

COMISIÓN INTERAMERICANA DEL ATÚN TROPICAL
SEGUNDA REUNIÓN TÉCNICA SOBRE EL DORADO

Lima, Perú
27-29 de octubre de 2015

Una ilustración paso a paso del fundamento del estimador de reducción mensual en el modelo *Stock Synthesis* para el dorado

Mark N. Maunder, Alexandre Aires-da-Silva, Carolina Minte-Vera, Cleridy Lennert-Cody, Juan L. Valero, y Jimmy Martínez-Ortiz

1. INTRODUCCIÓN

Para explicar el fundamento del estimador de reducción mensual usado en el modelo *Stock Synthesis* para el dorado, presentamos cuatro modelos progresivamente más complejos. Empezamos con una regresión logarítmica lineal sencilla de la CPUE mensual intra-anual, similar a los análisis de curvas de captura, y terminamos con un estimador de reducción mensual que contiene varias modificaciones similares a aquellas usadas en el modelo *Stock Synthesis* completo.

2. MÉTODOS

2.1. Análisis de tasas de captura (« tasa de captura »)

Se aplica una regresión lineal al logaritmo de la CPUE mensual para datos de un solo año¹ y se repite el análisis de forma independiente para cada año. La CPUE representa la abundancia relativa, en número, de la cohorte en ese mes. Este análisis, similar al análisis de curva de captura, mide la abundancia relativa de una cohorte a medida que envejece durante el primer año de su vida, usando la CPUE en lugar de la proporción por edad en la captura. Se usa solamente la CPUE de octubre hasta abril, para eliminar los meses en los que la pesquería no está dirigida principalmente al dorado. Para que el modelo de regresión se parezca más a un modelo de dinámica poblacional, se usa un modelo exponencial sencillo para modelar el cambio de la abundancia relativa de un mes al siguiente:

$$\hat{I}_{y,1} = \alpha_y$$
$$\hat{I}_{y,m+1} = \hat{I}_{y,m} e^{-Z_y}$$

donde $\hat{I}_{y,m}$ es la abundancia relativa, en número, en el año y y el mes m , α_y es la abundancia relativa inicial en el año y , y Z_y es la tasa instantánea de mortalidad total.

Se ajusta el modelo a los datos de CPUE mensual usando una función de verosimilitud lognormal (con el parámetro de variabilidad fijo en $\sigma_I = 0.2$ y sin tomar en cuenta las constantes):

$$\sum_{y,m} \frac{(\ln[I_{y,m}] - \ln[\hat{I}_{y,m}])^2}{2\sigma_I^2}$$

donde $\hat{I}_{y,m}$ es la abundancia relativa observada basada en CPUE en el año y y el mes m .

Los parámetros por estimar son α y Z para cada año.

¹ El año usado en el modelo comienza el 1 de julio y termina el 30 de junio.

2.2. Estimador de reducción (« reducción »)

El modelo de tasa de captura puede ser convertido en un estimador de reducción mensual mediante un ajuste a los datos de captura total mensual. El grado de reducción, medido por la CPUE mensual y causado por la captura, proporciona información sobre la abundancia absoluta. Se necesita convertir el modelo en abundancia absoluta y estimar un parámetro de capturabilidad (q) en escala a la CPUE predicha. El modelo de dinámica poblacional es esencialmente el mismo que se usa para el análisis de tasas de captura.

$$N_{y,1} = \alpha_y$$

$$N_{y,m+1} = N_{y,m} e^{-Z_y}$$

Se ajusta el modelo a los datos de CPUE mensual y de captura total (al igual que con la CPUE, se usan solamente los datos de captura de octubre-abril) usando una función de verosimilitud lognormal (dado $\sigma_I = 0.2$ y $\sigma_C = 0.2$ y haciendo caso omiso a las constantes):

$$\sum_{y,m} \frac{(\ln[I_{y,m}] - \ln[qN_{y,m}])^2}{2\sigma_I^2} + \sum_{y,m} \frac{(\ln[C_{y,m}] - \ln[\hat{C}_{y,m}])^2}{2\sigma_C^2}$$

donde $\hat{C}_{y,m} = \frac{F_y}{Z_y} N_{y,m} (1 - e^{-Z_y}) w_m$, $F_y = Z_y - M$ es la mortalidad por pesca en el año y , M es la mortalidad natural, y w_m es el peso promedio de un dorado en el mes m .

