modelo correctamente especificado debería poder ajustar adecuadamente todos los índices de abundancia dentro de su error de muestreo. Ya que ningún modelo es perfectamente correcto, se espera que alguna variación de proceso no modelada o especificación errónea del modelo cause que el ajuste de los índices sea peor de lo indicado por el error de muestreo. Este desajuste adicional no debería ser sustancial, y debería ser minimizado al grado posible. Se supone que los datos son correctos, pero la comprensión del personal de algunos datos podría ser equivocada o limitada, por lo que podrían estar incorrectamente modelados en la evaluación. Datos malentendidos de este tipo podrían ser útiles, y hasta podrían ser perjudiciales, porque una vez traducidos por el modelo de observación, proveerían información engañosa. Es asimismo posible que ciertos datos bien comprendidos no sean informativos, porque el modelo de observación es tan complejo que se usa toda la información contenida en los datos para estimar los parámetros del modelo de observación mismo. Por lo tanto, la inconsistencia entre los índices de palangre y de delfines sugiere que los modelos de dinámica poblacional o de observación usados en la evaluación del aleta amarilla están erróneamente especificados.

#### 3.1. Índices de abundancia usados en la evaluación del aleta amarilla

La evaluación del aleta amarilla incluye varias pesquerías que podrían potencialmente ser usadas para crear índices de abundancia relativa basados en CPUE: las pesquerías cerqueras sobre delfines, objetos flotantes, y atunes no asociados, y las pesquerías palangreras. No se consideran fiables los índices basados en lances cerqueros sobre objetos flotantes, porque es probable que sean hiperestables: la mayoría de los lances se realizan sobre dispositivos agregadores de peces (plantados), y los buques usan aparatos electrónicos para rastrear los plantados y aproximar la abundancia de los atunes asociados, y realizan lances solamente sobre plantados que llevan atún. Similarmente, no se usan índices basados en la pesquería asociada a delfines del sur (DEL-S) y la pesquería palangrera al norte de 15°N (LL-N) porque las capturas son bajas y/o la CPUE es variable. Se supone que la CPUE de la pesquería palangrera al sur de 15°N (LL-S) es la más fiable, y se ajusta al modelo usando una desviación estándar de la función de verosimilitud lognormal (aproximadamente equivalente al coeficiente de variación (CV)) de 0.2. La desviación estándar para las funciones de verosimilitud de las pesquerías asociadas a delfines del norte y costera

---

<sup>3</sup> SBR (*spawning biomass ratio*): cociente de biomasa reproductora, la razón de la biomasa reproductora actual a aquella de la población sin explotación

(DEL-N, DEL-I) y las pesquerías no asociadas del norte y del sur (NOA-N, NOA-S) es estimada en el modelo, y todas fueron de 0.4 o más. Por lo tanto, se asigna sustancialmente más peso al índice basado en la pesquería palangrera del sur que a los otros índices de abundancia incluidos en la evaluación de la población.

### **3.2. Hipótesis**

Dada la importancia del índice LL-S para estimar las cantidades de ordenación, es importante investigar las inconsistencias con los índices DEL para asegurar que no se deban a un malentendido de los datos de CPUE palangrera. Varias hipótesis podrían explicar las inconsistencias, incluyendo 1) cambio de comportamiento de pesca (objetivo, por ejemplo) por la pesquería palangrera; 2) crecimiento erróneamente especificado; 3) consideración inadecuada de la estructura espacial en los índices de abundancia, y 4) estructura espacial en la población. A continuación se comentan esas cuatro hipótesis, y en la tabla uno se presentan las consecuencias para la ordenación.

#### **3.2.1. Hipótesis 1: Cambio de comportamiento de pesca por la pesquería palangrera**

El aumento del tamaño promedio de los peces en la captura en la pesquería palangrera del sur desde aproximadamente 2010 ([Figura 3](#)) señala que la pesquería podría haber cambiado su comportamiento, concretamente las especies o tallas objetivo, y también podría estar relacionado al cambio en la distribución espacial de la pesquería. La pesquería palangrera japonesa cubre ahora un área más pequeña que antes, y se ha observado que la CPUE y el tamaño del aleta amarilla varían espacialmente ([WSLL-01](#)).

La consistencia y longevidad de este aumento del tamaño promedio indica que no se debe a unas pocas cohortes fuertes que están creciendo, sino a alguna otra característica persistente. Las explicaciones posibles del aumento incluyen: a) cambios en las características operacionales que causan que se seleccionen peces más grandes; b) cambios en posición de pesca; c) tasas de crecimiento o talla máxima incrementadas; d) mortalidad natural reducida; e) mortalidad por pesca reducida; o f) descartes de aleta amarilla pequeño.

Para investigar la hipótesis de cambio de comportamiento, se estimaron cambios en la capturabilidad para el índice de abundancia y la selectividad de la pesquería; se usa la segunda también para predecir el índice de abundancia en el procedimiento de ajuste. Estos cambios mejoraron al ajuste a los índices de abundancia palangrera ([Figura 2a](#), b, 58 unidades de log-verosimilitud) y de delfines ([Figura 2a](#), 9 y 11 unidades de log-verosimilitud para DEL-N y DEL-I, respectivamente), así como los datos de composición por talla palangreros ([Figura 3](#), 57 unidades de log-verosimilitud). Sin embargo, no corrigieron el desajuste en la ocurrencia de los picos de la CPUE, y también tuvieron implicaciones importantes para el asesoramiento de ordenación ([Tabla 1](#)).

