

COMISIÓN INTERAMERICANA DEL ATÚN TROPICAL
GRUPO DE TRABAJO PERMANENTE *AD HOC* SOBRE FAD

8TH REUNIÓN

La Jolla, California (EE.UU.)
07-08 Junio 2024

DOCUMENTO FAD-08 INF-A (DEEPL TRANSLATION)

**EVALUAR EL IMPACTO DE ESCENARIOS DE GESTIÓN ALTERNATIVOS
PARA EL OCÉANO PACÍFICO ORIENTAL
ESPECIES TROPICALES DE ATÚN CON POSEIDON**

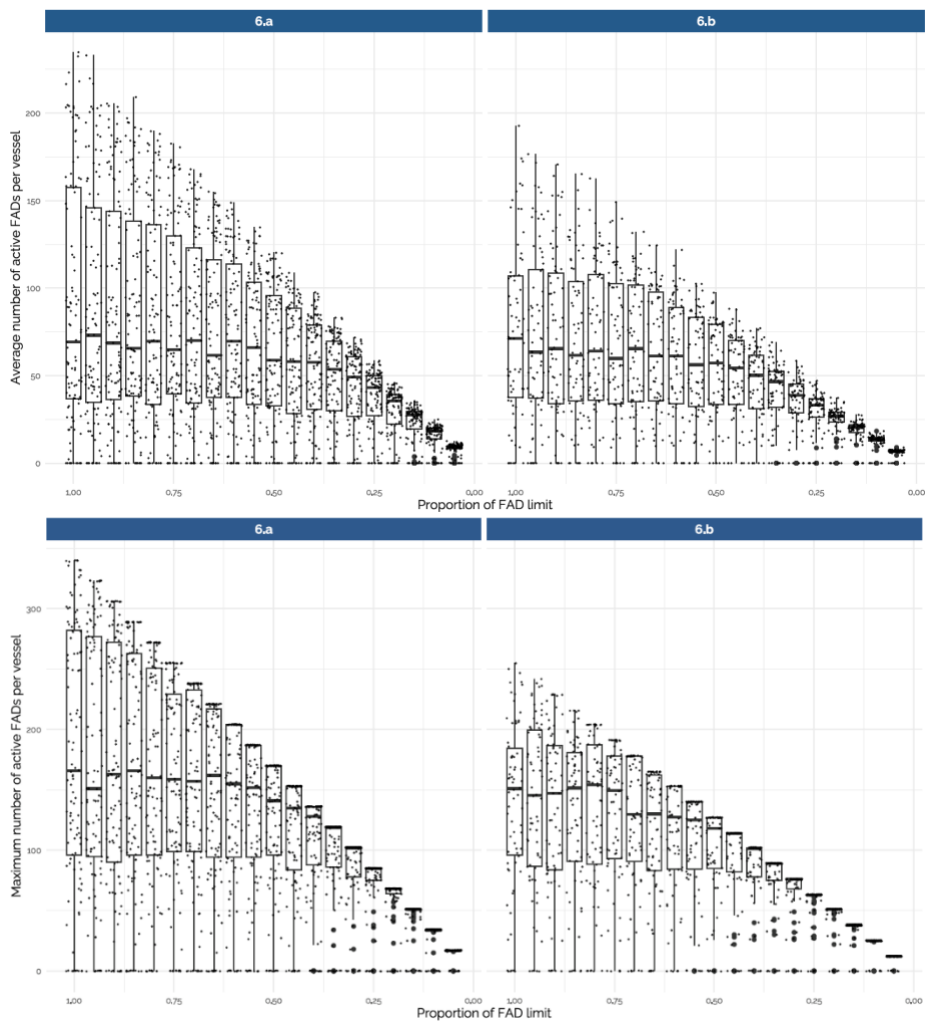
Katyana A. Vert-Pre, Nicolas Payette, Alexandra Norelli, Brian Powers, Michael Drexler, Steven Saul,
Aarthi Ananthanarayanan, Richard Bailey, Jens Koed Madsen, Ernesto Carrella

y colaboradores:

Alexandre Aires-da-Silva, Ernesto Altamirano, Dan Fuller, Cleridy E. Lennert-Cody, Jon Lopez, JoyDeLee
Marrow, Mark Maunder, Carolina Minte-Vera, Gala Moreno, Dan Ovando, Marlon Roman, Dale Squires,
Kurt Schaefer, Nick Vogel, Haikun Xu

RESUMEN

- La pesquería de cerco de atún tropical del Océano Pacífico oriental (OPO) captura atún patudo (BET), barrilete (SKJ) y aleta amarilla (YFT). Se trata de una pesquería muy dinámica que utiliza una combinación de tecnologías en evolución, entre ellas el uso creciente de dispositivos de concentración de peces (FAD, por sus siglas en inglés) desde principios de la década de 1990. La dinámica espacio-temporal de las especies y de los pescadores es un factor determinante de esta pesquería.
- POSEIDON, un modelo bioeconómico basado en agentes acoplados, fue adaptado para representar la pesquería de cerco del atún tropical del OPO. La naturaleza adaptativa de los agentes permite la simulación y evaluación de escenarios de gestión complejos al tiempo que se evalúan las compensaciones sociales, biológicas y económicas.
- El modelo de atún POSEIDON - OPO predice objetivos de la pesquería (por ejemplo, número de lances, número de plantados) comparables a los datos observados de la CIAT, por lo tanto, puede ser usado para comparar los impactos de distintos escenarios de ordenación. El modelo predice que reducir el porcentaje de plantados activos por buque al 80% de los límites de plantados activos para 2023 en C-21-04 podría reducir significativamente los impactos ecológicos asociados con los plantados, tales como la reducción de varamientos, manteniendo al mismo tiempo la captura total en niveles consistentes con los observados en el límite actual de plantados activos.
- El modelo predice que una reducción significativa de los impactos biológicos de la pesca con FAD sobre las poblaciones de especies de atún tropical requeriría grandes reducciones de los límites de FAD activos, o regulaciones que abarcasen los tres tipos de lance. Además, podría ser aconsejable combinar estas medidas con regulaciones espaciales, especialmente teniendo en cuenta la distribución espacial no uniforme de las tres especies de atún tropical.



- Figura Resumen: Impacto de la reducción incremental del límite de FAD activos para los buques de clase 6a (>1200 tm) y 6b (<1200 tm) (el eje x es la reducción mostrada como proporción del límite según la Resolución C-21-04) sobre la distribución del número medio (arriba) y máximo (abajo) de FAD activos por buque que arroja el modelo POSEIDON.
- Los trabajos futuros deberán explorar la sensibilidad de los resultados a las tasas de agregación de FAD calibradas para BET y actualizar la biología para reflejar el año de evaluación de la población más reciente.

Los resultados de esta investigación dependían en gran medida de supuestos ecológicos (por ejemplo, el proceso de agregación en torno a los FAD) para los que aún existe una incertidumbre significativa. Como tal, esta investigación debe considerarse exploratoria y no utilizarse para el asesoramiento de gestión en 2024. Nuevas investigaciones ayudarán a reducir la incertidumbre sobre estos supuestos ecológicos y a reforzar las predicciones del modelo POSEIDON.

2. MODELO DE ATÚN POSEIDON-OPO COMO UNA HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE ESCENARIOS DE GESTIÓN ALTERNATIVOS PARA LA PESQUERÍA DE CERCO

El modelo de atún POSEIDON-OPO fue diseñado para evaluar el rendimiento socioeconómico y biológico de los escenarios de gestión para la sostenibilidad de la pesquería de cerco del atún tropical del OPO. El

modelo consta de 6 módulos que representan a los pescadores, el medio ambiente, la biología, los FAD, el mercado y la gestión (Figura S1). Los buques pesqueros se modelan como "agentes" individuales que operan según un conjunto de reglas de comportamiento condicionadas por los patrones de pesca presentes en la pesquería. Los agentes pesqueros simulados se adaptan a las condiciones presentadas en cada escenario. El comportamiento emergente de los agentes pesqueros puede ayudar a identificar las consecuencias imprevistas de las intervenciones de gestión y a determinar las compensaciones entre los objetivos sociales, ecológicos y económicos de la pesquería. Dado el interés de la comisión en proporcionar asesoramiento científico para la pesquería sobre plantados (por ejemplo, Resolución C-19-01, C-23-03), el personal de la CIAT y el equipo de POSEIDON exploraron los siguientes escenarios hipotéticos de gestión de plantados y su eficacia para lograr estos objetivos, donde cada escenario corresponde a un nivel de límite de plantados:

1. Simular reducciones de los **límites actuales de FAD activos de buques individuales (por clase de buque)** a diferentes niveles.
2. Calcular el correspondiente % de **reducción en el número global y por buque de FAD activos controlados** y algunas otras cantidades/métricas asociadas de interés.
3. Compare dos supuestos de comportamiento: uno en el que los buques operan a los niveles que surgen del modelo POSEIDON y otro en el que el modelo empuja a los pescadores a **funcionar a los límites hipotéticos de gestión**.

1. Configuración de la simulación

Para cada simulación comenzamos con una calibración del modelo que ajusta los parámetros del modelo de forma que los valores predichos por el modelo coincidan con los datos empíricos de la pesquería del año 2022 (SAC-14-INF-G). El modelo calibrado se ajusta bien a los datos observados y muestra un error medio del 2,33% (Figura S2). Para cada simulación de escenario de gestión, el modelo POSEIDON calibrado se proyecta 1 año hacia adelante (2023), lo que nos permite observar la reacción de la pesquería a los cambios de política (véase el material suplementario para métodos más detallados) (Tabla 3).

El estado base de esta calibración de POSEIDON asume los requisitos actuales de ordenación de la CIAT que establecen que las CPC asegurarán que los buques cerqueros que enarbolan su pabellón no han rebasado el número total de plantados, definido en la tabla 1 (consistente con la Resolución C-21-04), activos en un momento dado. En nuestras simulaciones el 100% del límite de plantados activos para el año previsto de 2023 es 340 para los buques de Clase 6a (>1.200m³) y 255 para los de Clase 6b (<1200m³).

TABLA 1. Número permitido de FAD activos en un momento dado en las CPC según los requisitos de la CIAT.

Año	Clase	Número de FAD activos
2022	Clase 6.a (1.200 m ³ y superior)	400
	Clase 6.b (<1.200 m ³)	270
	Clase 4-5	110
	Clases 1-3	66
2023	Clase 6.a (1.200 m ³ y superior)	340

	Clase 6.b (<1.200 m3)	255
	Clase 4-5	105
	Clases 1-3	64

TABLA 2. Número de buques utilizados en el análisis diario de FAD activos en POSEIDON y en las referencias de los conjuntos de datos de FAD activos de la CIAT.

Recipientes	6.b (<1.200m3)	6.a (>=1.200m3)	total
POSEIDON	70	109	179
IATTC (2018-2022, FAD-07-01)	50	65	115

TABLA 3. Configuración de la simulación de la proyección del modelo de 2023.

Simulaciones totales	Supuestos	Escenarios	Estocasticidad
160	Despliegue al ritmo emergente del modelo calibrado para 2022	De 100 a 0 en incrementos del 5	8
160	Despliegue al máximo	De 100 a 0 en incrementos del 5	8

Los límites de FAD activos por buque se redujeron de los niveles actuales (100%) a cero en intervalos del 5% (resultando 20 intervalos). Cada escenario corresponde a un nivel de política que se repitió 8 veces para tener en cuenta la estocasticidad. Esto se itera para ambos supuestos de comportamiento (Tabla 3). En total, se realizaron 320 simulaciones independientes en 16 horas.

Todas las métricas se calculan tomando la media de las 8 ejecuciones estocásticas de cada escenario y combinación de hipótesis, a menos que se representen con la varianza de ejecución.

2. Supuestos de comportamiento

Probamos dos supuestos de comportamiento diferentes con el modelo POSEIDON, que proyecta patrones de pesca para 2023. En el primer supuesto de comportamiento, los buques despliegan los FAD al ritmo calibrado basándose en los conocimientos de 2021 y 2022. En el segundo supuesto de comportamiento, el "comportamiento de maximización" obliga a los agentes a maximizar sus acciones de despliegue durante la fase de planificación de la pesca, de modo que los buques intentan aumentar su número de FAD activos para alcanzar el máximo permitido según los nuevos límites hipotéticos.

Como parte del supuesto de comportamiento maximizado, todos los buques que no utilizaron FAD en 2022 seguirán sin utilizarlos. Además, todos los buques con más FAD activos de los permitidos por la

normativa al inicio de 2023 (1 de enero de 2023) desactivarán inmediatamente los FAD con la biomasa agregada más baja. Así, a principios de 2023, el 100% del límite actual de FAD corresponde a 340 y 255 FAD activos para los buques de clase 6.a y 6.b respectivamente.

A continuación, ambas hipótesis de comportamiento se contrastaron con el mismo límite de FAD activo y se desarrollaron métricas de gestión como la relación entre los límites de FAD activo y los efectos emergentes en los lances sobre FAD, las tasas de capturas.

