

Un enfoque multiinstitucional para modelar el beneficio bioeconómico de perspectivas de manejo pesquero en Cuba

A multi-institutional approach for modeling the bioeconomic profit of fisheries management approaches in Cuba

Romina Alzugaray,¹ Rafael Puga,¹ Servando Valle,¹ Ofelia Morales,¹ Antonio Grovas,² Laura López,³ Kristin Kleisner,⁴ Eduardo Boné,⁴ Tracey Mangin,⁴ Jake Kritzer,⁴ Rod Fujita,⁴ Fernando Márquez⁴ y Kendra Karr⁴

¹ Centro de Investigaciones Pesqueras. Calle 246 No. 503 entre 5ta. Ave. y Mar, Santa Fe, Municipio Playa, La Habana, Cuba, Email: romina@cip.alinet.cu

² Grupo Empresarial de la Industria Alimentaria

³ Centro de Investigaciones Marinas

⁴ Environmental Defense Fund

RESUMEN

La biodiversidad de los ecosistemas marino-costeros de Cuba sostiene altos niveles de actividad pesquera. Debido en parte a la fuerte presión pesquera, administradores y científicos reconocen signos de sobrepesca para muchos stocks, intensificados por crecientes tasas de turismo y desarrollo costero. Estos factores amenazan la salud de esos ecosistemas y ponen en peligro el futuro económico y los medios de vida de comunidades costeras y la industria pesquera. Se eligieron nueve stocks dada su importancia en la captura total, valor económico, diversas historias de vida y susceptibilidad a la sobrepesca. Se usó un modelo dependiente solo de captura (COM), Catch-MSY, para evaluar su estado actual. Se encontró que todas las poblaciones están agotadas y que ocho experimentan sobrepesca. Luego, se utilizó un modelo bioeconómico para obtener estimaciones futuras de captura, ganancias y biomasa bajo diversas estrategias de manejo para lograr diferentes objetivos de producción y conservación. El modelo se adaptó al contexto cubano con información local, estimaciones específicas de precios y costos, así como estimaciones de mortalidad por pesca atribuida a la pesca ilegal. Las proyecciones a 50 años muestran potencial para aumentar biomasa y ganancias disminuyendo las capturas. Manteniendo la estrategia actual, sin incentivos económicos y con pesca ilegal, se observó que la biomasa, las ganancias y las capturas disminuyen. Para cada especie individualmente se mostraron resultados más diversos, aunque para la mayoría parece posible mejorar la situación actual. Los resultados muestran oportunidades de recuperación y ayudarán a determinar el potencial de pesquerías multispecíficas aplicando reformas de manejo sostenible.

Palabras clave: compensaciones de manejo, modelo bioeconómico, reforma pesquera, recuperación de pesquería.

ABSTRACT

Biodiversity of marine-coastal ecosystems of Cuba sustains high levels of fishing activity. Due in part to heavy fishing pressure, managers and scientists recognize signs of overfishing for many stocks, intensified by increasing rates of tourism and coastal development. These factors threaten the health of those ecosystems and jeopardize the economic future and livelihoods of coastal communities and the fishing industry. Nine stocks were chosen because of their importance in total catch, economic value, a variety of life histories and susceptibility to overfishing. A model depending only on total fishing (COM). Catch-MSY was used to evaluate the current stock status. All the stocks were found to be overfished and eight were found to be experiencing overfishing. Then; a bioeconomic model was used to provide future estimates of fishing, profits, and biomass under various fishery management strategies that aimed to achieve different production and conservation goals. The model was tailored to the Cuban context with local information, local and specific estimates of prices and costs, and estimates of fishing mortality attributed to illegal fishing. 50-year projections show potential for increasing biomass and profits with decreasing fishing. By maintaining the current strategy without economic incentives and with illegal fishing it was observed that biomass, profits and fishing decrease. For each species individually the results were more diverse, although for most it seems possible to improve the current situation. The results show recovery opportunities and will help to map out the potential of multi-specific fisheries with the application of sustainable management reforms.

Keywords: management tradeoffs, bioeconomic model, fishery reform, fishery recovery.

Recibido: 5/12/18

Revisado: 1/8/19

Aceptado: 1/8/19

INTRODUCCIÓN

Las pesquerías comerciales en Cuba son una fuente importante de alimentos, ingresos nacionales y extranjeros, y de medios de subsistencia para las comunidades costeras. Se reportan capturas a la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO) de 136 especies y grupos de especies mixtas (por ejemplo, meros). Dentro de la Zona Económica Exclusiva (ZEE) existen 4 308 embarcaciones comerciales, de estas 705 son propiedad del Estado y 3 603 son de propiedad privada con contratos con el Estado (Puga *et al.*, 2018). Estudios recientes en Cuba (Gerhartz-Muro *et al.*, 2018; Puga *et al.*, 2018) han indicado que existen problemas con la pesca ilegal, que han contribuido a la disminución de las poblaciones de peces de escama y a la sobrepesca continua.