#### **3.2.2. Hipótesis 2: Crecimiento erróneamente especificado**

La diferencia temporal en los picos entre los índices podría ser causada por diferencias en el tamaño de los peces capturados en cada pesquería. Un crecimiento mal especificado podría asignar la edad equivocada a aletas amarillas capturados en cada pesquería, sesgando la ocurrencia de cohortes fuertes de tal forma que causaría que ocurran los picos en los períodos de tiempo equivocados. La curva de crecimiento usada actualmente en la evaluación del aleta amarilla es fija, basada en parámetros estimados previamente en el modelo de evaluación (Maunder y Aires-da-Silva 2009), pero se ajusta a datos condicionales de edad por talla de recuentos de anillos de crecimiento diarios en otolitos (Wild 1986). No obstante, se cuenta con datos de otolitos solamente para peces de hasta unos cinco años de edad y 160 cm de largo. Se podrían usar datos de marcado para estimar la edad por talla para individuos más viejos, pero su distribución espacial es limitada, y no queda claro cuán representativos son de las tasas de crecimiento del aleta amarilla en el OPO.

Para investigar la hipótesis que una especificación errónea del crecimiento esté causando las inconsistencias en los índices, se ejecutó el modelo de evaluación estimando todos los parámetros de crecimiento excepto aquellos correspondientes a la variación de la talla por edad. Esto mejoró el ajuste al índice LL-S (44 unidades de log-verosimilitud), pero empeoró el ajuste a los índices DEL (10 y 17 unidades de log-verosimilitud para los índices DEL-N and DEL-I, respectivamente) ([Figura 4](#)).

### **3.2.3. Hipótesis 3: Consideración inadecuada de la estructura espacial en los índices de abundancia**

Los índices de abundancia deberían tomar en cuenta diferencias espaciales en la densidad de los peces. Ninguno de los índices LL-S ni DEL tratan la estructura espacial adecuadamente. Los índices DEL son simplemente captura por día de pesca (CPDP) sin procesar, sin componente espacial excepto las definiciones de las pesquerías ([Figura 1](#)). El índice LL-S se basa en un MLG que incluye latitud y longitud, pero esos son invariables a lo largo del tiempo, y el índice es ponderado por datos, no por área. Se cuenta ahora con nuevos métodos que modelan la variación espaciotemporal y sus correlaciones apropiadamente, y calculan índices de abundancia ponderados por área; se deberían usar métodos similares para desarrollar índices por clase de talla también. Análisis preliminares muestran que el impacto de considerar la variación espaciotemporal en los datos de CPUE y composición es pequeño para el índice palangrero, pero grande para los índices de delfines. Los índices estimados por Xu *et al.* (2019), usando el modelo espaciotemporal VAST, señalan una abundancia más baja desde 2005 que aquellos usados en la evaluación actual ([Figura 5](#)), lo cual causa que los índices sean más consistentes uno con otro. Cuando se usaron los índices de VAST en la evaluación, mejoraron el ajuste del modelo tanto al índice LL-S (30 unidades de log-verosimilitud) como a los índices DEL (30 y 43 unidades de log-verosimilitud para DEL-N y DEL-I, respectivamente), particularmente en años recientes para los índices DEL ([Figura 6](#)). Sin embargo, no corrigió el desajuste en la ocurrencia de los picos de la CPUE. El método podría ser extendido para producir índices por clase de talla, lo cual podría abordar cambios en las frecuencias de talla asociadas a los índices.

### **3.2.4. Hipótesis 4: Estructura espacial en la población**

El personal todavía no ha investigado esta hipótesis, que plantea que una estructura espacial en la población causada por desplazamientos limitados o movimiento ontogenético podría causar reducciones locales o diferencias en tamaño entre áreas. Secciones sustanciales de las áreas definidas para los índices de delfines y palangre no se solapan ([Figura 1](#)); por lo tanto, patrones espaciales en el esfuerzo de pesca, y diferencias en dichos patrones entre artes, podrían causar inconsistencias en los índices de abundancia. Existen algunos indicios de desplazamientos limitados en los datos de marcado, pero no se observa una estructura poblacional clara en el OPO, y separación por distancia podría una explicación igual de probable que poblaciones definidas espacialmente (es decir, las características de los peces difieren entre áreas porque las tasas de intercambio son bajas debido a las distancias involucradas, y no a raíz de barreras físicas, químicas, o biológicas). Los datos de marcado son limitados, e insuficientes para construir un modelo espacial de evaluación con desplazamientos. Análisis de datos de CPUE y composición por tallas de las flotas de cerco y de palangre indican algunas diferencias espaciales, que se podrían usar para desarrollar nuevas áreas para un enfoque de áreas-como-flotas.

## **4. DISCUSIÓN**

La evaluación del atún aleta amarilla en el OPO es altamente dependiente del índice LL-S de abundancia relativa. Se han identificado varios problemas con el índice, que usa datos de la pesquería palangrera japonesa solamente: en particular, la extensión espacial de la flota ha cambiado a lo largo del tiempo, y recientemente el tamaño promedio del aleta amarilla capturado ha aumentado. Se han recomendado índices basados en los datos combinados de varias flotas ([WSLL-01](#)). Además, existe una inconsistencia entre el índice LL-S y los índices DEL: los picos de abundancia están desfasados, y la CPUE reciente es mayor para los índices DEL. El modelo no puede ajustar adecuadamente ambos tipos de índice.