3. RESULTADOS

1. Condiciones básicas

Para evaluar las condiciones iniciales, comparamos la distribución de FAD activos usados por buque de clase 6 para 2022 entre los datos de boyas de la CIAT (presentados bajo la Resolución C-21-04; véase FAD-07-01 para más detalles) y la salida del modelo POSEIDON (Figura 1). Existen ligeras diferencias en las dos definiciones de la CIAT y POSEIDON de los FAD activos, pero siguen siendo comparables. Según la definición de la CIAT (C-21-04), se considera que un FAD está activo cuando: a) está desplegado en el mar; y b) se ha producido la activación de la boya satélite, y la boya satélite está transmitiendo su localización y está siendo rastreada por el buque, su propietario u operador. POSEIDON considera que todo FAD desplegado en el mar tiene una boya satélite activa que transmite y es rastreada por el buque, su propietario o su operador. La distribución de los FAD activos en la base de datos de boyas de la CIAT (véase FAD-07-01) y en POSEIDON muestra que la mayoría de los buques poseen menos de 150 FAD activos por buque. Menos buques tenían entre 100 y 200 FAD activos en las bases de datos de boyas de la CIAT. Sin embargo, hay más buques que alcanzan los 300 a 400 FAD activos por buque en el conjunto de datos de boyas de la CIAT que en POSEIDON. Esta discrepancia puede deberse a que el modelo subestima ligeramente el número de despliegues (Tabla S2). Nótese que también existe una diferencia en el número de buques de clase 6a y clase 6b entre la CIAT y POSEIDON (Figura 2, Tabla 2).

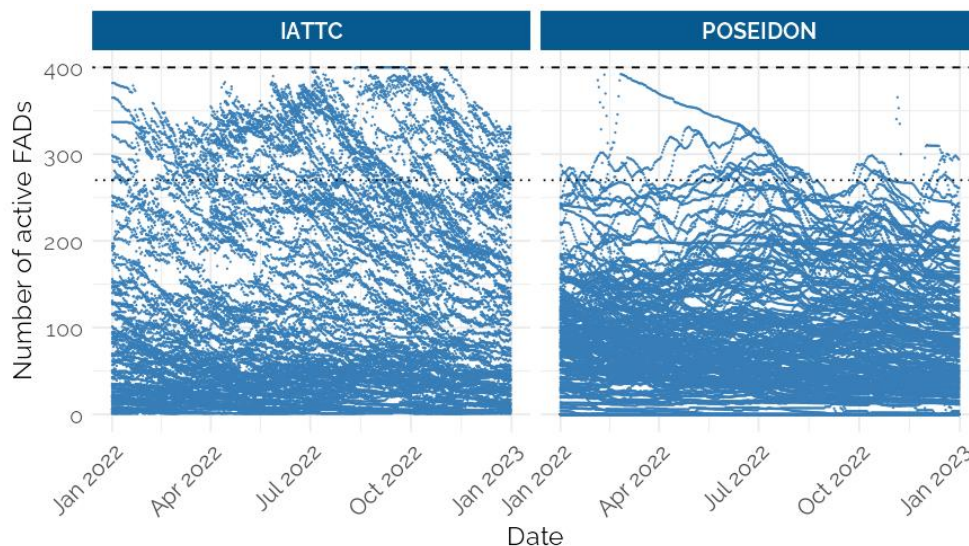


FIGURA 1. Comparación de los niveles diarios de FAD activos entre la CIAT y POSEIDON, por buque y para la clase 6 en 2022. Los puntos se utilizan para mostrar las lagunas en la notificación de datos. Las líneas discontinuas representan los límites de la Resolución C-21-04 para la clase 6.a (guión) y la clase 6.b (punto) en 2022.

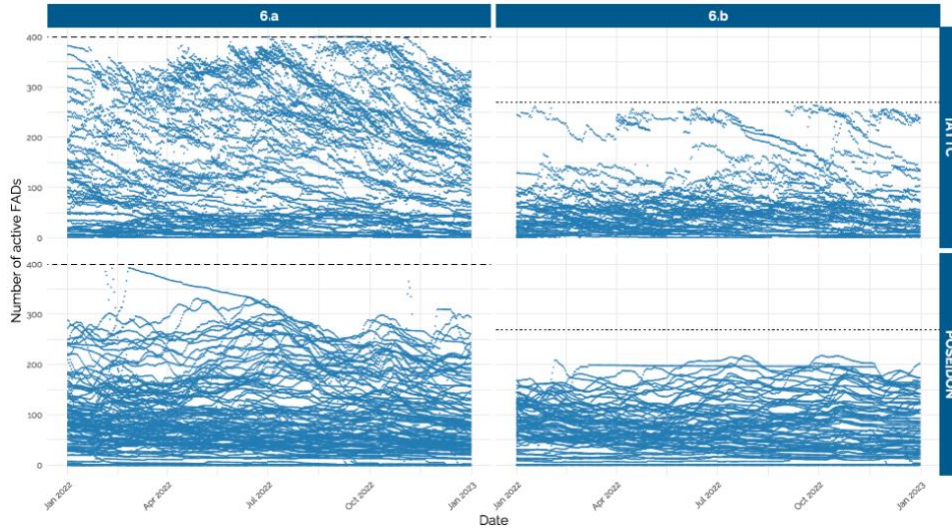


FIGURA 2. Comparación de los niveles diarios de FAD activos entre la base de datos de boyas de la CIAT y POSEIDON, por buque y capacidad Clase 6.a y Clase 6.b en 2022. Los puntos se utilizan para mostrar las lagunas en la notificación de datos. Las líneas discontinuas representan los límites de la Resolución C-21-04.

2. Proyección a un año vista

Relación entre los límites de FAD activos y el uso de FAD activos

A partir de 2022 las tendencias máximas entre los FADs activos de la CIAT y POSEIDON son sincrónicas con respecto al número máximo de FADs activos (Figura 3 panel derecho). Las tendencias bimensuales del número medio de FAD activos son similares. Sin embargo, existe una diferencia en la tendencia anual y el número de FAD activos (Figura 3, panel izquierdo) debido a que el modelo POSEIDON subestima ligeramente los despliegues. Esto nos da confianza en las tendencias anuales máximas previstas en 2023 para cada escenario de gestión, con más reservas cuando se trata de números medios absolutos por buque. El número máximo previsto de FAD activos por buque disminuye en 25 FAD activos al 90% para estabilizarse en 175 FAD activos al 40% del límite actual de FAD. A continuación, disminuye equidistantemente de 175 a 15 FAD activos por buque del 40% al 5% del límite actual de FAD, respectivamente.

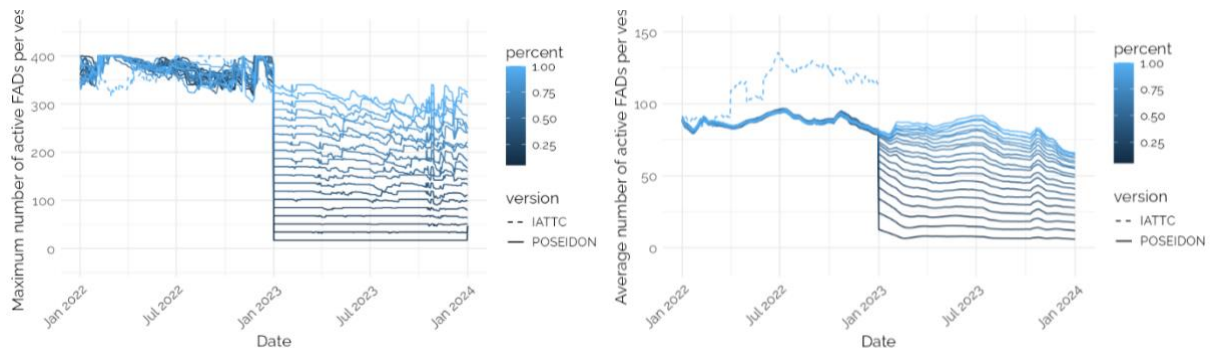


FIGURA 3. Comparación de la clase 6 del número medio (izquierda) y máximo (derecha) de FAD activos por buque a partir de los datos de la CIAT (en línea discontinua azul claro) frente al modelo POSEIDON (línea continua) para el año calibrado 2022, y el año de proyección 2023 en respuesta a todos los escenarios desde el 100% del límite actual hasta el 0% del límite actual en intervalos del 5%.

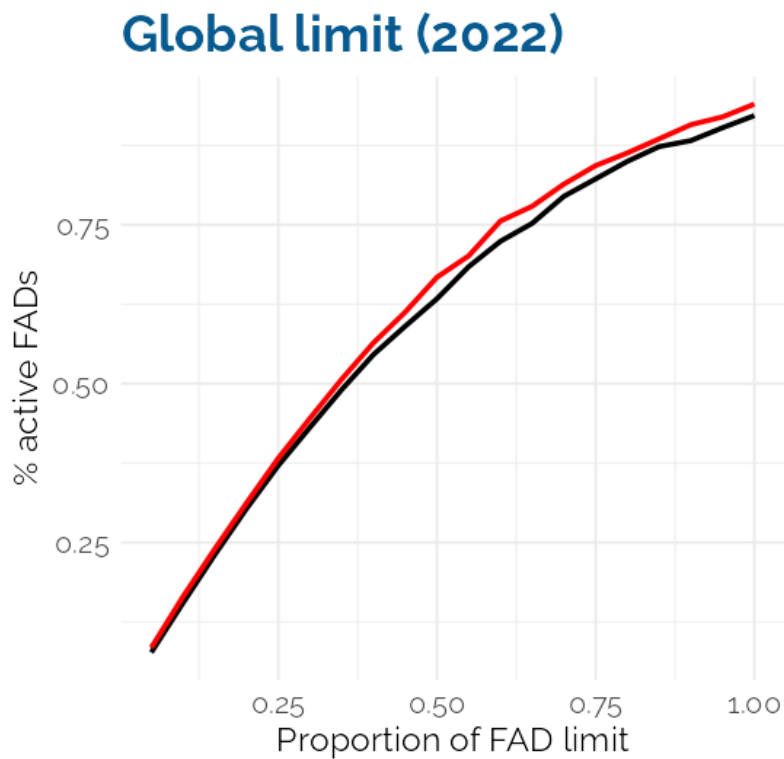


FIGURA 4. Impacto de la reducción incremental del límite de FAD activos para los buques de clase 6 (el eje x es la reducción mostrada como proporción del límite según la Resolución C-21-04 en 2022) sobre el porcentaje del total de FAD activos emitido por el modelo POSEIDON, calculado utilizando el número máximo (negro) y medio (rojo) de FAD activos por buque.

Para estimar el nivel de reducción del límite de FAD activos necesario para alcanzar un número deseable de FAD activos, calculamos la media y la media del número máximo de FAD activos en función de la proporción del límite de FAD (Figura 4). El número medio y máximo de FAD activos utilizados por buque

es proporcional en potencia al límite de FAD aplicado. Por ejemplo, reducir la proporción del límite de FAD actual en un 25% conduce a una reducción aproximada del 12,5% y el 10,2% en el número máximo y medio de FAD activos por buque de clase 6, respectivamente (Figura 4), lo que corresponde a aproximadamente 60 FAD activos por buque de clase 6 (Figura 5, panel derecho) cuando algunos buques operarán con el número máximo de 210 FAD (Figura 5, panel izquierdo). Los resultados equivalentes de las figuras 4 y 5 para los buques de clase 6a y 6b están disponibles en las figuras S9 y S10.

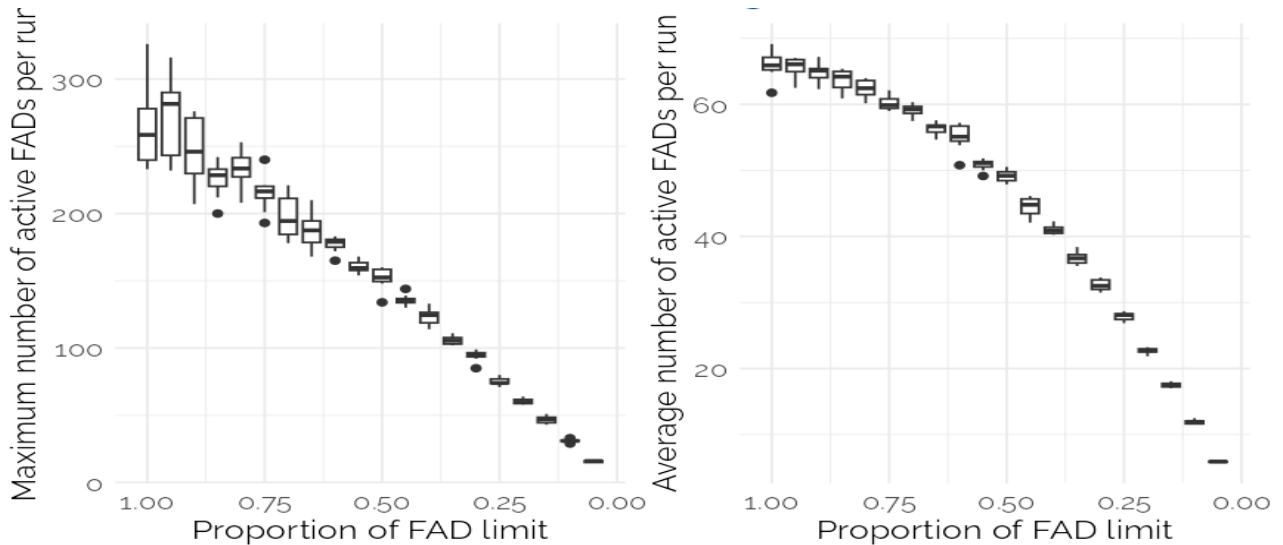


FIGURA 5. Impacto de la reducción incremental del límite de FAD activos para los buques de clase 6
 Impacto de la reducción incremental del límite de FAD activos para los buques de clase 6 (el eje x es la reducción mostrada como proporción del límite según la Resolución C-21-04 en 2023) sobre el porcentaje del número medio de FAD activos obtenido del modelo POSEIDON, calculado para cada ejecución de simulación (n=8).