La pesca comercial en Cuba está controlada por el Estado y por ley, el manejo pesquero debe ser guiado por la ciencia. En este esfuerzo, el Centro de Investigaciones Pesqueras (CIP) proporciona el apoyo científico para guiar el manejo y las regulaciones pesqueras establecidas por el Ministerio de la Industria Alimentaria (MINAL), mientras que el Grupo Empresarial de la Industria Alimentaria (GEIA) opera las pesquerías bajo esta guía. Por supuesto, las pesquerías multiespecíficas son de las más difíciles de manejar debido a que se capturan juntas muchas especies que a menudo tienen diferentes niveles de productividad. La biodiversidad de estas pesquerías también significa que con frecuencia existen cientos de especies que necesitan evaluaciones de stocks y asesoría para su manejo. En Cuba, existen evaluaciones de stocks y planes de manejo disponibles para algunos de los invertebrados de alto valor comercial, incluyendo langosta, camarón, pepino de mar y cobo (Puga *et al.*, 2018). Sin embargo, el gran número de especies de peces de escama ha sido un obstáculo para la implementación de esfuerzos a mayor escala. No obstante, recientemente, investigadores de una ONG con sede en EE. UU., Environmental Defense Fund (EDF) colaboraron con el CIP, MINAL y GEIA para evaluar 34 especies de escama en cuatro diferentes áreas de pesca en Cuba, con respecto a su

productividad biológica y el riesgo de sobrepesca utilizando un Análisis de Productividad-Susceptibilidad (PSA, Puga *et al.*, 2018).

Sobre la base de este trabajo, y en un esfuerzo por comprender y medir mejor los efectos de la pesca, este grupo multi-institucional aplicó un modelo dependiente solo de captura (COM) y un modelo bioeconómico a nueve especies de alta prioridad que tenían al menos 35 años de datos de captura. El primer modelo con el objetivo de estimar el estado actual de los stocks, y el segundo para examinar las compensaciones al aplicar diferentes intervenciones de manejo.

Los COM son métodos de evaluación de stock que usan datos limitados (Anderson *et al.*, 2017). Catch-MSY (Martell & Froese, 2013) es el más utilizado y presenta, relativamente, mejor desempeño al realizar pruebas entre stocks simulados y evaluados (Anderson *et al.*, 2017; Rosenberg *et al.*, 2014). Mientras que, la bioeconomía es la investigación interdisciplinaria de las funciones biológicas y los resultados económicos de diferentes intervenciones. En este caso, se utilizó para evaluar los efectos potenciales con tres tipos de salida (biomasa, captura y ganancias) de diferentes estrategias de manejo sostenible.

MATERIALES Y MÉTODOS

Fuentes de datos

GEIA y CIP recopilan datos sobre los desembarques históricos de más de 100 de las especies pescadas en Cuba. Para este análisis se utilizaron los datos de captura de 1981 a 2015 de nueve stocks de peces (TABLA 1) en la Zona A de pesca en la región sureste de Cuba (Fig. 1). Estas especies fueron elegidas dada su importancia en términos de captura total, valor económico y por representar diversas historias de vida. También se eligieron por tener un mayor riesgo a la sobrepesca según lo determinado por un Análisis de Productividad y Susceptibilidad (PSA, Puga *et al.*, 2018).

TABLA 1. Especies de peces de escama utilizadas en el estudio

No.	Nombre científico	Nombre común (Cuba)	Nombre común (EE. UU.)
1	<i>Ophisthonema oglinum</i> (Lesueur, 1818)	Machuelo	Atlantic thread herring
2	<i>Mugil curema</i> Valenciennes, 1836	Liseta	White mullet
3	<i>Lutjanus synagris</i> (Linnaeus, 1758)	Biajaiba	Lane snapper
4	<i>Megalops atlanticus</i> Valenciennes, 1847	Sábalo	Tarpon

TABLA 1. Continuación

No.	Nombre científico	Nombre común (Cuba)	Nombre común (EE. UU.)
5	<i>Scomberomorus cavalla</i> (Cuvier, 1829)	Sierra	King mackerel
6	<i>Haemulon sciurus</i> (Shaw, 1803)	Ronco amarillo	Blue-striped grunt
7	<i>Selar crumenophthalmus</i> (Bloch, 1793)	Chicharro	Bigeye scad
8	<i>Lutjanus analis</i> (Cuvier, 1828)	Pargo criollo	Mutton snapper
9	<i>Diapterus rhombeus</i> (Cuvier, 1829)	Mojarra	Mojarra

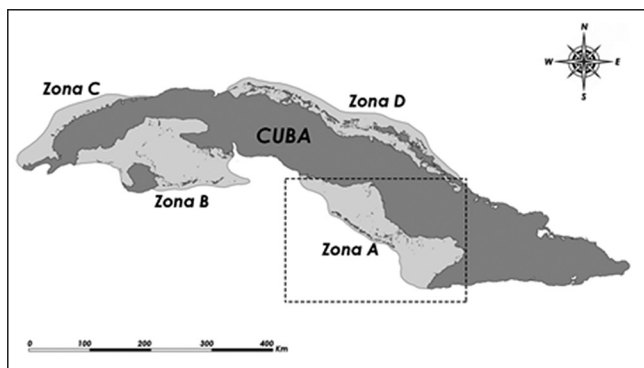


Fig. 1. Ubicación de las zonas de pesca en la plataforma cubana (A, B, C y D). Se indica la región suroriental (Zona A), el área de estudio.