Se probaron tres de las cuatro hipótesis que podrían explicar las inconsistencias entre los índices, pero ninguna lo hizo adecuadamente. Es posible que sea necesario introducir más de una de estas hipótesis simultáneamente (por ejemplo, bloque de tiempo para capturabilidad y selectividad palangrera + modelo espaciotemporal de los índices DEL).

Se usan los datos de composición por talla usados en el modelo de evaluación tanto para a) determinar el tamaño de los peces extraídos de la población, como para b) proveer información para estimar otros parámetros del modelo. Generalmente, se supone que los datos de composición por tamaño contienen información para estimar la selectividad del arte y la fuerza de la cohorte. Sin embargo, los datos de composición por talla también proveen información sobre las tasas de mortalidad, y consecuentemente la biomasa absoluta, a través de un proceso tipo curva de crecimiento, ya que se supone que se conoce la captura con poco error. Por lo tanto, es importante modelar correctamente los procesos que controlan los datos de composición (selectividad, crecimiento, reclutamiento, etc.) y cómo cambian a lo largo del tiempo.

Son necesarias investigaciones adicionales para poder construir un modelo de evaluación de población para el atún aleta amarilla en el OPO que conduzca a un asesoramiento de ordenación fiable antes de la evaluación de referencia en 2020. Como parte del plan de trabajo para preparar para dicha evaluación, se propone un taller para finalizar el trabajo sobre los índices de abundancia y datos de composición palangreros, con la meta de desarrollar índices por clase de talla. Esto precisará acceso a los datos operacionales y los datos de composición por talla correspondientes. Un impedimento actual es la alta demanda computacional necesaria para modelar los datos de composición por talla a escala fina.

## 5. PLAN DE TRABAJO

1. Terminar el trabajo sobre la estructura de la población y la pesquería de aleta amarilla.
2. Celebrar un taller para finalizar el trabajo sobre los índices de abundancia y datos de composición palangreros.
3. Desarrollar índices de abundancia por clase de talla, basados en datos de cerco, usando métodos espaciotemporales.
4. Desarrollar un modelo mejorado para el crecimiento del aleta amarilla.
5. Reevaluar la mortalidad natural del aleta amarilla.
6. Ponderar adecuadamente los distintos conjuntos de datos que se ajustan en el modelo de evaluación, usando métodos recomendados y mejores prácticas.
7. Implementar selectividad que varía a lo largo del tiempo, principalmente para las pesquerías cerqueras sobre objetos flotantes.

## REFERENCIAS

- Maunder, M.N., and A. Aires-da-Silva. 2009. Status of yellowfin tuna in the eastern Pacific Ocean in 2007 and outlook for the future. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Stock Asses. Rep.9: 3-94.
- Schaefer, K.M., D.W. Fuller, and B.A. Block. 2011. Movements, behavior, and habitat utilization of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the Pacific Ocean off Baja California, Mexico, determined from archival tag data analyses, including Kalman filtering. Fish. Res. 112, 22-37.
- Schaefer, K.M., D.W. Fuller, and G. Aldana. 2014. Movements, behavior, and habitat utilization of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in waters surrounding the Revillagigedo Islands Archipelago Biosphere Reserve, Mexico. Fish. Ocean. 23: 65-82.
- Wild, A. 1986. Growth of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, in the eastern Pacific Ocean based on otolith increments. IATTC Bull. 18(6): 421-482.

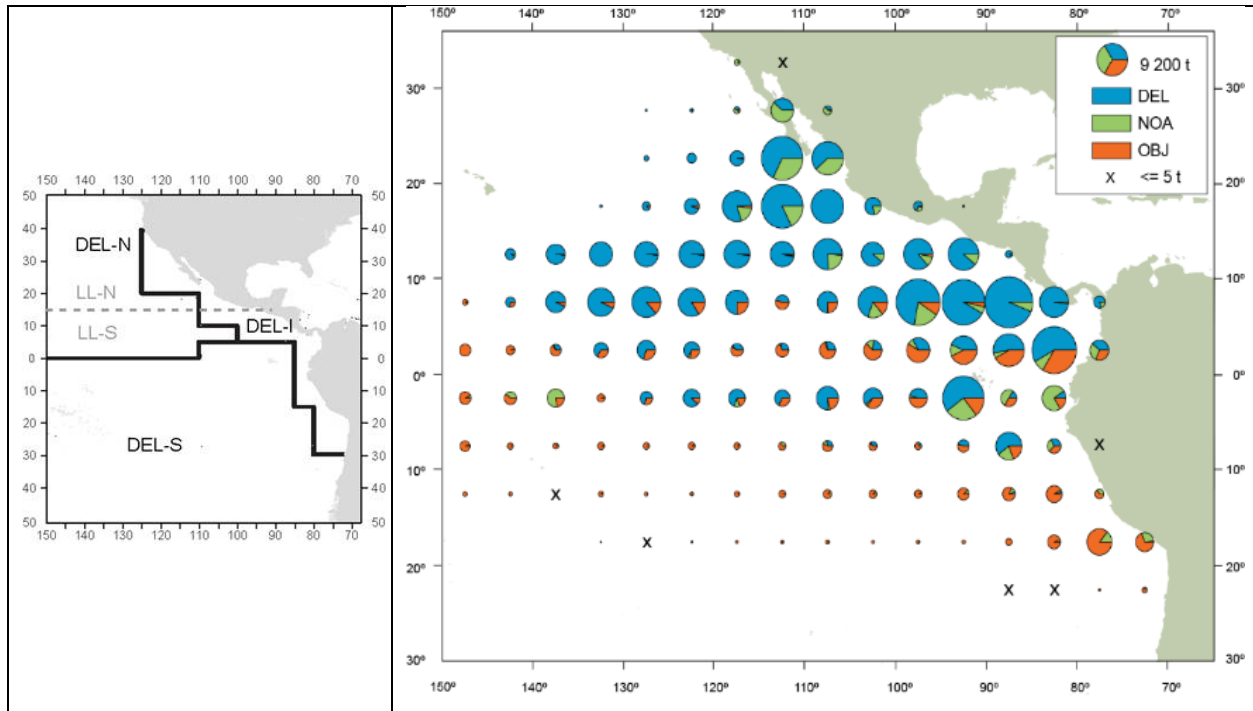
Xu, H., Lennert-Cody, C. E., Maunder, M. N., Minte-Vera, C. V. 2019. Spatiotemporal dynamics of the dolphin-associated purse-seine fishery for yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the eastern Pacific Ocean. *Fisheries Research*, 213, 121-131.