Efecto de los límites de FAD en los lances y capturas de OBJ

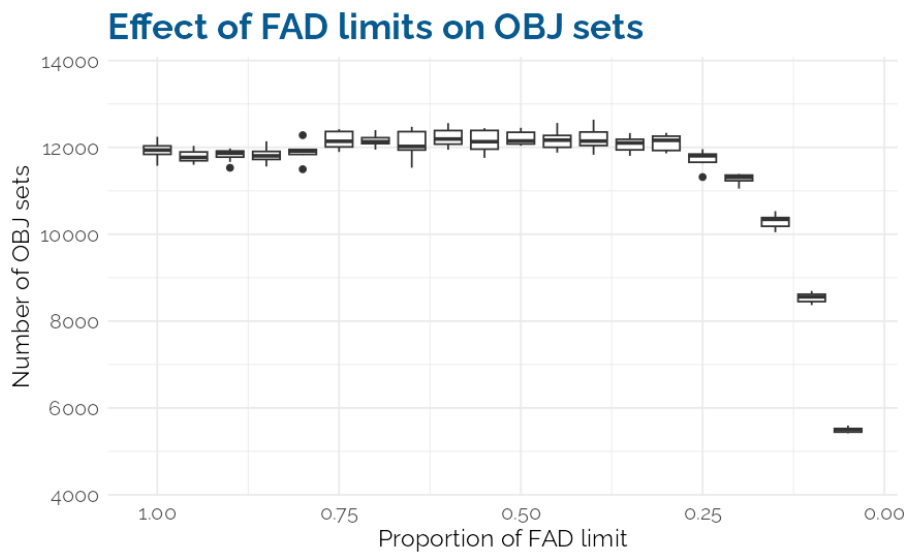


FIGURA 6. Impacto de la reducción gradual del límite de FAD activos para los buques de clase 6 Impacto de la reducción incremental del límite de FAD activos para los buques de clase 6 (el eje x es la reducción mostrada como proporción del límite según la Resolución C-21-04 en 2023) en el número de conjuntos OBJ generados por el modelo POSEIDON.

A diferencia de la relación entre los límites de los FAD y los FAD activos, la relación entre los límites de los FAD y los conjuntos OBJ no fue lineal. Todas las simulaciones entre el 100% y el 30% de los límites actuales de FAD promediaron aproximadamente 12.000 conjuntos OBJ. Si se reduce el límite de FAD entre el 30% y el 5% del límite actual de FAD activos, disminuye el número de conjuntos de objetos. Las variaciones entre simulaciones son mínimas, lo que demuestra la estabilidad de la respuesta del modelo a los escenarios de gestión (Figura 6).

Las capturas totales se mantuvieron estables del 100% al 75% del límite actual de FAD y luego aumentaron lentamente hasta culminar en el 30% del límite actual de FAD. (Figura 7). Al 25% del límite actual se produce un descenso que vuelve a los niveles de captura actuales al 12,5% del límite actual de FAD. Del 100% al 50% del límite actual de FAD, la composición de las capturas se mantiene estable, con una mayoría de barrilete y aleta amarilla (Figura 7). Sin embargo, del 50% al 20% la proporción de patudo aumenta lentamente mientras que la de barrilete disminuye ligeramente.

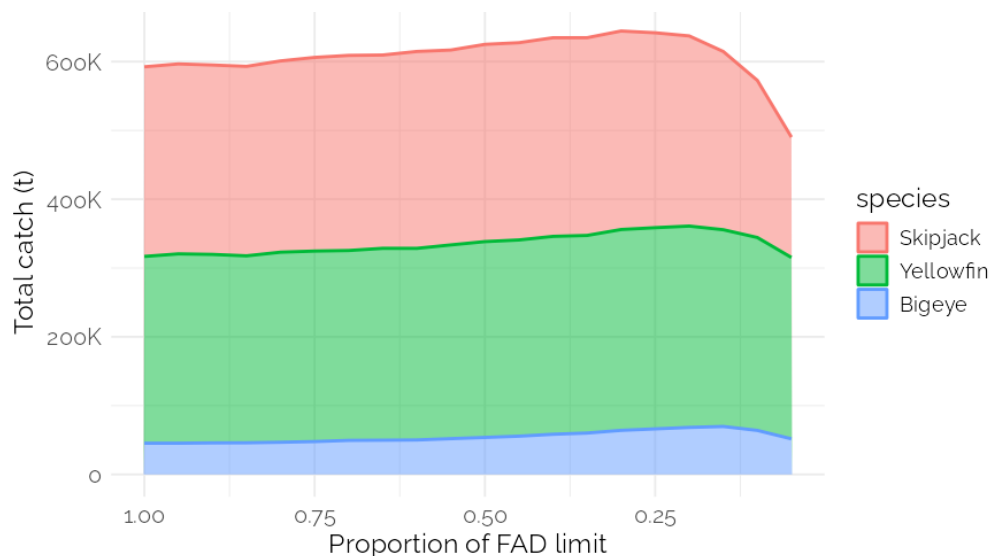


FIGURA 7. Impacto de la reducción incremental del límite de FAD activos para los buques de clase 6 Impacto de la reducción incremental del límite de FAD activos para los buques de clase 6 (el eje x es la reducción mostrada como proporción del límite según la Resolución C-21-04 en 2023) sobre la captura total y la composición de la captura de rabil, barrilete y patudo.

3. Comportamientos alternativos

El objetivo de incluir un supuesto alternativo adicional en el que los pescadores maximizan el uso de sus FAD activos, es analizar las respuestas ecológicas, biológicas y de esfuerzo del sistema cuando se obliga a los pescadores a operar sus buques con el límite máximo de FAD activos. Al imponer esta restricción, pretendemos comprender las implicaciones sobre diversos aspectos del ecosistema pesquero. Aquí

compararemos el supuesto de comportamiento "por defecto" y el supuesto de comportamiento "maximizado":

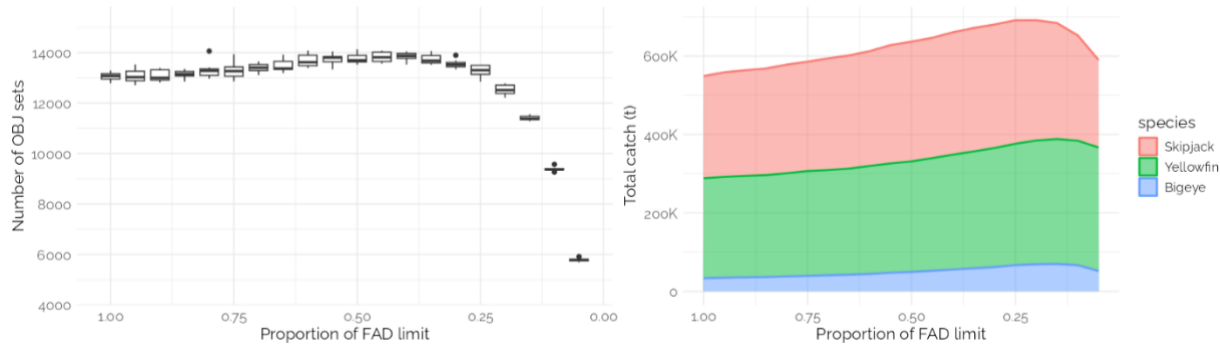


FIGURA 8. Impacto de la reducción progresiva del límite de FAD activos para los buques de clase 6
Impacto de la reducción incremental del límite de FAD activos para los buques de la Clase 6 (el eje x es la reducción mostrada como proporción del límite según la Resolución C-21-04 en 2023 sobre el número de lanzamientos producidos por el modelo POSEIDON (izquierda) y sobre la captura total y la composición de la captura de rabil, barrilete y patudo (derecha) cuando se maximiza el comportamiento de despliegue de FAD.

Cuando se maximiza el comportamiento de despliegue de los FAD, el número de lanzamientos y las capturas totales aumentan drásticamente hasta culminar en el 50% y el 25% del límite actual de FAD, respectivamente, para precipitarse a continuación. La composición de especies parece tener resultados similares en comparación con la hipótesis de comportamiento por defecto

4. DEBATE

A medida que la pesquería de FAD continúa expandiéndose, la necesidad de estrategias de gestión innovadoras se hace cada vez más imperativa. En respuesta, se aplicó el modelo POSEIDON a la pesquería de atún tropical de cerco (Vert-pre et al., 2023). Este modelo espacialmente explícito basado en agentes cumple múltiples funciones: en primer lugar, es capaz de simular reducciones a varios niveles de los límites actuales de FAD activos de buques individuales y traducirlo en indicadores para las tres especies de atún tropical simultáneamente. En segundo lugar, facilita la exploración del porcentaje correspondiente de reducción del número global y por buque de FAD activos controlados. Por último, ofrece información valiosa sobre otras magnitudes asociadas de interés dentro del ecosistema pesquero, incluidos los resultados sociales, de comportamiento y económicos.

El modelo proporciona tendencias anuales coherentes para el año 2023 en varios escenarios de gestión, que van del 100% al 0% del límite actual de FAD activos. Observamos tendencias máximas sincrónicas en los FAD activos entre la base de datos de boyas de la CIAT y los conjuntos de datos de POSEIDON (Figura 3, izquierda). Las series temporales de FADs activos medios de Poseidon muestran variaciones en las tendencias anuales de la CIAT, sin embargo las tendencias estacionales son similares ya que los FADs activos diarios muestran variaciones derivadas de las dos vedas de pesca de FADs que comienzan a finales de Julio y a principios de Noviembre, que obligan a cesar el despliegue de FADs 15 días antes de la veda. Además, el número máximo y medio de FAD activos por buque es directamente proporcional al límite de FAD vigente (Figura 5). Por lo tanto, la aplicación de límites a los FAD es una forma eficaz de reducir el número de FAD activos en el océano. Por ejemplo, una reducción del 25% en el límite actual de FAD se traduce en una reducción aproximada del 12,5% en el número máximo de FAD por buque de clase 6 (Figura 5), lo que corresponde a unos 60 FAD activos por buque (Figura 6, derecha), mientras que algunos

buques pueden operar con el máximo de 210 FAD. Sin embargo, es importante señalar que no todos los buques operan con el número máximo de FAD activos y, por tanto, no todos se ven afectados por la reducción del límite de FAD. El 58% de los buques se ven afectados por la reducción del límite de 2022 a 2023 y al 70% del límite actual de 2022 el 68% de los buques se ven afectados y el 90% de los buques se ven afectados cuando alcanzamos el 15% del límite de FAD de 2022.

Para las siguientes métricas, todos los cambios se comparan con el valor de referencia de 2023. La reducción de la proporción de FAD activos por buque en un 20 % del límite actual de FAD presenta una vía prometedora para mitigar los impactos ambientales relacionados con la pérdida de FAD y el varamiento, al tiempo que se mantiene un número de lances coherente con los observados en el límite actual (Figura 8). En particular, Escalle et al. (2019) estimaron que aproximadamente el 5,8% de todas las trayectorias de plantados en el Océano Pacífico occidental. Aunque no tenemos ninguna referencia científica de eventos de encallamiento en el OPO, hay un interés creciente en este tema. La implementación de una medida alternativa de este tipo podría ofrecer un paso significativo para abordar esta cuestión.

Para hacer frente al impacto biológico sobre las poblaciones de especies tropicales, los gestores disponen de opciones para ajustar el límite de FAD de los buques individuales. Una posibilidad es reducir el límite al 80% del límite actual de FAD, con lo que no se produce un aumento perceptible del esfuerzo sobre FAD, o reducirlo al 12,5% del límite actual, con lo que se produce un descenso significativo del esfuerzo y se reducen los niveles de captura (Figura 6-7). Fijar el límite de FAD de cada buque entre el 75% y el 12,5% del límite actual de FAD provoca un cambio en el comportamiento pesquero de la pesca con FAD a otros tipos de lances (Figuras S4 y S5), acompañado de un ligero aumento inicial de los lances sobre objetos (Figura S6).

Los pescadores de POSEIDON se someten a un detallado proceso de planificación antes de embarcarse en una marea, y las mareas se ajustan a la duración observada de las mareas. Durante esta fase de planificación, pueden elegir entre varias acciones de pesca, incluidos los lances sobre FAD, sobre delfines y no asociados, así como los despliegues. El modelo de comportamiento da prioridad a los lances sobre FAD, reflejando los patrones históricos de pesca. Sin embargo, cuando el número de FAD activos disponibles se reduce según el límite, la biomasa total bajo el FAD vulnerable a la pesca con FAD disminuye, lo que provoca un aumento de las teselas oceánicas. En consecuencia, la pesca con FAD se vuelve menos rentable. Para compensar, los pescadores aumentan el número de lances y realizan progresivamente más lances sobre delfines y lances no asociados (Figura S4), que a su vez tienen mayores tasas de captura de patudo (BET) y aleta amarilla (YFT).

En el supuesto de comportamiento en el que todos los buques utilizan el número máximo de FAD activos permitido, los aumentos de capturas y esfuerzo entre el 75 y el 12,5% del límite actual de FAD se hacen más pronunciados. Esta comprensión proporciona a los gestores una visión del potencial peor escenario posible. Para mitigar el cambio en los tipos de calado y evitar el aumento de las capturas y el esfuerzo dentro de este intervalo, la nueva normativa debería abarcar los tres tipos de calado.