Estado actual: biomasa, mortalidad por pesca y captura máxima sostenible

La idea que sustenta un análisis de reducción de stock es estimar una trayectoria de biomasa que podría producir una serie de tiempo de captura que cumpla con las expectativas de agotamiento. El método Catch-MSY (Martell & Froese, 2013) utiliza el modelo de Schaefer (Schaefer, 1954) y, por lo tanto, depende de estimados previos para la tasa intrínseca de crecimiento (r) y la capacidad de carga (K), y para los niveles de agotamiento inicial y final. El método fue modificado por Rosenberg *et al.* (2014) para generar tendencias de biomasa (B) a partir de todos los pares r - K viables y para producir estimaciones de la biomasa actual en relación con la biomasa en MSY (B/B_{MSY}) a partir de la tendencia media. Recientemente, Costello *et al.* (2016) modificó más el enfoque para producir estimaciones de la mortalidad por pesca actual (F) en relación con la mortalidad por pesca requerida para mantener el MSY (F/F_{MSY}). Las estimaciones de MSY , g (tasa de crecimiento del Modelo Pella-Tomlinson; Pella & Tomlinson, 1969), y B/B_{MSY} y F/F_{MSY} de una evaluación de stock son necesarias para representar el estado actual de la pesquería y examinar los posibles efectos futuros de intervenciones de manejo dentro

del modelo bioeconómico (Costello *et al.*, 2016). En este estudio, cada uno de estos parámetros se determinó utilizando Catch-MSY.

Modelo bioeconómico

Las trayectorias futuras en un horizonte de tiempo de 50 años de captura, ganancias y biomasa se determinaron utilizando el modelo de producción excedente de Pella-Tomlinson, con parámetros de historia de vida específicos para cada pesquería:

$$B_{t+1} = B_t + \frac{\phi+1}{\phi} g B_t \left[1 - \left(\frac{B_t}{K} \right)^\phi \right] H_t \quad (1)$$

Donde:

B_t : biomasa en el tiempo t ,

$\frac{\phi+1}{\phi} g$: es equivalente a la tasa de crecimiento intrínseca r del modelo de producción excedente de Schaefer,

ϕ : parámetro de la curva de crecimiento,

K : capacidad de carga del ambiente,

H_t : captura total en el tiempo t .

Siguiendo a Costello *et al.* (2016) ϕ se fijó en 0,188 (ver Thorson *et al.*, 2012 para obtener detalles sobre el origen de este valor). La captura sostenible para la pesquería está dada por:

$$H = \frac{\phi+1}{\phi} g B_t \left[1 - \left(\frac{B_t}{K} \right)^\phi \right] \quad (2)$$

Bajo este modelo, el MSY en equilibrio se logra cuando la tasa de captura es:

$$F_{MSY} = g \quad (3)$$

En este punto, el rendimiento maximizado es:

$$MSY = \frac{gK}{(\phi+1)^{\frac{1}{\phi}}} \quad (4)$$

El nivel de biomasa sostenible se define como:

$$B_{MSY} = \frac{K}{(\phi + 1)^{\frac{1}{\phi}}} \quad (5)$$

Este modelo biológico se combinó con un modelo económico que calcula la ganancia (Π_t) según las estimaciones de precio (p) y costo (c), y β , que es un parámetro escalar del costo:

$$\Pi_t = p H_t - c F_t^\beta \quad (6)$$

Cuando $\beta > 1$, esto implica que a medida que se aplica más esfuerzo en la pesquería, cada unidad de esfuerzo adicional es cada vez más costosa. La teoría es que los pescadores más eficientes capturarán los peces primero, y los pescadores menos eficientes serán los que capturen peces más tarde. Como en Costello *et al.* (2016) el costo se estima como:

$$c = \frac{p \bar{f} b_{MSY}}{(g \bar{f})^\beta} \quad (7)$$

Esto se basa en el supuesto de que para una pesquería inicialmente en equilibrio de acceso abierto (o sea, en B/B_{MSY} y F/F_{MSY}), las ganancias totales serán cero a cierto precio inicial, p .

A diferencia de Costello *et al.* (2016), el modelo fue modificado para incluir datos de precios cubanos, utilizando la Resolución 278/2011 del Ministerio de Finanzas y Precios de Cuba como referencia para determinar los precios de cada stock en función de los precios máximos al mayoreo en pesos cubanos/kg que se convirtieron a USD/t. Los precios fueron específicos para cada especie y diferían si la captura provenía de la flota comercial estatal o de la privada (TABLA 2). Además, se modificó el modelo global para ajustarlo al contexto cubano al incluir los porcentajes de F de la flota estatal o privada, así como la F estimada atribuible a la pesca ilegal basada en la opinión de expertos cubanos. Esto permite examinar los efectos de cada fuente de mortalidad en una pesquería determinada.