Los parámetros por estimar son α y Z para cada año y q .

2.3. Inclusión de selectividad (« selectividad »)

Es posible que no todos los dorados estén en la zona de pesca durante los meses iniciales o los últimos meses del año, o que el esfuerzo de pesca esté dirigido a otras especies. Se puede tomar esto en cuenta mediante la inclusión de una capturabilidad mensual (o su equivalente, una selectividad basada en edad en meses). Se ha usado una variedad de métodos para modelar la forma de la curva de selectividad. Para mayor sencillez, ilustramos la inclusión de una curva de selectividad mediante el supuesto que la selectividad de dorado en incrementos mensuales de edad (s_m) sigue una curva logística. Los cambios en el modelo son:

$$N_{y,m+1} = N_{y,m} e^{-s_m F_y - M}$$

$$s_m = \left(1 + \exp \left[-\ln[19] \frac{a - a_{50}}{a_{95} - a_{50}} \right] \right)^{-1}$$

$$\hat{C}_{y,m} = \frac{s_m F_y}{s_m F_y + M} N_{y,m} (1 - e^{-s_m F_y - M}) w_m$$

donde a_{50} y a_{95} son las edades con una selectividad de 50% y 95%, respectivamente.

Para simplificar los cálculos, estimamos F_y y no Z_y . Los parámetros por estimar son α y F para cada año y q , a_{50} , y a_{95} .

2.4. Inclusión de desviaciones de la mortalidad por pesca (« desviaciones de F »)

La captura mensual varía debido a varios factores, entre ellos la abundancia del dorado y la mortalidad por pesca (F). Los tres modelos anteriores suponen que F es constante durante todo el año excepto los primeros meses del año que se modelan por selectividad en el método 2.3. F depende del esfuerzo de la pesquería, y puede cambiar durante el año y también entre años. El supuesto de una F constante durante todo el año probablemente sobreestima la F correspondiente a los meses cuyos datos de captura no son ajustados, produciendo así niveles de reducción sobreestimados. A fin de acomodar esta F variable, añá-

dimos desviaciones mensuales de F penalizadas por un supuesto distribucional arbitrario. Se fija la desviación estándar de la función de verosimilitud de la captura en el valor bajo de $\sigma_c = 0.05$ para asegurar que el modelo se ajuste bien a los datos de captura. Además, ahora ajustamos el modelo a los datos de captura de todos los meses, no solamente de octubre a abril. Los cambios en el modelo incluyen lo que sigue:

$$N_{y,m+1} = N_{y,m} e^{-F_{y,m}-M}$$

$$\hat{C}_{y,m} = \frac{F_{y,m}}{F_{y,m} + M} N_{y,m} (1 - e^{-F_{y,m}-M}) W_m$$

$$F_{y,m} = s_m F_y e^{\varepsilon_{y,m}}$$

s_m permanece igual al método anterior y se añade la siguiente penalidad a la función objetivo:

$$\sum_{y,m} \frac{\varepsilon_{y,m}^2}{2\sigma_\varepsilon^2}$$

3. RESULTADOS

El modelo de tasa de captura se ajusta bien al índice of abundancia relativa, pero las estimaciones de la mortalidad por pesca mensual son altas. Las estimaciones de 2008 y 2013 son menos fiables porque se basan en menos meses de datos. Se calcula el nivel de reducción suponiendo que no hubo mortalidad por pesca en los meses para los cuales no se ajustó el índice de abundancia relativa. Esto debería subestimar la reducción. Se estima que el stock está altamente reducido para el fin del año comparado con un stock no explotado.