Además, esta transición en los tipos de lance, junto con el aumento inicial del esfuerzo en los lances sobre objetos, modifica la composición de las capturas por especies (Figura S6). En consecuencia, la proporción de barrilete capturado en lances sobre FAD disminuye ligeramente, mientras que la proporción de aleta amarilla capturado en lances sobre delfines y no asociados aumenta. Sin embargo, el impacto más sustancial se produce en el esfuerzo (lances OBJ) y captura de patudo, que aumenta a medida que el modelo predice que los pescadores desplazan su esfuerzo OBJ a zonas con mayor densidad de patudo en respuesta a los límites de los FAD (Figura S8). Los pescadores en POSEIDON siguen un algoritmo de búsqueda de rutas que se rige por un algoritmo de comportamiento, que postula que los pescadores se dirigen a las baldosas oceánicas con el valor más alto por FAD presente en la baldosa. Este algoritmo fue

el mejor de los cinco algoritmos para ajustarse al comportamiento de los pescadores en la pesquería de atún tropical del OPO. Además, la capturabilidad del atún patudo fue calibrada para ser la más alta entre las tres especies, seguida por el atún aleta amarilla, para coincidir con los datos de captura de atún específicos de 2022 especies. Cuando hay menos FAD en el agua, hay menos competencia de atracción entre los FAD, lo que significa que las baldosas oceánicas con altas densidades de patudo y aleta amarilla acumularán más biomasa más rápidamente. A medida que disminuye el número de FAD en el océano, la distribución espacial del valor de los FAD se vuelve menos uniforme, lo que hace que los FAD de las zonas propensas al patudo y al rabil, especialmente en el sur, sean más atractivos para los pescadores. El resultado es una concentración del esfuerzo pesquero en estas zonas de alto valor. Esto se relaciona con la hipótesis ecológica de la fragmentación de los bancos.

No obstante, cabe señalar que el modelo tiende a sobrestimar ligeramente las capturas totales en la región meridional, lo que sugiere que el aumento observado en las capturas puede estar sobreestimado. No obstante, según el modelo, para mitigar los impactos sobre el patudo sería necesario que los gestores limitaran el número de FAD activos por buque al 12,5% del límite actual de FAD o combinar una reducción menor del límite de FAD por buque con regulaciones espaciales o regulaciones del esfuerzo. Además, aunque surgen discrepancias en la definición precisa de FAD activos entre la Resolución de la Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT) y los parámetros establecidos en el modelo POSEIDON, la definición sigue siendo comparable. Según la definición de la CIAT, un FAD se considera activo cuando está desplegado y transmite su localización vía satélite. En cambio, el modelo POSEIDON define un FAD activo de forma más inclusiva, considerando activo cualquier FAD desplegado en el mar bajo el supuesto de que un FAD desplegado siempre está transmitiendo datos de geolocalización a su respectivo buque. Los plantados activos diarios de los conjuntos de datos de la CIAT y del modelo POSEIDON revelan similitudes estacionales, pero también discrepancias. La mayoría de los buques de ambas fuentes de datos poseen menos de 90 FAD activos por buque. Sin embargo, más allá de este límite, el conjunto de datos de la CIAT muestra menos buques con entre 100 y 200 FAD activos y un mayor número de buques que alcanzan entre 300 y 400 FAD activos por buque en comparación con el modelo POSEIDON (Figura 1). Estas variaciones se deben a que el modelo POSEIDON subestima ligeramente el número de despliegues (Figura S2). Las clases 6.a y 6.b representan categorías distintas dentro de la pesquería, cada una con sus propias características y dinámica operativa.

Aunque este informe se ha centrado principalmente en las implicaciones ecológicas, es importante señalar que en los materiales complementarios se ofrecen cifras adicionales relativas a las repercusiones económicas y las tasas globales de captura. Mediante la integración de consideraciones ecológicas y económicas, los responsables políticos y las partes interesadas pueden obtener una comprensión global de las implicaciones previstas de los distintos escenarios de gestión tanto en la sostenibilidad medioambiental como en la viabilidad económica. Este enfoque holístico es útil para elaborar estrategias de gestión integrales que promuevan la salud a largo plazo de los ecosistemas marinos y, al mismo tiempo, apoyen los medios de subsistencia de las comunidades pesqueras y garanticen la resistencia de la pesquería de atún tropical del Pacífico Oriental frente a la evolución de la dinámica ambiental.

5. HIPÓTESIS Y PRÓXIMOS PASOS

El escenario presentado aquí representa sólo un resultado posible según las especificaciones y la configuración actuales del modelo. POSEIDON puede proporcionar análisis de sensibilidad adicionales a los supuestos del modelo que pueden ayudar a trazar el abanico de resultados potenciales para una estrategia de gestión específica dadas las incógnitas relacionadas con la ecología de los FAD y los comportamientos pesqueros. Dos supuestos clave se beneficiarían de una mayor comprobación dentro del modelo.

En primer lugar, las elevadas tasas de agregación del patudo y el rabil. Aunque se desconocen las verdaderas tasas de agregación de cada especie, el modelo calibra esta tasa para que coincida con la captura total y el comportamiento pesquero. Para alcanzar las cifras de capturas y despliegue proporcionadas, y dadas las cifras de la evaluación de la población, los FAD simulados deben atraer altos niveles de BET y YFT. Estas altas tasas de agregación provocan altas concentraciones de BET y YFT que, a su vez, aumentan las capturas. Aunque se trata de un efecto muy plausible de una menor densidad de FAD, la magnitud de esas agregaciones podría representar un límite superior de agregación de BET. El trabajo futuro debería comprender por qué la calibración tiende a atraer BET a una tasa muy alta, dadas las entradas de datos, y probar la sensibilidad de los resultados del modelo a diferentes tasas de agregación, lo que caracterizará mejor la incertidumbre en las predicciones del modelo.

En segundo lugar, esta configuración del modelo utiliza un algoritmo de planificación de viajes en el que los pescadores se dirigen a las zonas oceánicas con el valor medio más alto por FAD presente en la zona. En la situación en la que tenemos una alta agregación de BET y un número muy bajo de FAD en una zona (con límites bajos de FAD), esto puede concentrar muchos peces en muy pocos FAD. Esto puede dar lugar a un exceso de concentración de peces en los FAD ricos en BET, ya que los pescadores podrían, en teoría, optar por pescar en un cuadrado con un solo FAD rico en BET, ya que la media será superior a la de un cuadrado con muchos FAD de biomasa BET media. Las pruebas de sensibilidad adicionales sobre las agregaciones, la comprensión de la magnitud de la orientación BET en el modelo y las pruebas de comportamiento adicionales pueden desentrañar este efecto.

Por último, los investigadores del modelo atunero POSEIDON-OPO y el personal de la CIAT han identificado las siguientes tareas para el próximo ciclo de gestión:

- Actualizar el modelo con los datos de 2023-2024
- Ejecutar escenarios de gestión espacial.
- Modelo económico - integra el módulo de la cadena de suministro y los precios portuarios dinámicos a la salida del buque.

6. ACUSE DE RECIBO

Además de los autores mencionados, agradecemos las contribuciones de las siguientes personas que apoyaron el desarrollo del modelo de atún POSEIDON-OPO. Damos las gracias a los pescadores y a las siguientes empresas por aportar sus conocimientos: Ugavi, Nirsa, Atunera Dullarra, Delipesca y Albacora. Del ISSF, Victor Estrepo; de AZTI, Jefferson Murua; del Grupo Asesor del FAD: Laurent Dagorn, Manuela Capello, Joe Scutt Phillips, Laurianne Escalle, Josu Santiago; y del Grupo Consultivo Económico: Patrice Guillotreau, Elizabeth Havice, Liam Campling, Santiago Bucaram; y de ATUNA, Giacinto Bottone. Este trabajo ha contado con el apoyo de la Gordon and Betty Moore Foundation (Grant #4850.02).

7. REFERENCIAS

Bailey, R.M., Carrella, E., Axtell, R., Burgess, M.G., Cabral, R.B., Drexler, M., Dorsett, C., Madsen, J.K., Merkl, A. y Saul, S., 2019. Un enfoque computacional para gestionar sistemas humano-ambientales acoplados: el modelo POSEIDON de pesquerías oceánicas. *Ciencia de la sostenibilidad*, 14, pp.259-275.

Bucaram, S. J. (2017). Cost benefit and financial analyses of quota managed options for bigeye and yellowfin tunas in the Eastern Pacific Ocean. link: https://www.ipcinfo.org/fileadmin/user_upload/common_oceans/docs/CashFlowAnalysisForEPVQbusinessModel.pdf

Carrella, E., Saul, S., Marshall, K., Burgess, M.G., Cabral, R.B., Bailey, R.M., Dorsett, C., Drexler, M., Madsen, J.K. y Merkl, A., 2020. Simple adaptive rules describe fishing behaviour better than perfect rationality in the US West Coast Groundfish fishery. *Ecological Economics*, 169, p.106449.

Escalle, L., Scutt Phillips, J., Brownjohn, M. *et al.* Impulsores ambientales versus operativos de la varada de plantados a la deriva en el Océano Pacífico occidental y central. *Sci Rep* 9, 14005 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50364-0>

Streichert, F., y Holger U. (2005). JavaEvA - A Java Framework for Evolutionary Algorithms. Informe técnico. WSI-2005-06. Centro de Bioinformática de Tubinga, Universidad de Tubinga. doi: urn:nbn:de:bsz:21-opus-17022.

Metzger, E.J., Helber, R.W., Hogan, P.J., Posey, P.G., Thoppil, P.G., Townsend, T.L, Wallcraft, .A.J., Smedstad, O.M., y Franklin, D.S. (2017). Global Ocean Forecast System 3.1 Validation Testing NRL Report NRL/MR/7320--17-9722.

Hoyle, S., Kleiber, P., Davies, N., Harley, S., y Hampton, J. (2010). Evaluación de la población de atún barrilete en el Océano Pacífico occidental y central. WCPFC-SC6-2010/ST-IP-02, Nuku'alofa, Tonga, 10-19 de agosto de 2010.

Lennert-Cody, C. E., Moreno, G., Restrepo, V., Román, M. H., & Maunder, M. N. (2018). Estrategias recientes de pesca con FAD con red de cerco en el Océano Pacífico oriental: ¿cuál es el número adecuado de FAD en el mar?. *Revista de ciencias marinas del CIEM*, 75(5), 1748-1757.

López, J., Lennert-Cody, C.E., Maunder, M.N., Xu, H., Brodie, S., Jacox, M., y Hartog, J. (2019). SAC-10 INF-D Desarrollo de medidas de conservación alternativas para el patudo en el océano Pacífico oriental: Un enfoque dinámico de gestión oceánica. Comisión Interamericana del Atún Tropical/ La Jolla, CA https://www.iattc.org/Meetings/Meetings2019/SAC-10/INF/English/SAC-10-INF-D_Bigeye%20tuna%20Dynamic%20Ocean%20Management.pdf

Maunder, M.N., Xu, H., Minte-Vera, C.V., Valero, J.L., Lennert-Cody, C.E., y Aires-da-Silva, A. (2022). SAC-13-07-ES Atún barrilete en el Océano Pacífico Oriental, 2021: Evaluación provisional. Comisión

Interamericana del Atún Tropical. La Jolla, CA. https://www.iattc.org/GetAttachment/0acfc999-fbcd-4b07-9e8d-fc5f85fd88e8/SAC-13-07_Skipjack-tuna-interim-assessment-2022.pdf

Minte-Vera, C.V., Maunder, M.N., Xu, H., Lennert-Cody, C.E., Lopes, J., Aires-de-Silva, A., Fuller, D.W., y Lovell, M.S. (2022). SAC-14-06 Evaluación de la población de atún de aleta amarilla: Modelo conceptual y análisis exploratorios. Comisión Interamericana del Atún Tropical. La Jolla, CA https://iattc.org/GetAttachment/7957c910-0cce-4cff-bf54-4a25dadbf4bf/SAC-14-PRES_YFT-exploratory-analysis-14-06.pdf

Powers, B., Vert-pre, K.A., Lopez, J., Payette, N. Saul, S. (En curso). A statistical model to drift fish aggregating device in the Eastern Pacific Ocean using estimated ocean currents.

Vert-Pre, K.A., N. Payette, E. Carrella, B. Powers, S. Saul, M. Drexler, J. Lopez, J. Koed Madsen, A. Ananthanarayanan, A. Aires-da-Silva, C. E. Lennert-Cody, M. Maunder, G. Moreno, R. M. Bailey, D. Squires, E. Altamirano, C. Minte-Vera, D. Fuller, J. Marrow, M. Roman, K. Schaefer, N. Vogel, H. Xu. (2023). Documento SAC-13 INF- Development of a coupled agent-based bio-economic model, POSEIDON, for Eastern Pacific Ocean Tropical Tuna Species.

Schaefer, K.M. y Fuller, D.W., (2019). Variabilidad espaciotemporal en la dinámica reproductiva del atún barrilete (*Katsuwonus pelamis*) en el Océano Pacífico oriental. *Fisheries Research*, 209, pp.1-13.

Xu, H., Minte-Vera, C., Maunder, M.N., y Lennert-Cody, C. (2023). SAC-14-05 Análisis exploratorio para la evaluación de la población de atún patudo en el Océano Pacífico oriental. Comisión Interamericana del Atún Tropical. La Jolla, CA. https://www.iattc.org/GetAttachment/3ea4bb0c-0f6e-4401-aa3e-6f9d9179c9af/SAC-14-05_Exploratory-analysis-for-the-bigeye-assessment.pdf

8. MATERIALES COMPLEMENTARIOS

1. Información sobre la configuración del modelo

POSEIDON es un modelo bioeconómico basado en agentes (ABM) que simula los comportamientos de los buques pesqueros y evalúa los impactos de los efectos sociales, biológicos y económicos en el sistema (Bailey *et al.*, 2019). Evalúa el rendimiento de los escenarios de gestión pesquera y las compensaciones asociadas frente a los objetivos deseados mediante el acoplamiento de las capas tradicionales de modelado de políticas y biología marina con una capa adaptativa basada en agentes de buques pesqueros. El uso de agentes individuales puede representar las respuestas heterogéneas de los pescadores en el sistema (Carrella *et al.*, 2020).