TABLA 2. Parámetros del modelo bioeconómico. Se usa *Lutjanus synagris* como ejemplo para ilustrar los valores de entrada

Parámetro	Unidad	Descripción	Valor entrada	Parametrización
ϕ	-	Parámetro escalar	0,188	Costello <i>et al.</i> , 2016
g	-	Tasa intrínseca de crecimiento	0,038	Método Catch-MSY
K	MT	Capacidad de carga	16 525	Método Catch-MSY
b_0	-	Proporción de la biomasa inicial del stock relativo a B_{MSY} (B/B_{MSY})	0,58	Método Catch-MSY
f_{0_total}	-	Proporción de mortalidad por pesca total relativa a F_{MSY} (F/F_{MSY})	1,82	Método Catch-MSY
Captura flota estatal	-	Proporción mortalidad de pesca total flota estatal	0,63	Calculada a partir de las bases de datos de captura
Captura flota privada	-	Proporción mortalidad de pesca total flota privada	0,07	Calculada a partir de las bases de datos de captura
Captura pesca ilegal		Proporción mortalidad de pesca total de pesca ilegal	0,3	Opinión experta cubana
$p1$	USD/MT	Precio por tonelada métrica (flota estatal)	1 000	Basado en Resolución No. 278-2011
$p2$	USD/ MT	Precio por tonelada métrica (flota privada)	1 100	$P2 = 1,1 P1$ (opinión experta cubana)

TABLA 2. Continuación

Parámetro	Unidad	Descripción	Valor entrada	Parametrización
c_1	USD/F	Costo por unidad de esfuerzo (flota estatal)	3 801 876	Costello <i>et al.</i> , 2016. Calculado según la ecuación (7)
c_2	USD/F	Costo por unidad de esfuerzo (flota privada)	4 182 833	Costello <i>et al.</i> , 2016. Calculado según la ecuación (7)
σ	-	Tasa de descuento	0,025	Opinión experta cubana
γ_p	-	Precio escalar usado para reflejar incentivos económicos (incremento de precio). Se puede configurar para cada flota, pero no se hace diferenciación en este análisis	1,31	Opinión experta (Costello <i>et al.</i> , 2016). Aumento del 31 % en el precio p al aplicarse reformas de manejo
γ_c	-	Costo escalar usado para reflejar incentivos económicos (decremento de costo). Se puede configurar para cada flota, pero no se hace diferenciación en este análisis	0,77	Opinión experta (Costello <i>et al.</i> , 2016). Aumento del 23 % en el costo c al aplicarse reformas de manejo
β	-	Parámetro escalar que determina la no-linealidad de los costos	1,3	Costello <i>et al.</i> , 2016
λ	-	Coeficiente de acceso abierto	0,03	Opinión experta (Costello <i>et al.</i> , 2016). Qué tan rápido la pesquería alcanza el estado estable de acceso abierto

Estrategias y escenarios de manejo

Se proyectaron trayectorias de 50 años de biomasa, captura y ganancias para las nueve pesquerías considerando tres estrategias de manejo ajustadas al contexto cubano (TABLA 3). Cada estrategia fue analizada considerando cuatro escenarios diferentes generados por la presencia o ausencia de dos factores: pesca ilegal e incentivos económicos. En este estudio solo se analizarán el mejor (con incentivos económicos y sin pesca ilegal) y el peor (sin incentivos económicos y con pesca ilegal) de los escenarios para cada estrategia.

Los incentivos económicos suponen que se permite que los precios pagados al desembarque y los costos variables de la pesca, aumenten y disminuyan respectivamente, en función de los aumentos de eficiencia supuestos (ver γ_c y γ_p en la TABLA 2). En Costello *et al.* (2016), estos aumentos de eficiencia se basaron en la aplicación de enfoques de manejo pesquero basado en derechos (MBD). Aquí, no asumimos que las pesquerías cubanas están bajo MBD, sino que existen ganancias de eficiencia provenientes de un manejo económicamente óptimo que involucra precios de venta más altos y costos de operación más bajos.

TABLA 3. Estrategias de manejo ajustadas al contexto cubano

Estrategias	Definición
Gestión actual (BAU)	La flota pesquera estatal continúa operando en F actual (<i>Status Quo</i>) y la flota pesquera privada opera en acceso abierto (F se modifica en cada momento dependiendo del coeficiente de acceso abierto λ).
F_{MSY}	F se establece igual a F_{MSY} durante todo el horizonte de tiempo.
Óptimo Económico (Ecón. Ópt.)	La regla de control de captura se optimiza dinámicamente para maximizar el Valor Presente Neto (VPN). F en cada momento dependerá del nivel de biomasa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La situación actual muestra una captura promedio total en los últimos cinco años (2011-2015) de 2 230 t por año, superior al MSY total estimado para las nueve especies de 1 912 t (TABLA 4). De las especies es-

tudiadas, *Mugil curema*, *Lutjanus synagris*, *Haemulon sciurus* y *Selar crumenophthalmus* tienen una captura anual promedio por debajo del MSY estimado. Además, todas presentan poblaciones agotadas ($B/B_{MSY} < 1$), y solo *S. crumenophthalmus* no está experimentando sobrepesca ($F/F_{MSY} > 1$; TABLA 4).