**TABLE 1.** MSY and related quantities for the base case and sensitivity analyses (Hypotheses 1-3), based on average fishing mortality ( $F$ ) for 2016-2018.  $B_{\text{recent}}$  and  $B_{\text{MSY}}$  are defined as the biomass, in metric tons, of fish 3+ quarters old at the start of the first quarter of 2019 and at MSY, respectively, and  $S_{\text{recent}}$  and  $S_{\text{MSY}}$  are defined as indices of spawning biomass (therefore, they are not in metric tons).  $C_{\text{recent}}$  is the estimated total catch for 2018.

**TABLA 1.** RMS y cantidades relacionadas para el caso base y los análisis de sensibilidad (Hipótesis 1-3), basados en la mortalidad por pesca ( $F$ ) media de 2016-2018. Se definen  $B_{\text{reciente}}$  y  $B_{\text{RMS}}$  como la biomasa, en toneladas, de peces de 3+ trimestres de edad al principio del primer trimestre de 2019 y en RMS, respectivamente, y  $S_{\text{reciente}}$  y  $S_{\text{RMS}}$  como índices de biomasa reproductora (por lo tanto, no se expresan en toneladas).  $C_{\text{reciente}}$  es la captura total estimada de 2018.

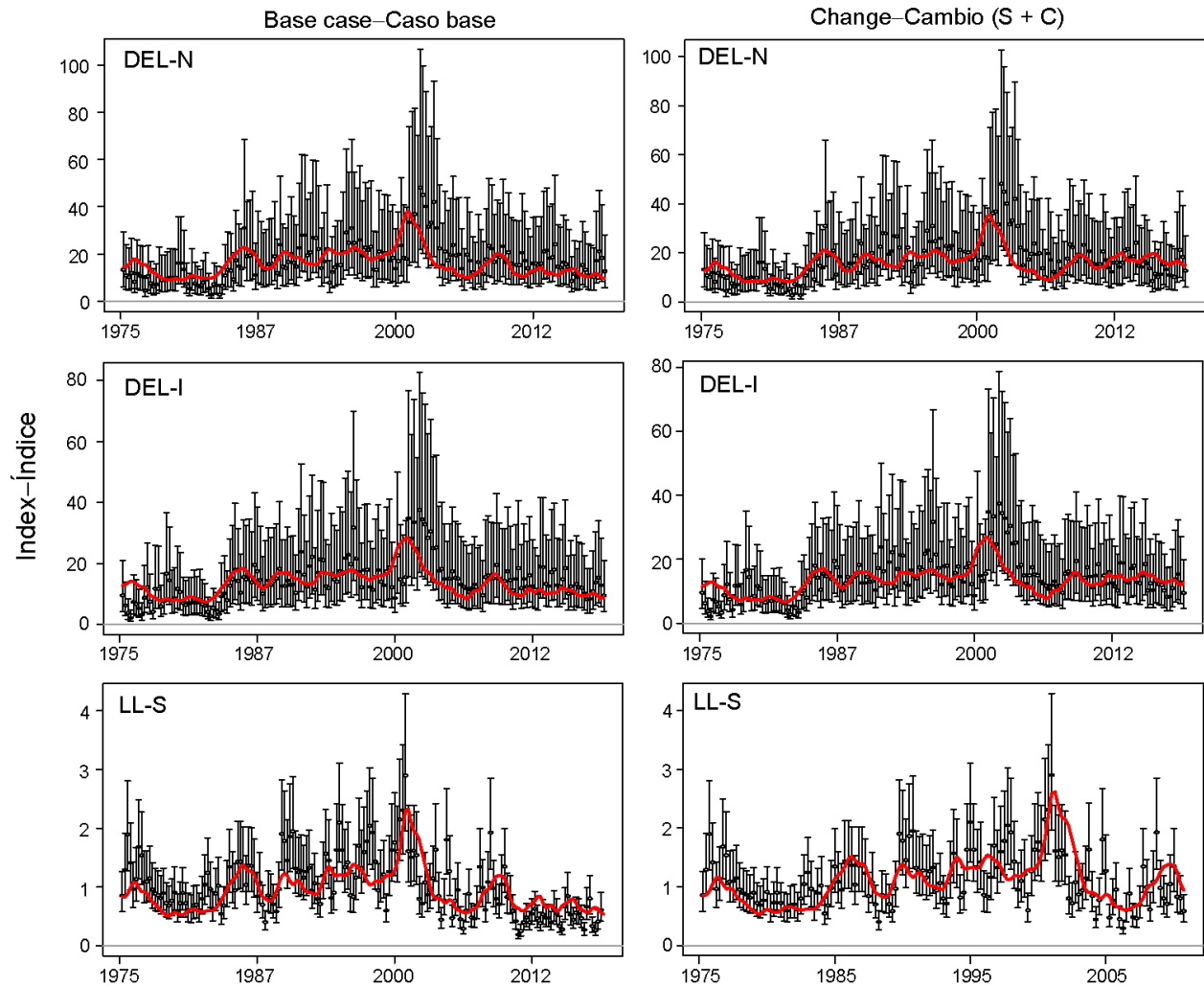
YFT	Sensitivity analyses - Análisis de sensibilidad				
	Base case	No longline CPUE update	H1: Change in selectivity and catchability	H2: Estimate growth	H3: Spatio-temporal DEL indices