El ajuste del modelo de reducción al índice de abundancia relativa (CPUE) es mucho peor que aquel del modelo de tasa de captura, y además no se ajusta bien a los datos de captura. El modelo estima que el stock está aún más reducido al final del año que en el modelo de tasa de captura.

El modelo de selectividad se ajusta a los datos de captura mucho mejor que el modelo de reducción, pero su ajuste al índice of abundancia relativa es ligeramente peor. Se estima que la mortalidad por pesca (total) es más alta, pero que el stock se encuentra menos (pero todavía fuertemente) reducido. El modelo estima que el dorado no está plenamente seleccionado hasta alrededor del mes 8 (o sea, enero) del año.

El ajuste del modelo de desviación de F al índice de abundancia relativa es similar a aquel del modelo de selectividad, y el ajuste a los datos de captura es muy bueno (observe que la desviación estándar de la verosimilitud de la captura está fijada en un nivel mucho menor que en los otros modelos). Las estimaciones de F son sustancialmente menores que aquellas producidas por los modelos de reducción y selectividad, y mucho más cercanas a aquéllas estimadas por el modelo de tasa de captura. La estimación de la reducción del stock es menor que aquéllas de los modelos de reducción y selectividad, pero la población se encuentra similarmente altamente reducida al final de cada año.

4. DISCUSIÓN

Hemos ilustrado cómo la CPUE mensual del dorado, en combinación con la captura total, puede ser usada en un estimador basado en reducción para estimar la abundancia absoluta del stock. El método es similar a aquél usado en una evaluación de stock integrada estándar (*Stock Synthesis*, por ejemplo) configurada con un solo reclutamiento por año y una dinámica estacional basada en meses. En un modelo de evaluación de stock integrada estándar encontramos las siguiente diferencias con los modelos aquí propuestos: (a) modelaje el dorado de más de un año de edad del modelo; (b) uso de la aproximación de Pope para eliminar la captura analíticamente en lugar del uso de la ecuación de captura en conjunto con una estimación de F ; (c) vínculo de los reclutas con la abundancia de adultos del año anterior a través de una relación stock-reclutamiento; (d) extensión del proceso de reclutamiento a más de un mes, y (e) uso de datos

de composición por talla para estimar la selectividad basada en talla.

Se podrían añadir varias extensiones a los modelos propuestos para mejorarlos o para que sean más similares a una evaluación de stock integrada estándar. Por ejemplo, la curva de selectividad podría tener forma de domo para explicar cambios de objetivo a otras especies al fin de año, o se podría usar una curva stock-reclutamiento con desviaciones anuales para vincular el reclutamiento con la abundancia del año anterior.

Se usó la selectividad para modelar el reclutamiento incompleto a la pesquería al principio del año de los modelos propuestos, y se estimó sólo un reclutamiento por año. Alternativamente, se podría modelar el reclutamiento para múltiples meses en un año y mantener la selectividad constante. En los modelos anteriores excepto el primero, el peso de un dorado está relacionado solamente con el mes del año, pero en *Stock Synthesis* el peso del dorado estaría relacionado también con el mes en el cual ocurrió el reclutamiento, y variaría según el mes en el que eclosionó el dorado.

Los modelos de tasa de captura y de desviación de F estimaron mortalidades por pesca (F) similares. El primero usa solamente datos de CPUE que se suponen ser fiables porque provienen de la temporada principal de pesca de dorado. Por lo tanto, la consistencia de las estimaciones de F entre estos dos métodos apoya los resultados del modelo de desviación de F , que también se ajusta a la captura de todas las temporadas. El análisis se muestra prometedor, sin embargo son necesarias investigaciones adicionales, usando los datos más recientes. El éxito del método de desviación de F es alentador, y sugiere que sería asimismo posible implementar un modelo integrado de evaluación de stocks completo con estructura estacional en *Stock Synthesis*. No obstante, estos análisis son meramente preliminares, y no deben ser usados como base para asesoramiento de ordenación.