TABLA 4. Indicadores del estado actual de las pesquerías de nueve especies en la Zona A de pesca en Cuba

Nombre científico	Captura promedio (2011-2015)	MSY	B/B_{MSY}	F/F_{MSY}
<i>Ophisthonema oglinum</i>	1 215	962	0,87	1,52
<i>Mugil curema</i>	56	72	0,41	1,26
<i>Lutjanus synagris</i>	241	254	0,59	1,80
<i>Megalops atlanticus</i>	24	21	0,38	1,57
<i>Scomberomorus cavalla</i>	119	85	0,64	2,09
<i>Haemulon sciurus</i>	119	248	0,40	1,11
<i>Selar crumenophthalmus</i>	24	34	0,43	0,90
<i>Lutjanus analis</i>	17	13	0,43	2,20
<i>Diapterus rhombeus</i>	415	223	0,68	3,60
TOTAL	2 230	1 912		

Baisre (2018) estimó que el 20,2 % de los recursos pesqueros cubanos están totalmente explotados (por ejemplo, machuelo y mojarras), 74,4 % sobreexplotados (por ejemplo, biajaiba y pargo criollo que han disminuido más del 50 % en la última década), y el 5,2 % están colapsados. Solo las lisas, que previamente se determinaron como colapsadas,

han mostrado signos de recuperación en los últimos años. Estos resultados revelan un peor escenario en comparación con el descrito por Au *et al.* (2014) para Cuba. Au *et al.* (2014) encontraron que el 34,4 % de los recursos pesqueros está totalmente explotados, el 54,8 % sobreexplotados, el 3,8 % colapsados, solo el 3,2 % está en fase de desarrollo y el 3,8 % está

en recuperación. Cabe señalar que para las pesquerías cubanas de peces de escama, con pocas excepciones (biajaiba para la cual existe una evaluación de stock), las estimaciones previas del estado se han restringido a descripciones cualitativas de las pesquerías y las tendencias en la captura o captura total de peces de escama de ciertas especies o grupos (Baisre, 2000, 2018; Claro *et al.*, 2001; Claro *et al.*, 2009; Valle *et al.*, 2011).

La captura en la zona suroriental está dominada por diferentes especies de sardinias. Una sola especie, el machuelo, que es altamente productiva y abundante, comprende más de 20 % de la captura y presenta una alta CPUE (Puga *et al.*, 2018). El complejo de pargos fue históricamente el principal grupo pesquero de peces de escama en Cuba, con alto valor e importancia económica. Sin embargo, en la actualidad, su importancia ha disminuido sustancialmente debido a la pesca intensiva durante la época de desove cuando la especie presenta agregaciones espaciales (Claro *et al.*, 2009; Valle *et al.*, 2011). Además de la alta presión de pesca, la degradación de los arrecifes de coral como resultado del blanqueamiento de los corales y el crecimiento excesivo de algas durante varios eventos de ENOS pueden haber afectado negativamente aspectos del ciclo de vida de estas especies asociadas a los arrecifes (Claro *et al.*, 2009). La importancia decreciente de las especies de niveles tróficos superiores, como los pargos, ha ido acompañada de una creciente importancia de las especies de menor valor y mayor productividad, como las sardinias y las mojarras (Puga *et al.*, 2018). Estas especies dependen de los estuarios y las lagunas costeras, hábitats que se ven afectados por los

cambios en la salinidad, los aportes de nutrientes y otros atributos, pero no son tan dependientes de los hábitats de arrecifes de coral degradados utilizados por los pargos y otras especies demersales (Puga *et al.*, 2018).

Al aplicar reformas de manejo en cada pesquería y proyectar escenarios a lo largo de 50 años para las nueve especies agregadas juntas, vemos el potencial de obtener mayor biomasa y mayores ganancias a partir de menores capturas (Fig. 2). La estrategia de manejo F_{MSY} arroja los mayores aumentos globales de biomasa. Bajo la estrategia de manejo de Óptimo Económico, los niveles de biomasa son más bajos con cierta tendencia hacia su aumento, pero donde las ganancias son las más altas en comparación con las otras estrategias. Con respecto a la estrategia F_{MSY} , en ambos escenarios (mejor escenario: no pesca ilegal y con incentivos económicos, y peor escenario: con pesca ilegal y sin incentivos económicos), las mayores recuperaciones de poblaciones se obtienen con respecto a la biomasa (+59 % y +30 % respectivamente), mientras que las ganancias solo aumentan en el mejor escenario (+28 %) y las capturas disminuyen tanto en el mejor como en el peor escenario (-29 % y -17 %). El mejor escenario para el caso de la estrategia de Óptimo Económico tiene el mayor incremento en ganancias (+50 %), una recuperación de biomasa (+13 %) y una disminución en las capturas (-14 %). Las proyecciones a 50 años muestran que si continuamos pescando con la estrategia de gestión actual (BAU) en el peor de los escenarios, tanto la biomasa (-23 %) como las ganancias (-56 %) y las capturas (-25 %) disminuirán (TABLA 5).