Se está adaptando el marco POSEIDON para representar la pesquería atunera tropical del OPO a fin de lograr los objetivos siguientes 1) Evaluar el desempeño (económico y biológico) de escenarios alternativos de ordenación para la sostenibilidad de las pesquerías atuneras tropicales con red de cerco en el Océano Pacífico oriental (OPO). 2) Ampliar las herramientas y mejorar la eficacia del personal científico mediante la automatización de la evaluación rutinaria de escenarios alternativos de ordenación; y 3) Ampliar las capacidades analíticas relacionadas con la ordenación de los dispositivos de concentración de peces (FAD).

El modelo atunero POSEIDON-OPO consta de seis módulos que representan diferentes aspectos de la pesquería de cerco (Figura S1). El dominio de modelado abarca toda la región del OPO para las pesquerías de atunes tropicales y representa BET, SKJ, y YFT. Se introdujeron los datos de la flota para establecer la configuración espacial del modelo y se utilizó información como la ubicación del puerto, las propiedades del buque, el tiempo en puerto, los costes de explotación y los precios del pescado para inicializar el modelo para los buques de cerco de clase 6. Las fuentes adicionales de captura y mortalidad de los buques de cerco de clase 6 son las siguientes. Las fuentes adicionales de captura y mortalidad de los cerqueros y palangreros de clase 1-5 se incluyeron como factores exógenos en el modelo y sus comportamientos no se modelaron explícitamente. En la Sección VI se ofrece información complementaria sobre los distintos componentes de POSEIDON.

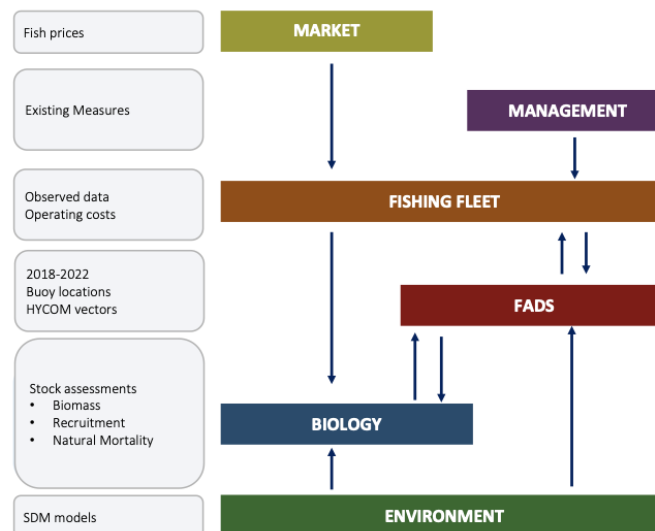


FIGURA S1. Diagrama esquemático de los seis módulos de atún de POSEIDON-OPO y algunos ejemplos de los datos utilizados para fundamentarlos.

Biología y medio ambiente

Se implementó un modelo biológico estructurado por edad para BET, SKJ, YFT utilizando la información más reciente de evaluación de la población, que incluía evaluaciones de 2022 para SKJ y BET, y de 2023 para YFT (Maunder, 2022; Xu, 2022; Minte-Vera, 2023). La mayoría de los parámetros biológicos se extrajeron directamente del SS3, incluida la selectividad, el número de peces por intervalo de edad trimestral, la madurez, la mortalidad natural y la mortalidad por palangre. La mortalidad por pesca por intervalos trimestrales de edad y por sexo para cada tipo de arte (OBJ, NOA, DEL) y tipo de buque (clase 6, todos los demás buques) se calculó utilizando los intervalos de talla por edad de las evaluaciones de la población y la captura observada por intervalo de talla para cada tipo de arte facilitada por la CIAT. La biomasa de atún se espacializó utilizando modelos de distribución de especies de árboles de regresión reforzada para predecir mapas de habitabilidad relativa para atunes adultos y juveniles siguiendo los métodos de López *et al.* (2019).

FAD

Los buques despliegan los FAD de forma adaptativa en celdas oceánicas de 1 x 1 grado basadas en ubicaciones históricas de despliegue. Se implementó un modelo estadístico de deriva de FAD en el atún POSEIDON-OPO que permite un modelo de cálculo más rápido que los métodos Langrangianos. Se desarrolló un modelo de deriva de interpolación bilineal de 24 horas comparando una serie de modelos de deriva sobre la ubicación de inicio y parada de siete muestras experimentales de datos de boyas anonimizadas durante un período de 30 y 90 días (Powers *et al.*, en curso) contra vectores de velocidad HYCOM (Metzger *et al.*, 2017) por hora estimados mediante una interpolación iterativa.

La agregación de peces alrededor de los FAD es una función lineal de la abundancia de peces en la celda ocupada por el FAD. El número de peces agregados por el FAD viene determinado por la selectividad por edad y sexo, y por la tasa de peligrosidad diaria calibrada aplicada aleatoriamente a cada FAD. Las capacidades de carga de los FAD se infieren a partir de los datos de la CIAT, utilizando el mayor tamaño de lance observado durante el periodo 2017-2023 (456t). Las tasas de agregación, o la tasa a la que los atunes se agregan a un FAD que ocupa una celda oceánica, para las tres especies también son términos calibrados.

Comportamiento de los pescadores

El comportamiento de los pescadores en el modelo se rige por una estrategia de planificación en la que los pescadores intentan establecer qué acciones pretenden ejecutar y en qué lugares. La elección de estas acciones está condicionada por las preferencias históricas (2022) de los pescadores, derivadas de la base de datos de observadores.

Se evaluaron varios algoritmos de comportamiento que utilizan diferentes métricas de valor percibido sobre a dónde dirigen su esfuerzo los agentes. El modelo de comportamiento que mejor se ajusta actualmente utiliza una estrategia de destino de valor por lance (VPL) como parte de un algoritmo de planificación de rutas para planificar un viaje. El algoritmo VPL calcula el valor medio por lance en un área localizada calculando la cantidad total de ingresos esperados de los peces bajo los FAD dividida por el número de FAD en esa área, lo que da como resultado el valor medio por lance de esa célula oceánica. A continuación, el algoritmo de planificación de rutas utiliza el algoritmo VPL para planificar y revisar una ruta de pesca a intervalos regulares hasta que la bodega esté llena y el buque regrese a puerto.

Economía

Los buques incurren en costes operativos diarios que varían con el tamaño del buque y se infieren de Anastacio y Bucaram (2017). El precio anual por tonelada de cada una de las tres especies se utiliza para estimar los ingresos y beneficios esperados de cada FAD. Actualmente se está desarrollando un modelo

de cadena de suministro que permitirá probar los impactos de cambios en las cadenas de suministro y precios globales en la pesquería de atún tropical del OPO, además de proporcionar estimaciones dinámicas de precios específicos de puerto. Debido a la naturaleza global del mercado del atún y a los supuestos relacionados con las importaciones de la WCPO, los precios dinámicos del modelo no son sensibles a la captura global del OPO. El modelo económico utiliza datos comerciales de BACI (2022), costes de transporte internacional (UNCTAD 2021), tasas arancelarias (OMC 2022), estimaciones de la capacidad nacional de transformación (FAO 2008) y precios de los productos del atún (FAO 2022).

Calibración y diagnóstico

La mayoría de los parámetros de simulación son empíricos, incluidos los relacionados con las características de los buques, el tiempo en puerto entre mareas y la captura máxima bajo los FAD. Los parámetros restantes, denominados parámetros libres por ser desconocidos, fueron ajustados por el modelo. Actualmente hay 16 parámetros libres relacionados con los FAD y 14 relacionados con el comportamiento de los pescadores. En general, estos parámetros informan sobre la tasa de agregación de los FAD o intervienen en las decisiones individuales de los agentes pesqueros, como la frecuencia con la que los pescadores actualizan su plan de pesca.

Para estimar los parámetros libres se utilizó el siguiente proceso de calibración. En primer lugar, se identificaron rangos plausibles para todos los parámetros libres. A cada parámetro se le asignan límites suaves entre los cuales se seleccionan aleatoriamente los valores iniciales para la calibración, y límites duros que limitan los valores finales calibrados de los parámetros. Los límites se basan en pruebas empíricas, análisis y justificaciones estadísticas. En segundo lugar, se identificaron objetivos de calibración utilizando valores conocidos a partir de los datos empíricos. Por último, se utilizó un algoritmo de búsqueda (Streicher 2005) para explorar el espacio de parámetros libres e identificar una combinación que produjera valores lo más cercanos posibles a los objetivos de calibración al ejecutar la simulación.

Resultados de la calibración

El modelo se calibró con los datos de los observadores de 2022. Se trata del año más reciente con un conjunto de datos completo al inicio del proyecto. Los objetivos utilizados para la calibración incluyeron los desembarques totales, el calendario y el número de acciones, la duración de los viajes, los calados sobre FAD propios frente a otros y los calados sobre delfines. Además, se han añadido objetivos relacionados con la desviación de las distribuciones del tamaño de las capturas para que las distribuciones del tamaño de las capturas observadas surjan de la combinación de la capturabilidad de las especies, las tasas de riesgo de liberación y otros parámetros libres relacionados con los FAD.

El modelo resultante fue capaz de ajustar objetivos para el OPO entero, tales como el número de acciones sobre plantados (plantados propios, plantados de otros, lances no asociados, lanzamientos de plantados, y lances sobre delfines), capturas de las tres especies (plantados propios, plantados de otros, no asociados, y lances sobre delfines), capturas totales (BET, SKJ, YFT), duración del viaje, y promedio de horas fuera de los datos de los observadores con error bajo (<10%) (Figura S2). Las pautas de pesca espaciales y el calendario eran realistas. Sin embargo, el esfuerzo de pesca sobre plantados al norte de la línea ecuatorial y en el límite occidental de la zona del OPO tendió a ser subestimado. Además, el modelo pudo capturar los patrones de despliegue y las regiones de calado de plantados para cada uno de los grupos de flotas pesqueras identificados por Lennert-Cody (2018), indicando que el modelo puede capturar las varias estrategias de pesca de la flota (Figura S3).

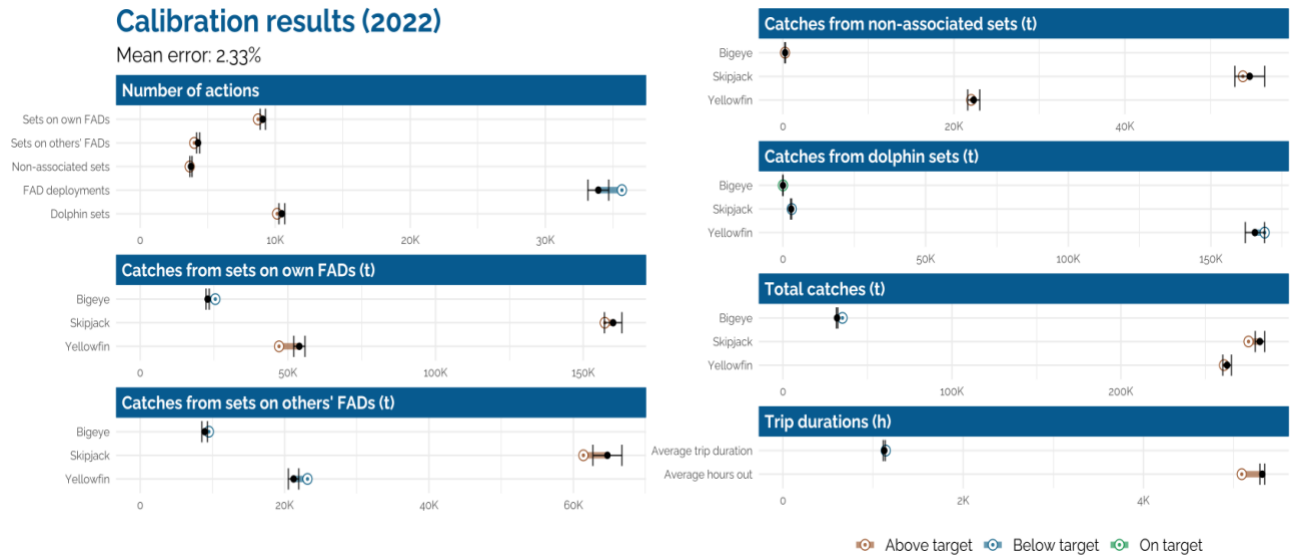


FIGURA S2. Resultados de la calibración del modelo de t́nidos POSEIDON-OPO ḿs reciente, con un error de calibraci3n medio del 2,33% para los objetivos principales. Para cada objetivo de calibraci3n, la diana representa el valor objetivo derivado de los datos de los observadores y el punto negro y el rango representan los resultados del modelo de calibraci3n.