	Caso base	Sin CPUE pa-langrera actualizada	H1: Cambio en selectividad y capturabilidad	H2: Crecimiento estimado	H3: Índices DEL espacio-temporales
MSY-RMS (t)	254,974	254,872	248,890	306,849	254,960
$B_{\text{MSY}} - B_{\text{RMS}}$ (t)	371,787	372,247	371,206	477,413	371,460
$S_{\text{MSY}} - S_{\text{RMS}}$ (t)	3,638	3,642	3,660	7,752	3,638
$B_{\text{MSY}}/B_0 - B_{\text{RMS}}/B_0$	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
$S_{\text{MSY}}/S_0 - S_{\text{RMS}}/S_0$	0.27	0.27	0.27	0.29	0.27
$C_{\text{recent}}/\text{MSY} - C_{\text{reciente}}/\text{RMS}$	1	1	1.04	0.83	1
$B_{\text{recent}}/B_{\text{MSY}} - B_{\text{reciente}}/B_{\text{RMS}}$	0.84	1.03	1.12	1.33	0.73
$S_{\text{recent}}/S_{\text{MSY}} - S_{\text{reciente}}/S_{\text{RMS}}$	0.76	0.99	1.08	1.36	0.64
$F$ multiplier-Multiplicador de $F$	0.89	1	1.14	1.63	0.83





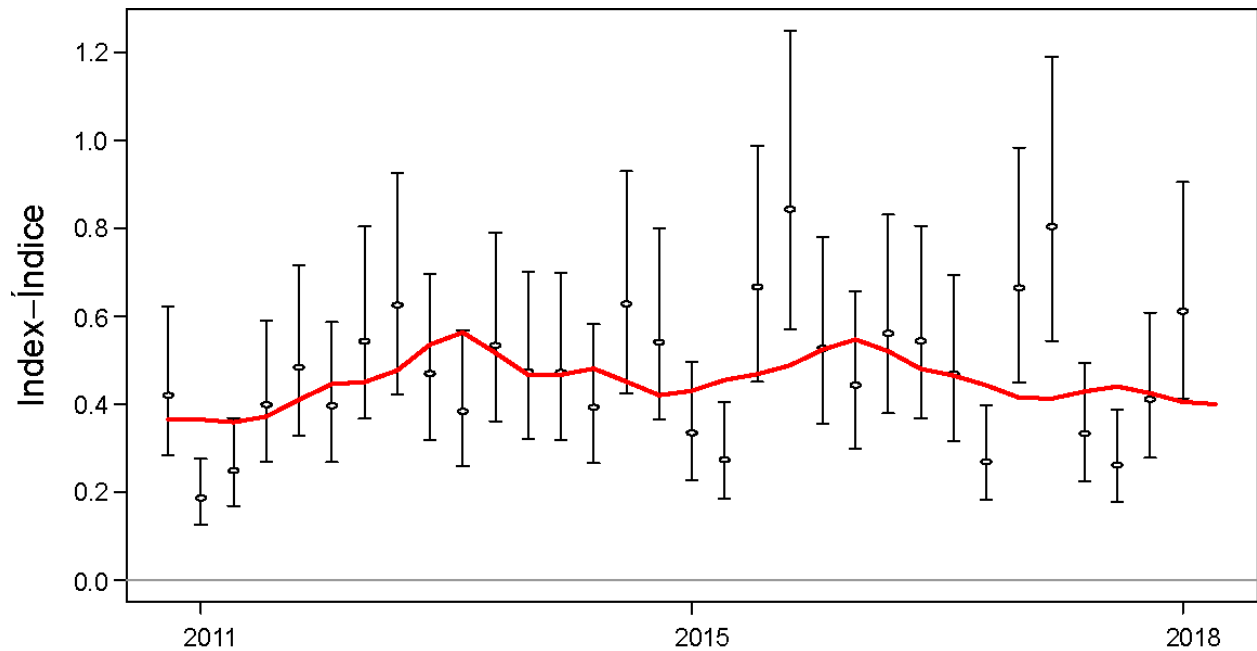
**FIGURE 1.** Longline (LL) and dolphin-associated (DEL) fisheries used as indices of abundance in the stock assessment (left), and average annual distributions of the purse-seine catches of yellowfin, by set type, 2012-2016 (right). The size of the circles is proportional to the amount of yellowfin caught in that 5° by 5° area (IATTC Fisheries Status Report, Figure A-1a).