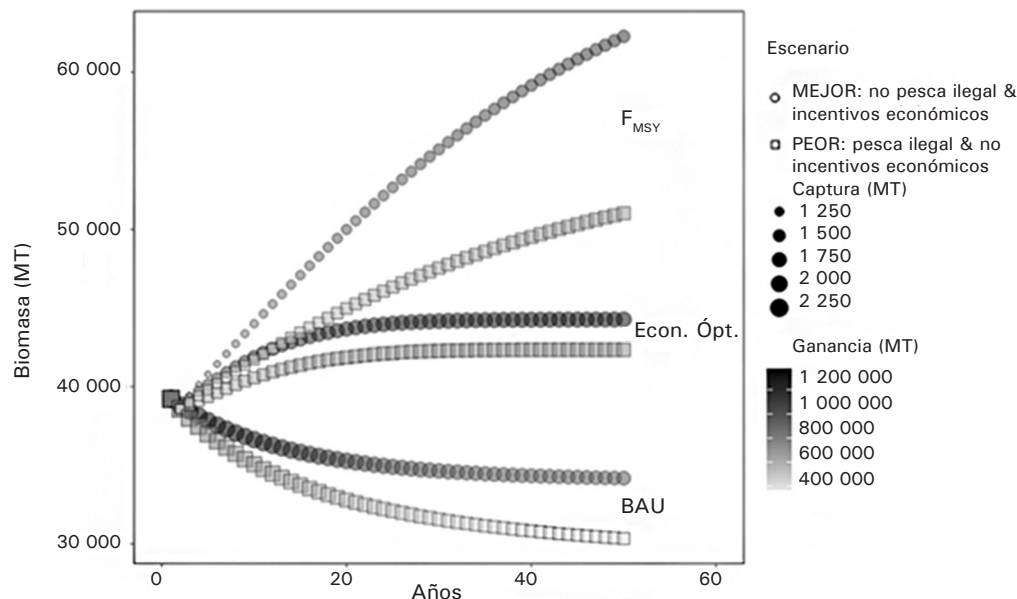


Fig. 2. Mejores y peores escenarios para cada estrategia de manejo (F_{MSY} , Econ. Ópt., BAU) para la suma total de las nueve especies de peces de escama en la Zona A de pesca en Cuba.

TABLA 5. Valores proyectados absolutos y porcentaje relativo al año inicial, en los mejores y peores escenarios proyectados a 50 años para la suma total de las nueve especies de peces de escama en la Zona A para las tres estrategias de manejo (F_{MSY} , Ecón. Ópt., BAU)

Escenario	Proyección Año 50					
	Biomasa (t)		Captura (t)		Ganancia (USD)	
Valor en año inicial	39 221		2 143		863 692	
F_{MSY} -Mejor	62 275	59 %	1 522	-29 %	1 101 645	28 %
F_{MSY} -Peor	51 022	30 %	1 771	-17 %	657 821	-24 %
Econ. Ópt.-Mejor	44 274	13 %	1 841	-14 %	1 299 388	50 %
Econ. Ópt.-Peor	42 337	8 %	1 807	-16 %	701 043	-19 %
BAU-Mejor	34 176	-13 %	1 642	-23 %	931 215	8 %
BAU-Peor	30 342	-23 %	1 599	-25 %	383 694	-56 %

Con respecto a los resultados para las especies individuales, las proyecciones a 50 años ilustran que, en el mejor de los casos de F_{MSY} es posible una recuperación de la biomasa para cada una de las nueve especies (Fig. 3A). Sin embargo, con el mejor escenario posible en la estrategia de Óptimo Económico, los resultados son más diversos. Para la mayoría de las especies existe una recuperación de biomasa, exceptuando para *M. atlanticus*, *S. cavalla* y *D. rhombeus*, y especialmente para *M. atlanticus* la tasa de sobrepesca aumenta (Fig. 3C). Para el mejor de los casos bajo la estrategia BAU, los resultados son similares a los de la estrategia de Óptimo Económico. Para la mayoría de las especies, se observa recuperación de biomasa, con la excepción de *O. oglinum*, *S. cavalla* y *D. rhombeus* (Fig. 3E).

Por otro lado, las proyecciones en el peor escenario para la estrategia F_{MSY} muestran que también es posible una recuperación en la biomasa de todas las especies, pero que esta recuperación será menor que con el mejor escenario posible (Fig. 3B). Para el peor de los casos bajo la estrategia de Óptimo Económico,

se observa recuperación de biomasa para la mayoría de las especies, con la excepción de *M. atlanticus*, *S. cavalla*, *L. analis* y *D. rhombeus* (Fig. 3D). En el peor de los casos para la estrategia BAU, que implica que la presión actual de pesca continúa al ritmo actual, las poblaciones de *S. crumenophthalmus*, *M. curema*, *M. atlanticus* y *H. sciurus* pueden recuperarse en cierta medida. Esto se debe a que la presión de pesca actual sobre estas especies es muy baja, y bajo BAU se supone que esta baja presión de pesca continuará. Sin embargo, para el resto de las especies, la biomasa tiende a disminuir bajo altos niveles sostenidos de presión pesquera (Fig. 3F).

Tomando el caso de la biajaiba como ejemplo, el modelo permite un análisis y proyección del comportamiento de las tres fuentes de mortalidad de pesca estudiadas: flota estatal, flota privada y estimación de pesca ilegal. Cuando existe pesca ilegal, la biomasa de la población, las capturas y las ganancias tanto para la flota estatal como para la privada disminuyen bajo cualquiera de las estrategias de manejo (TABLA 6).