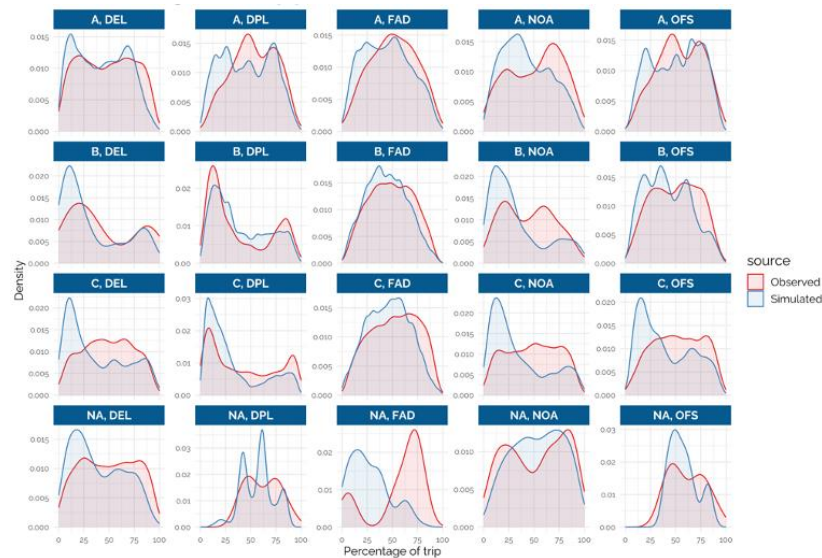


FIGURA S3. Comparaci3n de los tiempos observados y modelados de las acciones de pesca con red de cerco (lance sobre delfines (DEL), despliegue (DPL), lance sobre plantado (FAD), lance no asociado (NOA) y lance sobre otros plantados (OFS)) para cada uno de los tipos de grupos de buques identificados por el análisis actualizado de 2022 de Lennert-Cody (2018). La duraci3n del viaje se estandariza como porcentaje de la duraci3n total del viaje, ya que los viajes individuales tendrán diferentes duraciones totales.

2. Figuras suplementarias

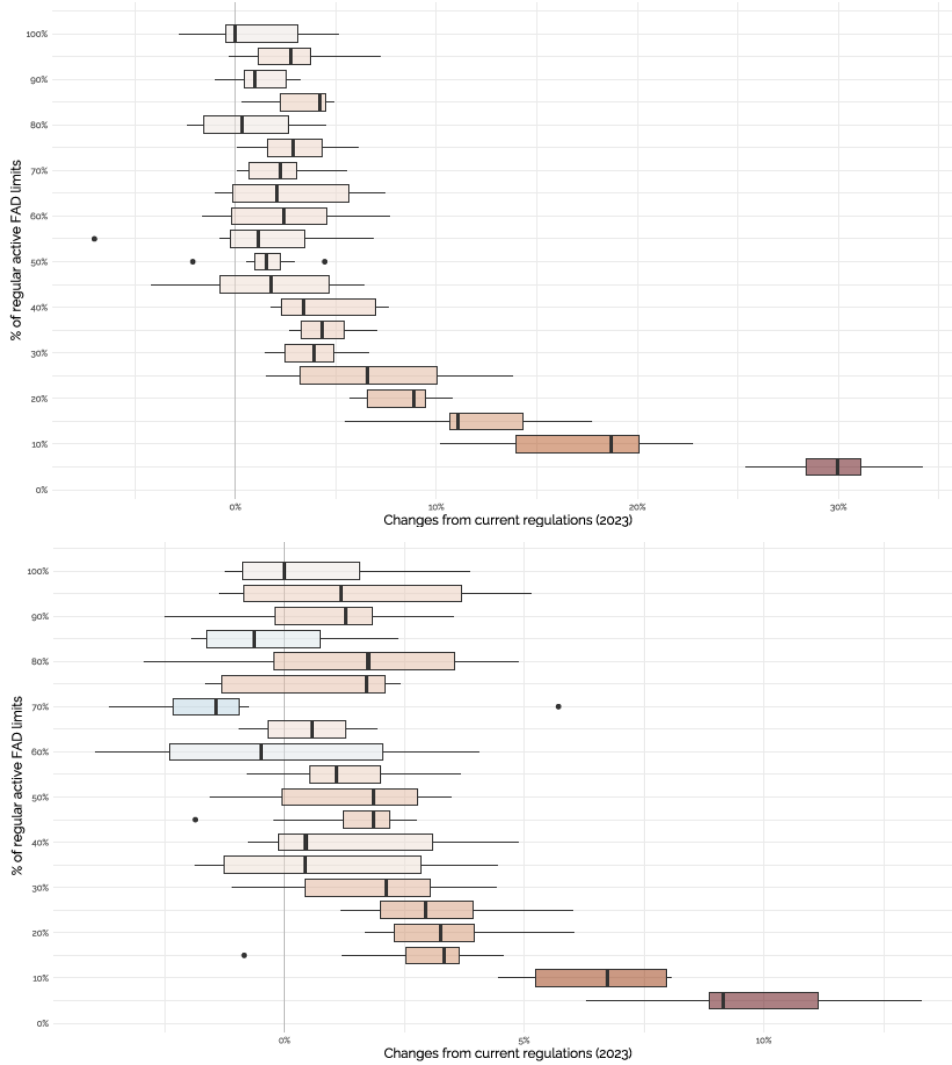


FIGURA S4. Impacto de la reducción incremental del límite de plantados activos para los buques de la Clase 6 (el eje y es la reducción mostrada como proporción del límite según la Resolución C-19-01) sobre el número de lances no asociados (arriba) y lances sobre delfines (abajo) cambios respecto a la normativa actual en 2023.

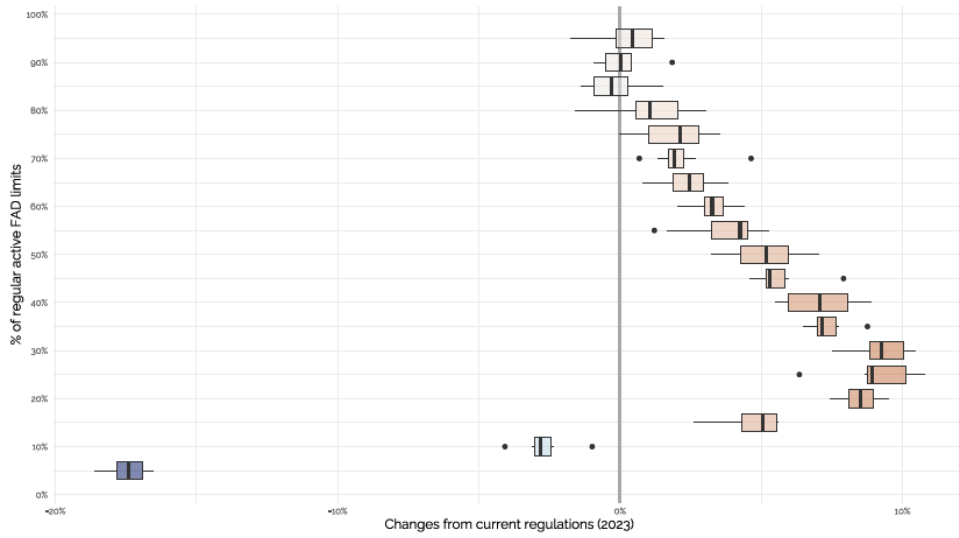


FIGURA S5. Impacto de la reducción incremental del límite de FAD activos para los buques de la clase 6 (el eje y es la reducción mostrada como proporción del límite según la Resolución C-19-01) en los cambios globales de las tasas de captura respecto a la normativa actual en 2023.

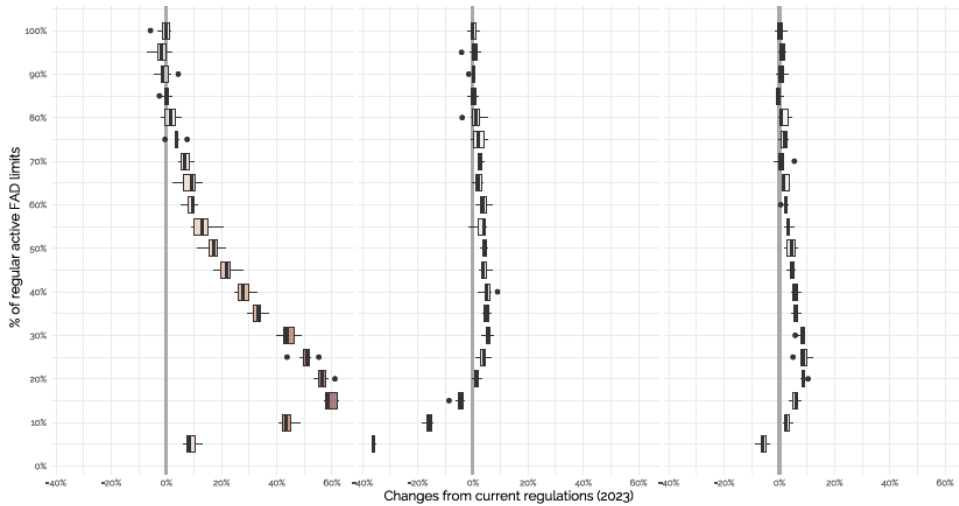


FIGURA S6. Impacto de la reducción incremental del límite de FAD activos para los buques de la clase 6 (el eje y es la reducción mostrada como proporción del límite según la Resolución C-19-01) en la tasa de capturas por cambios de especies en relación con 2023 para BET (izquierda), SKJ (centro), YFT (derecha).

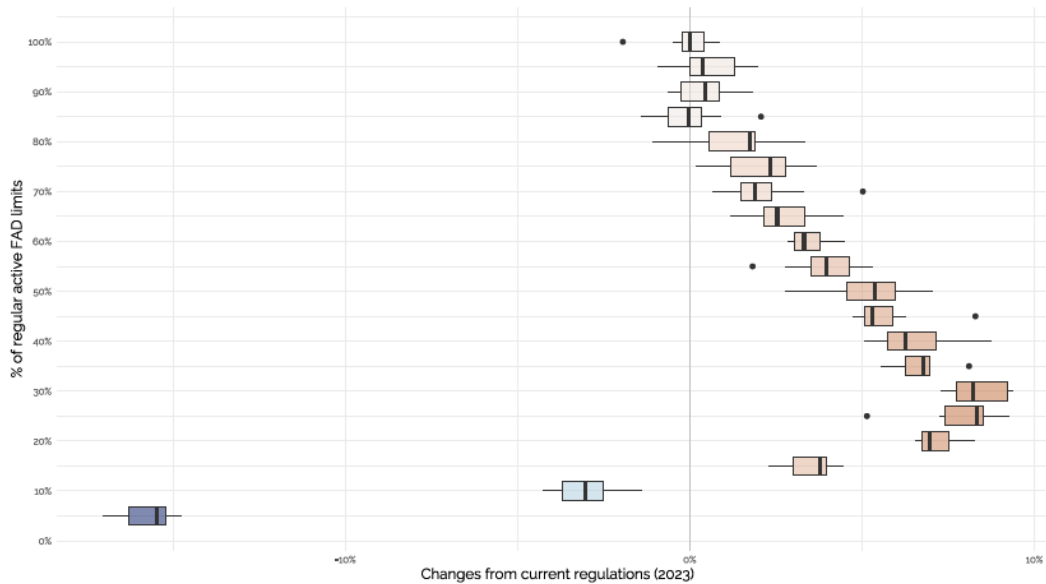


FIGURA S7. Impacto de la reducción incremental del límite de FAD activos para los buques de la Clase 6 (el eje y es la reducción mostrada como proporción del límite según la Resolución C-19-01) en los cambios medios de ingresos respecto a la normativa actual en 2023.

Spatial distribution of OFS and FAD sets (2023)

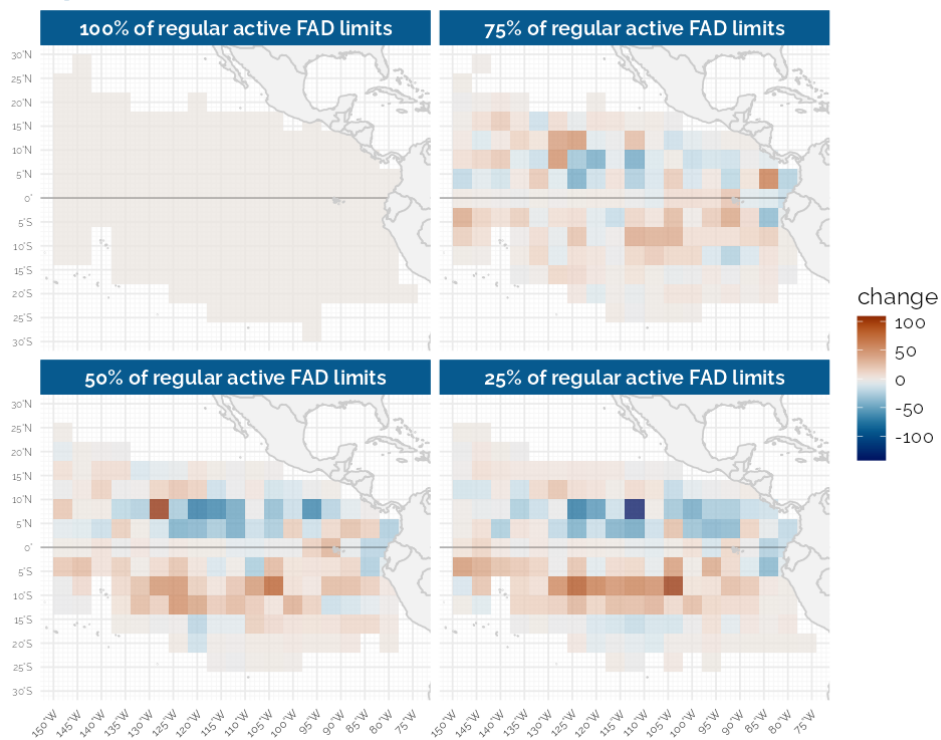


FIGURA S8. Cambio en la distribución espacial de los lances sobre FAD y OFS en comparación con la situación al 100% del límite actual de FAD cuando se reduce el límite activo de FAD al 100, 75, 50,25% del límite de FAD de 2023 para los buques de clase 6.