**FIGURA 1.** Pesquerías palangreras (LL) y asociadas a delfines (DEL) usadas como índices de abundancia en la evaluación de la población (izquierda), y distribución media anual de las capturas cerqueras de aleta amarilla, por tipo de lance, 2012-2016 (derecha). El tamaño de cada círculo es proporcional a la cantidad de aleta amarilla capturado en la cuadrícula de 5° x 5° correspondiente (Informe de la Situación de la Pesquería de la CIAT, Figura A-1a).



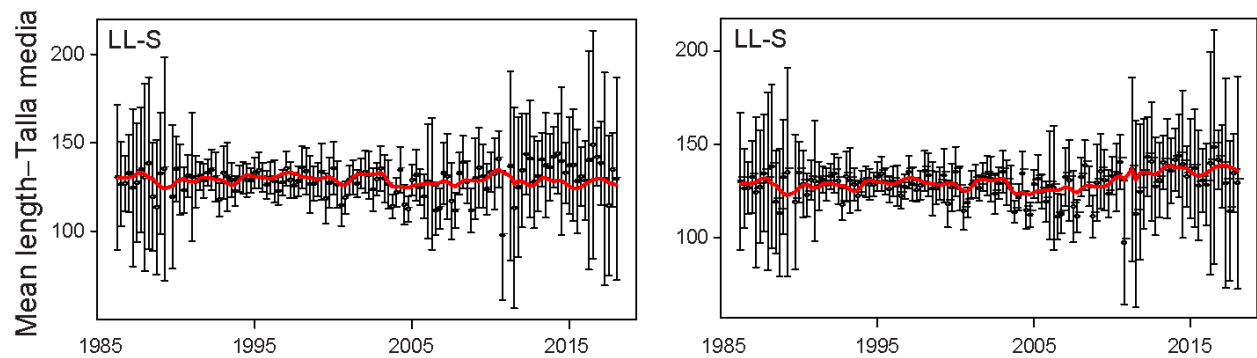
**FIGURE 2a.** Fits to the CPUE data from the base case (left) and from the model with a change in selectivity and catchability after 2010 (right), for the northern and inshore dolphin indices (DEL-N, DEL-I) and the southern longline index (LL-S). Note that the bottom right figure stops in 2010, when the change in selectivity and catchability occurs; later years are shown in Figure 2b.

**FIGURA 2a.** Ajustes a los datos de CPUE del caso base (izquierda) y del modelo con un cambio en la selectividad y capturabilidad después de 2010 (derecha), para los índices de las pesquerías asociadas a delfines del norte y costera (DEL-N, DEL-I) y el índice de la pesquería palangrera del sur (LL-S). Nótese que la figura inferior derecha se detiene en 2010, cuando ocurre el cambio en la selectividad y capturabilidad; en la Figura 2b se muestran los años posteriores .



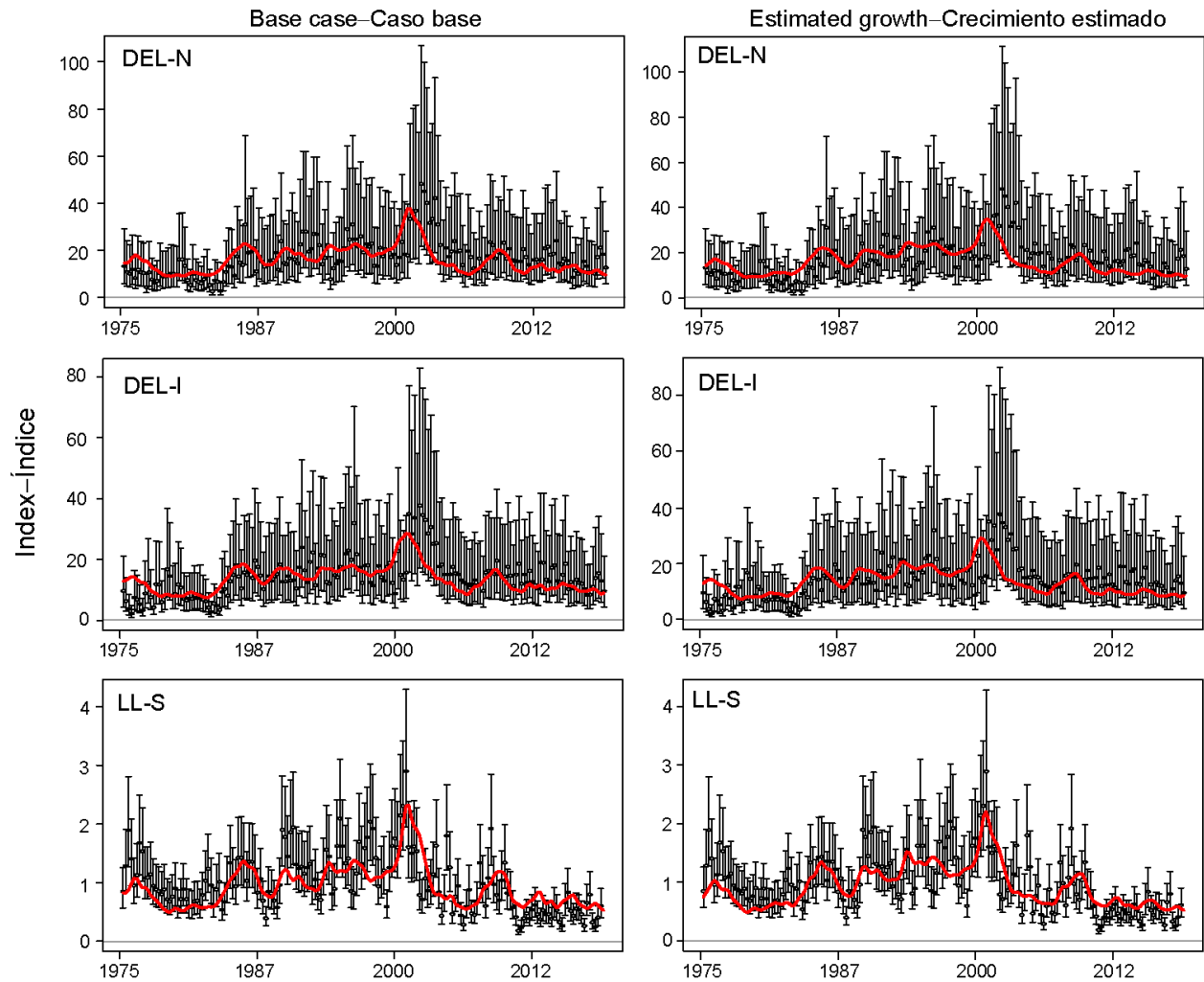
**FIGURE 2b.** Fits to the southern longline (LL-S) index of relative abundance after the change in selectivity and catchability in 2010.