TABLA 6. Comparación entre la flota estatal, la flota privada y el componente de pesca ilegal para la biajaiba en las tres estrategias de manejo para el mejor y el peor de los casos

Indicador	Valores año inicial	Peor escenario Proyección año 50			Mejor escenario Proyección año 50		
		BAU	Óptimo económico	F_{MSY}	BAU	Óptimo económico	F_{MSY}
B/B_{MSY}	0,59	0,45	0,63	0,91	0,73	0,72	1,44
F/F_{MSY}	1,80	1,80	1,44	1	1,26	1,31	0,46
Biomasa	3 919,88	2 990,54	4 241,28	6 115,46	4 888,78	4 828,10	9 648,85
Captura estatal	169,29	129,15	129,99	96,11	211,13	217,44	151,63
Captura privada	18,81	14,35	14,44	10,68	23,46	24,16	16,85

TABLA 6. Continuación

Indicador	Valores año inicial	Peor escenario Proyección año 50			Mejor escenario Proyección año 50		
		BAU	Óptimo económico	F_{MSY}	BAU	Óptimo económico	F_{MSY}
Captura ilegal	80,61	61,50	87,22	125,76	-	-	-
Ganancia estatal	98 037,03	57 902,03	84 374,37	76 960,94	221 718,00	226 908,52	183 897,92
Ganancia privada	17 004,92	12 099,53	13 528,71	10 755,89	30 966,28	31 817,35	23 515,57
Valor presente neto	115 042	60 466,45	97 903,07	87 716,83	217 184,67	258 725,87	207 413,48

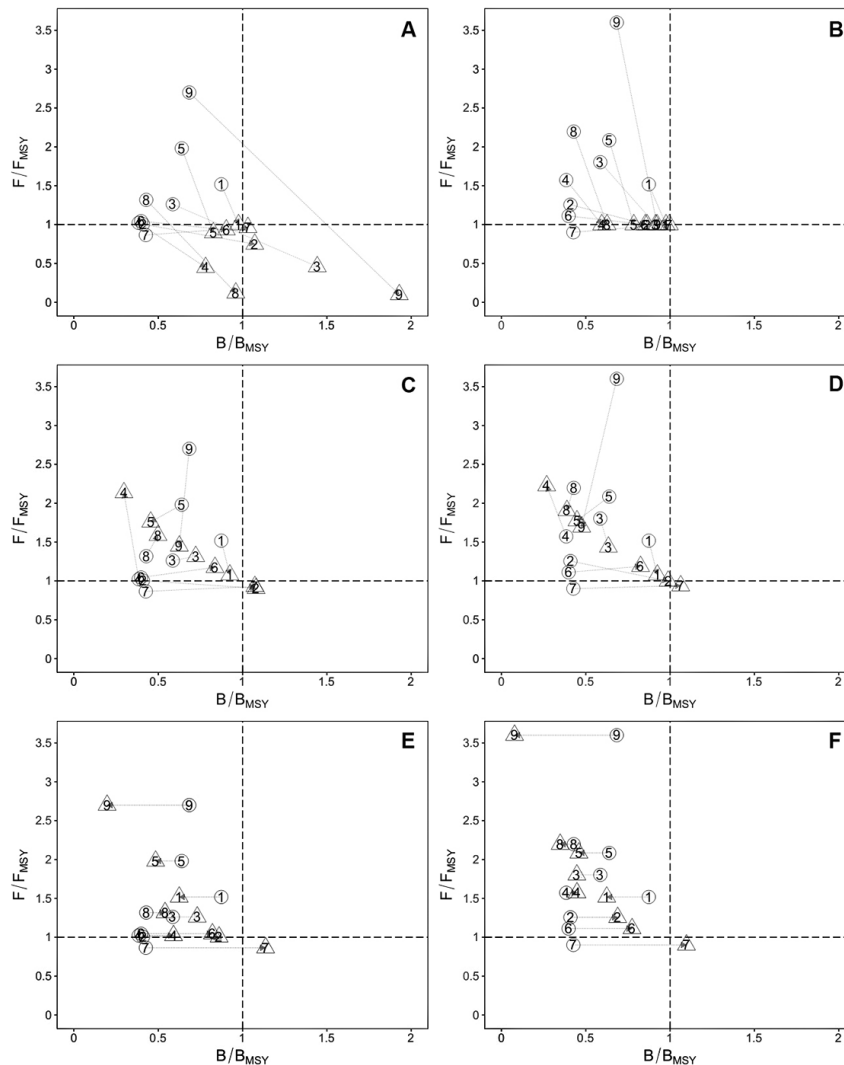


Fig. 3. Gráficos de Kobe que ilustran el estado actual (2015, círculos) y futuro (proyección en el año 50, triángulos) de las estimaciones de biomasa y mortalidad por pesca relativas a MSY (B/B_{MSY} , F/F_{MSY}) para cada especie. A. Estrategia F_{MSY} mejor escenario. B. Estrategia F_{MSY} peor escenario. C. Estrategia de Óptimo Económico: mejor escenario. D. Estrategia de Óptimo Económico: peor escenario. E. Estrategia BAU: mejor escenario. F. Estrategia BAU: peor escenario. Los números representan cada especie: 1. *Ophisthonema oglinum*, 2. *Mugil curema*, 3. *Lutjanus synagris*, 4. *Megalops atlanticus*, 5. *Scomberomorus cavalla*, 6. *Haemulon sciurus*, 7. *Selar crumenophthalmus*, 8. *Lutjanus analis* y 9. *Diapterus rhombeus*.