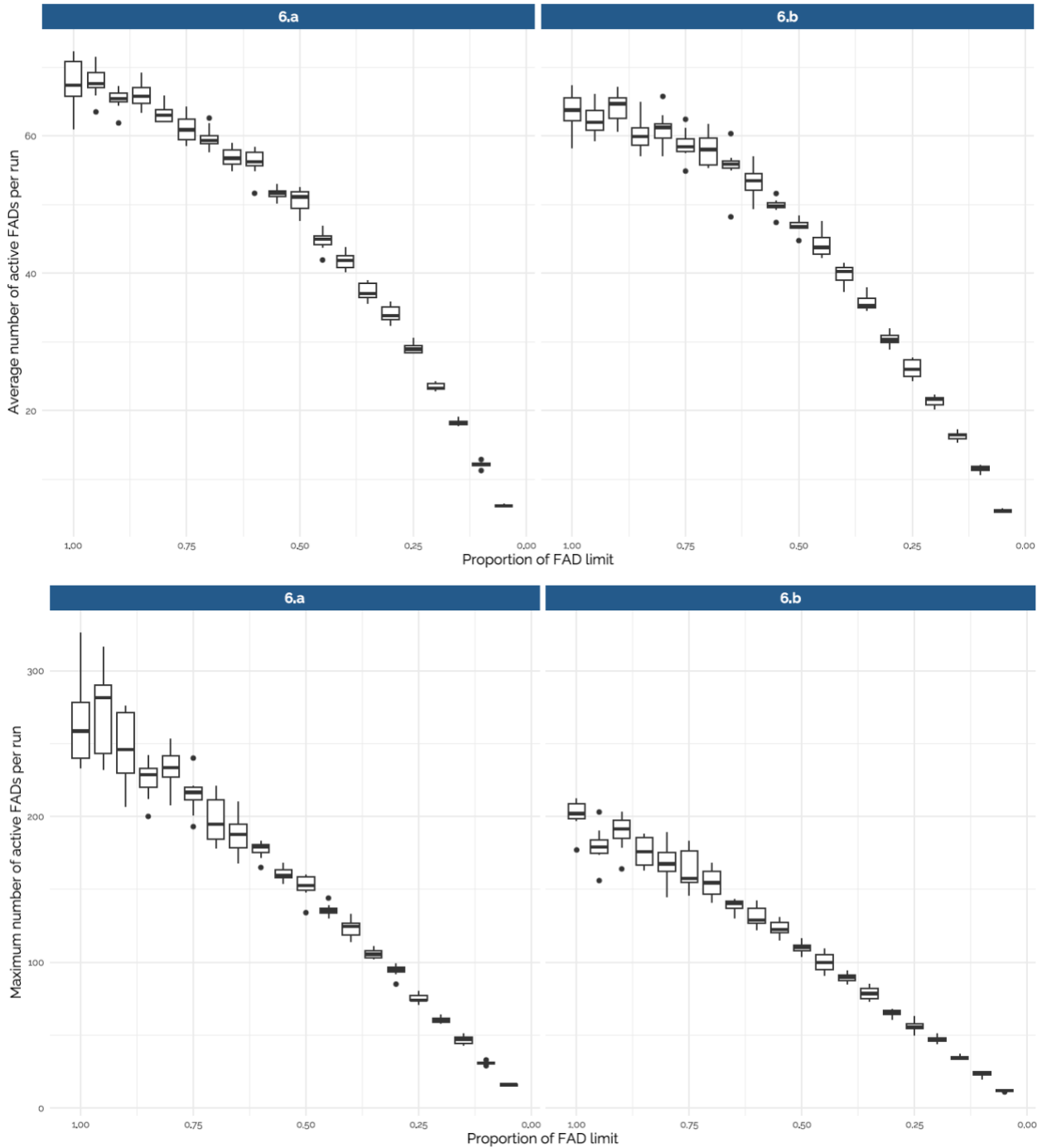


FIGURA S9. Impacto de la reducción incremental del límite de FAD activos para los buques de Clase 6a y Clase 6b (el eje x es la reducción mostrada como proporción del límite según la Resolución C-21-04) sobre el porcentaje del número medio (arriba) y máximo (abajo) de FAD activos obtenido del modelo POSEIDON, calculado para cada ejecución de simulación (n=8).

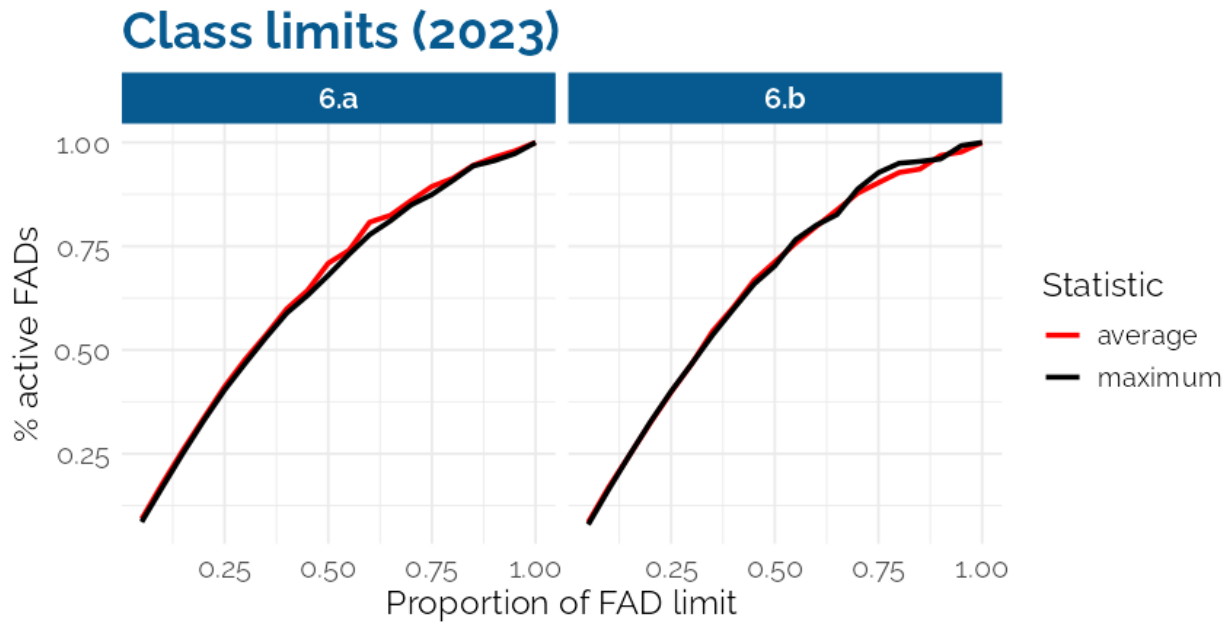
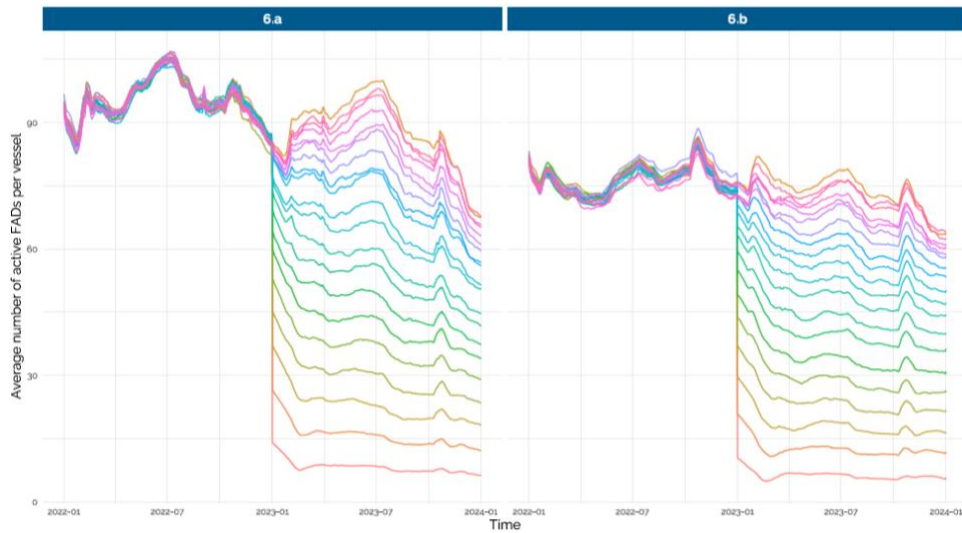


FIGURA S10. Impacto de la reducción incremental del límite de FAD activos para buques de Clase 6.a (izquierda) y Clase 6.b (derecha) (el eje x es la reducción mostrada como proporción del límite según la Resolución C-19-01) sobre el porcentaje del total de FAD activos emitidos por el modelo POSEIDON, calculado utilizando el número máximo (negro) y medio (rojo) de FAD activos por buque.



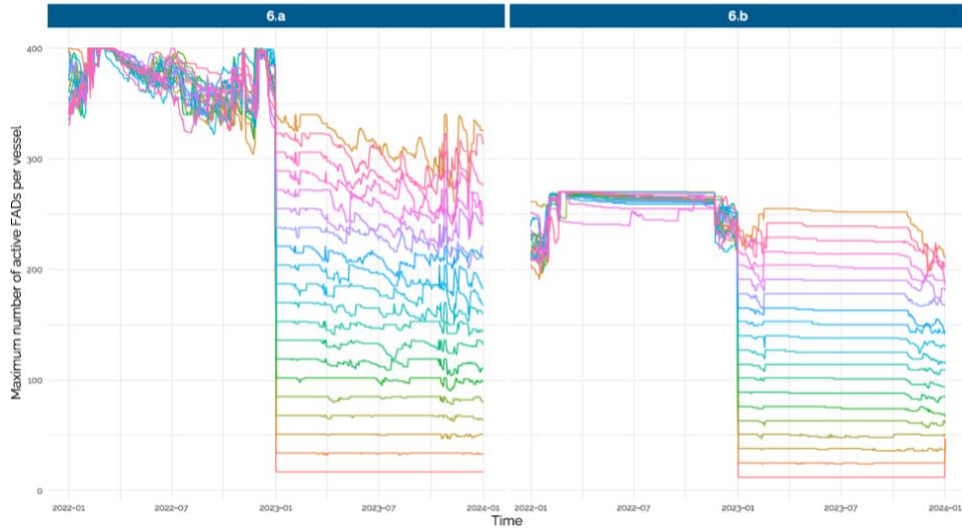


FIGURA S11. Número medio diario (arriba) y máximo (abajo) de FAD activos para los buques de Clase 6.a y Clase 6.b para cada reducción del límite de FAD en incrementos del 5%.

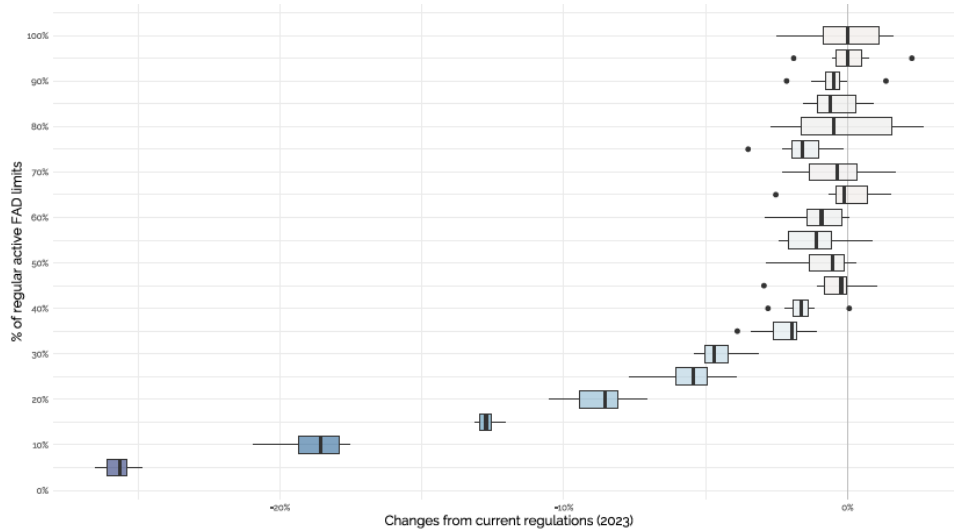


FIGURA S12. Tasa de cambio en el tiempo medio de inmersión del FAD para cada reducción del límite del FAD en incrementos del 5% en comparación con el tiempo medio de inmersión del FAD al 100% del límite actual del FAD en 2023.