**FIGURA 2b.** Ajustes al índice de abundancia relativa palangrera del sur (LL-S) después del cambio en la selectividad y capturabilidad en 2010.



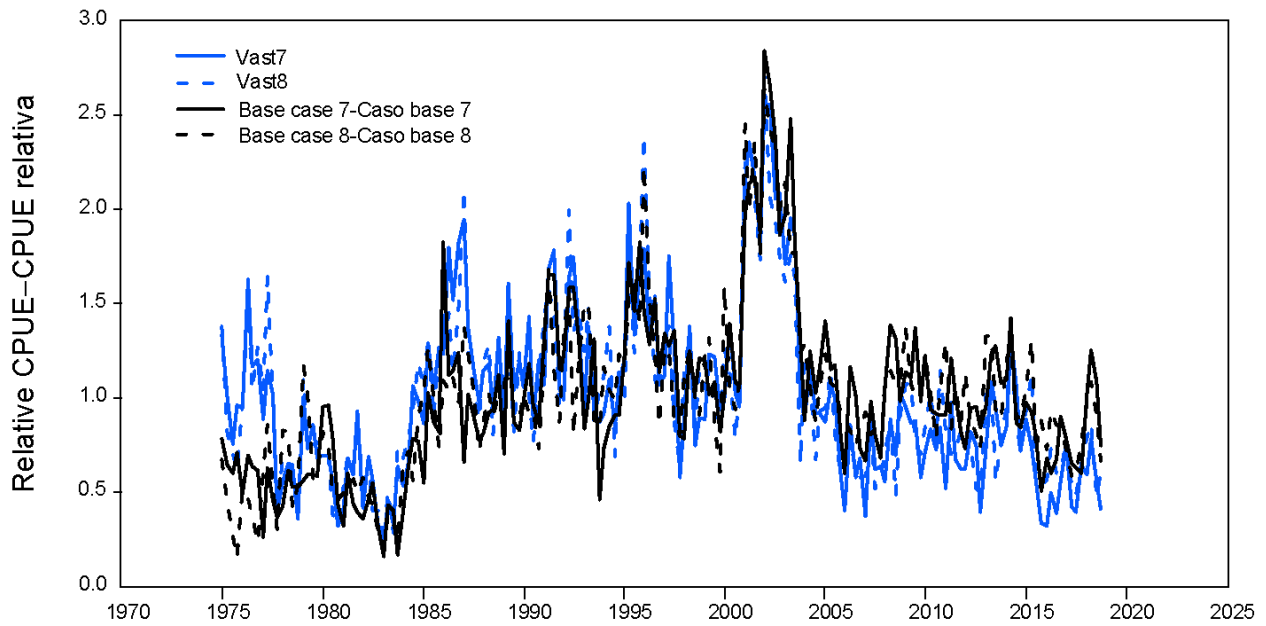
**FIGURE 3.** Observed and predicted average lengths of the fish in the catch for the southern longline fishery (LL-S), from the base case (left) and from the model with a change in selectivity and catchability after 2010 (right).

**FIGURA 3.** Tallas promedio observadas y predichas de los peces en la captura de la pesquería palangrera del sur (LL-S), del caso base (izquierda) y del modelo con un cambio en la selectividad y capturabilidad después de 2010 (derecha).