CONCLUSIONES

La estrategia BAU arroja los beneficios más bajos en términos de biomasa y ganancias, una situación que se vuelve más crítica al no aplicar incentivos económicos y al no eliminar la pesca ilegal. La estrategia F_{MSY} ofrece la oportunidad de crear un "banco de biomasa" resultante de la recuperación de las poblaciones que pueden garantizar una explotación sostenible a largo plazo. Las ganancias pueden aumentar bajo esta estrategia de manejo si se elimina la pesca ilegal y se aplican incentivos económicos. La estrategia Óptimo Económico permite la maximización del VPN de las pesquerías mientras se mantiene un nivel estable de captura y biomasa. Cabe resaltar que este comportamiento provoca generalmente —y sobre todo cuando el stock está agotado en el momento actual— que la F sea pequeña durante los primeros años del horizonte de tiempo y esta F aumenta a medida que la biomasa se recupera. Con los supuestos de este análisis, esto ocurre en la mayoría de las especies provocando una recuperación de biomasa, lo cual a su vez se traduce en un incremento de F a valores superiores a F_{MSY} (es decir, $F/F_{MSY} > 1$), induciendo a su vez que $B/B_{MSY} < 1$ con Óptimo Económico. Se recomienda analizar con profundidad este efecto comenzando con una comparación de distintos valores de las tasas de descuento utilizadas en la función de optimización de VPN. Por otro lado, incluso cuando se aplican escenarios de manejo precautorio (F_{MSY}), si no se elimina la pesca ilegal, tanto la producción de las flotas estatal y privada como el reclutamiento de las poblaciones se ven amenazados. En general, las pesquerías analizadas presentan oportunidades de recuperación y de incrementar la rentabilidad a largo plazo bajo estrategias de manejo más sostenibles.

REFERENCIAS

Anderson, S. C., Cooper, A. B., Jensen, O. P., Minto, C., Thorson, J. T., Walsh, J. C. & Selig, E. R. (2017). Improving estimates of population status and trajectory with superensemble models. *Fish and Fisheries*, 18 (4), 732-741.

Au, A., Zyllich, K., & Zeller, D. (2014). Reconstruction of total marine fisheries catches for Cuba (1950-2009). *Fisheries catch reconstructions: Islands, Part IV. Fisheries Centre Research Reports*, 22 (2), 25-32.

Baisre, J. A. (2000). *Chronicle of Cuban Marine Fisheries, 1935-1995: Trend Analysis and Fisheries Potential*. Rome: FAO.

Baisre, J. A. (2018). An overview of Cuban commercial marine fisheries: the last 80 years. *Bulletin of*

Marine Science, 94 (2), 359-375. Doi: <https://doi.org/10.5343/bms.2017.1015>

Claro, R., Baisre, J. A., Lindeman, K. C. & García-Artaga, J. P. (2001). Cuban fisheries: historical trends and current status. *Ecology of the Marine Fishes of Cuba*, R. Claro *et al.* (Eds). Washington, DC: Smithsonian Institution Press, 194-219.

Claro, R., Mitcheson, Y. S. de, Lindeman, K. C. & García-Cagide, A. R. (2009). Historical analysis of Cuban commercial fishing effort and the effects of management interventions on important reef fishes from 1960-2005. *Fisheries Research*, 99 (1), 7-16.

Costello, C., Ovando, D., Clavelle, T., Strauss, C. K., Hilborn, R., Melnychuk, M. C. & Leland, A. (2016). Global fishery prospects under contrasting management regimes. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 113 (18), 5125-5129. Doi: 10.1073/pnas.1520420113

Gerhartz-Muro, J. L., Kritzer, J. P., Gerhartz-Abraham, A., Miller, V., Pina-Amargós, F. & Whittle, D. (2018). An evaluation of the framework for national marine environmental policies in Cuba. *Bulletin of Marine Science*, 94 (2), 443-459.

Martell, S. & Froese, R. (2013). A simple method for estimating MSY from catch and resilience. *Fish and Fisheries*, 14 (4), 504-514.

Pella, J. J. & Tomlinson, P. K. (1969). A generalized stock production model. *Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin*, 13, 416-497.

Puga, R., Valle, S., Kritzer, J. P., Delgado, G., León, M. E. de, Giménez, E. & Karr, K. A. (2018). Vulnerability of nearshore tropical finfish in Cuba: implications for scientific and management planning. *Bulletin of Marine Science*, 94 (2), 377-392.

Rosenberg, A. A., Fogarty, M. J., Cooper, A. B., Dickey-Collas, M., Fulton, E. A., Gutiérrez, N. L. & Ye, Y. (2014). Developing new approaches to global stock status assessment and fishery production potential of the seas. In F. a. A. O. o. t. U. Nations (Ed.), *Fisheries and Aquaculture Circular No. 1086* (pp. 175). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Schaefer, M. (1954). Some aspects of the dynamics of populations important to the management of commercial marine fisheries. *Bulletin of the International American Tropical Tuna Commission*, 1 (2), 26-56.

Thorson, J. T., Cope, J. M., Branch, T. A. & Jensen, O. P. (2012). Spawning biomass reference points for exploited marine fishes, incorporating taxonomic and body size information. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 69, 1556-1568.

Valle, S., Sosa, M., Puga, R., Font, L. & Duthit, R. (2011). Coastal fisheries of Cuba. In S. Salas, R. Chuenpagdee, C. A. & S. J. C. (Eds.), *Coastal fisheries of Latin America and the Caribbean* (pp. 155-174). Rome: FAO.