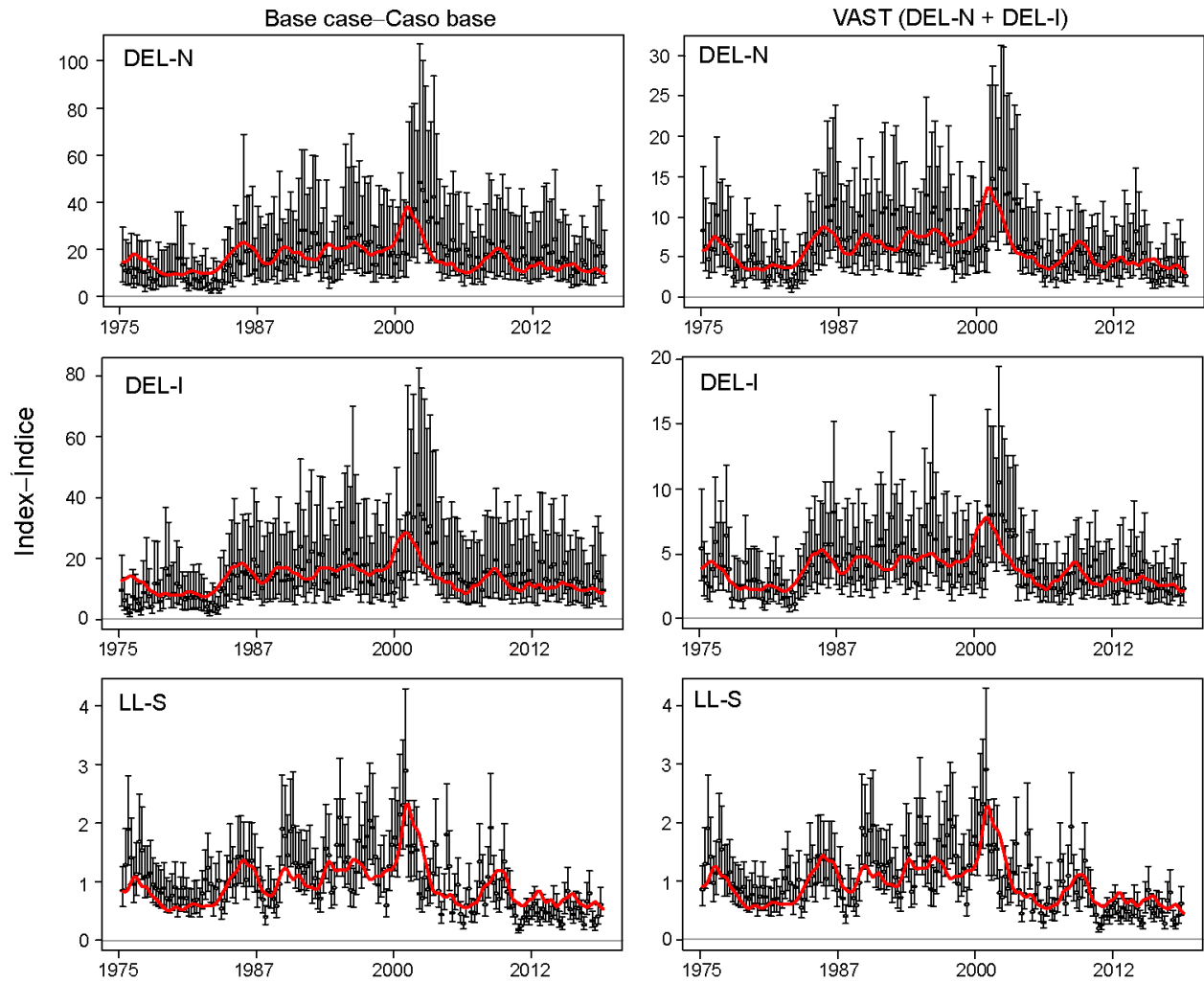
**FIGURE 4.** Fits to the CPUE data from the base case (left) and from the model that estimates growth (right), for the northern and inshore dolphin indices (DEL-N, DEL-I) and the southern longline index (LL-S).

**FIGURA 4.** Ajustes a los datos de CPUE del caso base (izquierda) y del modelo que estima el crecimiento (derecha), para los índices de las pesquerías asociadas a delfines del norte y costera (DEL-N, DEL-I) y el índice de la pesquería palangrera del sur (LL-S).



**FIGURE 5.** Nominal CPUE used in the current stock assessment (black lines), and generated using a spatio-temporal model (blue lines, Xu *et al.* 2019). All indices are scaled by their average.

**FIGURA 5.** CPUE nominal usada en la evaluación de poblaciones actual (líneas negras) y generada con un modelo espaciotemporal (líneas azules, Xu *et al.* 2019). La escala de todos los índices se ajusta a su promedio.



**FIGURE 6.** Fits to the CPUE data from the base case (left) and from the model that uses the dolphin associated indices of abundance based on the spatiotemporal model (VAST; from Xu *et al.* 2019, right), for the northern and inshore dolphin indices (DEL-N, DEL-I) and the southern longline index (LL-S).

**FIGURA 6.** Ajustes a los datos de CPUE del caso base (izquierda) y del modelo que usa los índices de abundancia de la pesquería asociada a delfines basados en el modelo espaciotemporal (VAST; de XU *et al.* 2019, derecha), para los índices de las pesquerías asociadas a delfines del norte y costera (DEL-N, DEL-I) y el índice de la pesquería palangrera del sur (LL-S).