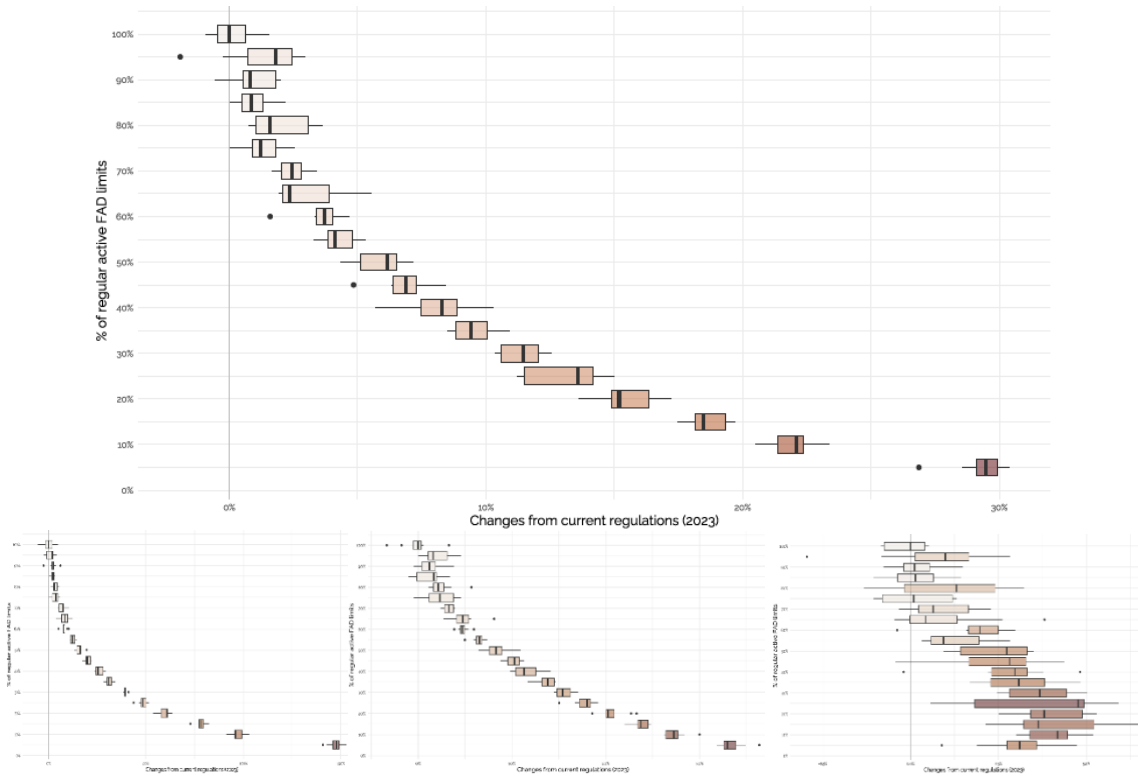


FIGURA S13. Tasa de cambio en las capturas medias por lances sobre FAD para todas las especies (arriba) y BET (abajo a la izquierda), YFT (abajo en el centro), SKJ (abajo a la derecha) para cada reducción del límite de FAD en incrementos del 5% en comparación con las capturas medias al 100% del límite actual de FAD en 2023.

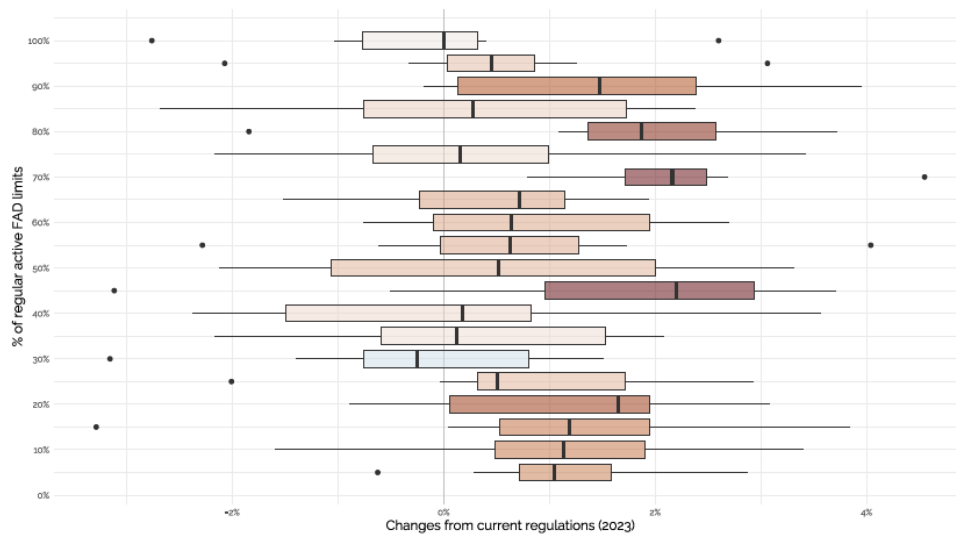


FIGURA S14. Tasa de cambio en las capturas medias por lances no asociados para cada reducción del límite de FAD en incrementos del 5% en comparación con las capturas medias al 100% del límite actual de FAD en 2023.

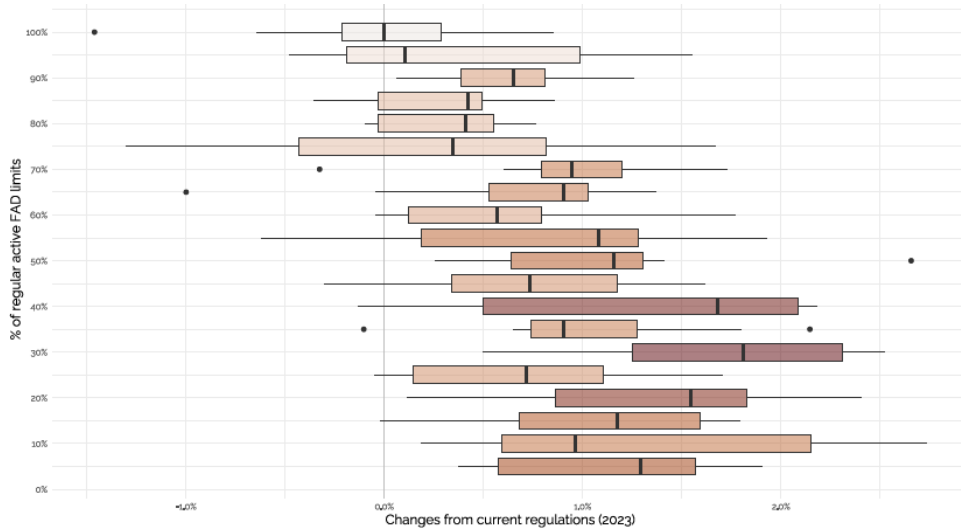


FIGURA S15. Tasa de cambio en las capturas medias por lances sobre delfines para cada reducción del límite de FAD en incrementos del 5% en comparación con las capturas medias al 100% del límite actual de FAD en 2023.

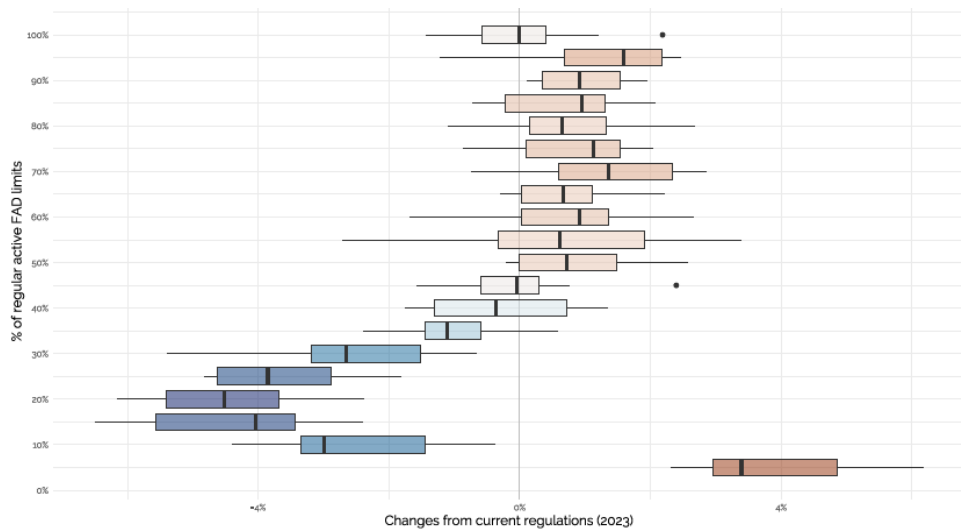


FIGURA S16. Tasa de cambio de la biomasa de patudo para cada reducción del límite de FAD en incrementos del 5% en comparación con la biomasa al 100% del límite actual de FAD en 2023.

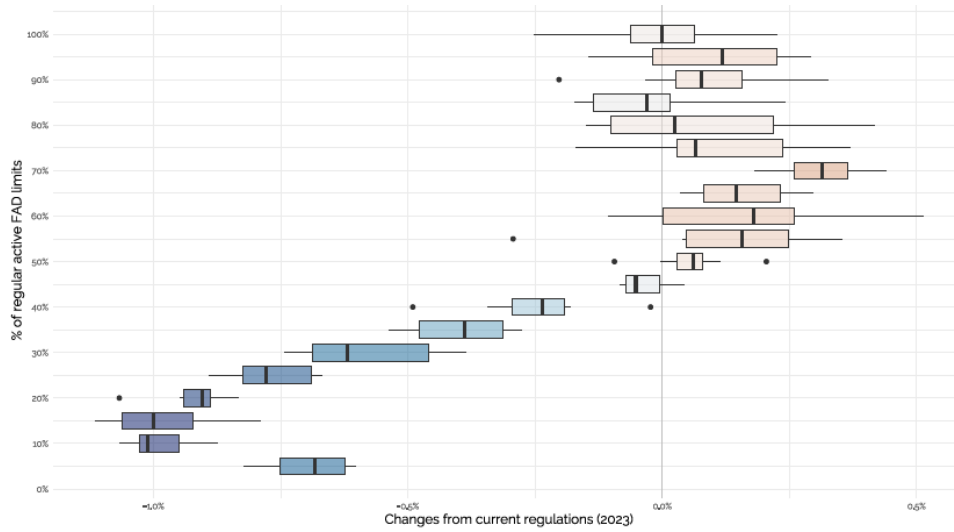


FIGURA S17. Tasa de cambio de la biomasa de atún barrilete para cada reducción del límite de FAD en incrementos del 5% en comparación con la biomasa al 100% del límite actual de FAD en 2023.

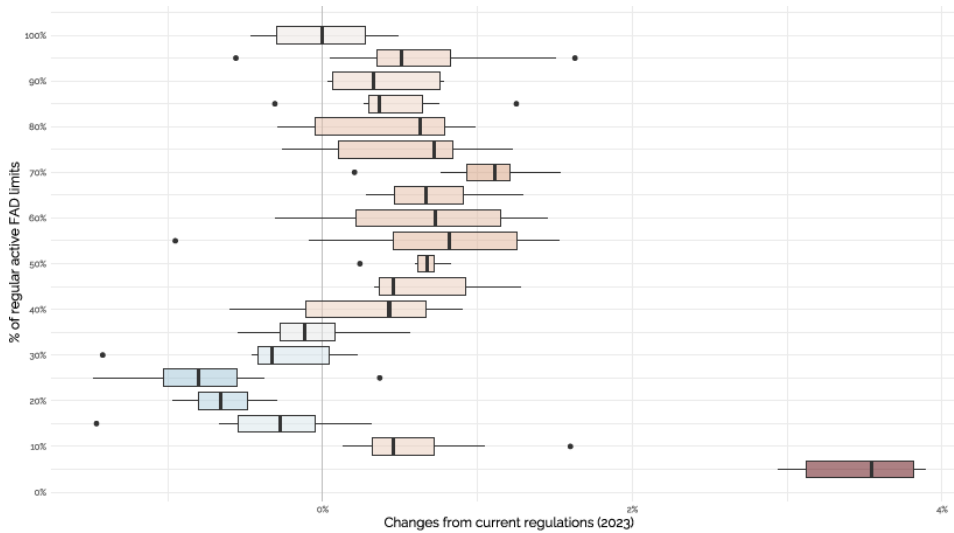


FIGURA S18. Tasa de cambio de la biomasa de aleta amarilla para cada reducción del límite de FAD en incrementos del 5% en comparación con la biomasa al 100% del límite actual de FAD en 2023.

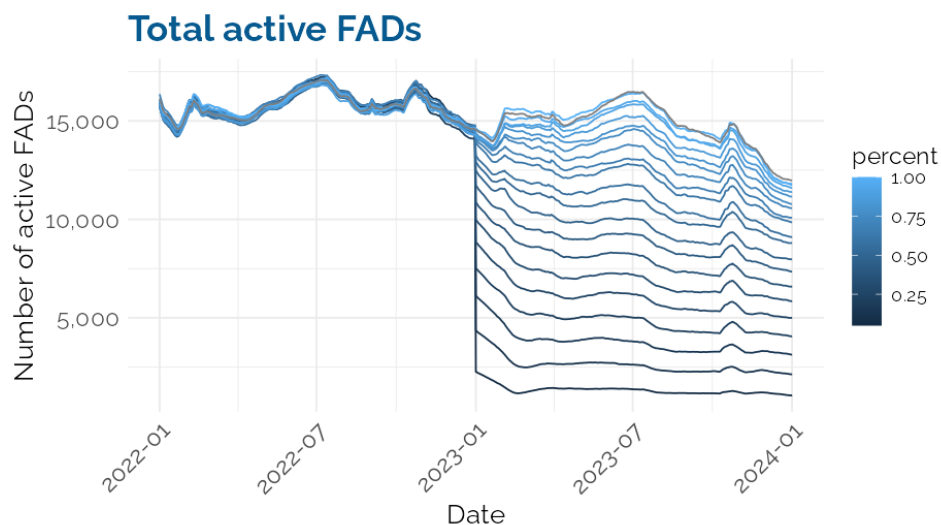


FIGURA S19. Serie temporal del número total de FAD activos para 2022 - 2023 según la reducción del límite de FAD en incrementos del 5% a partir del límite actual del 100% de FAD.

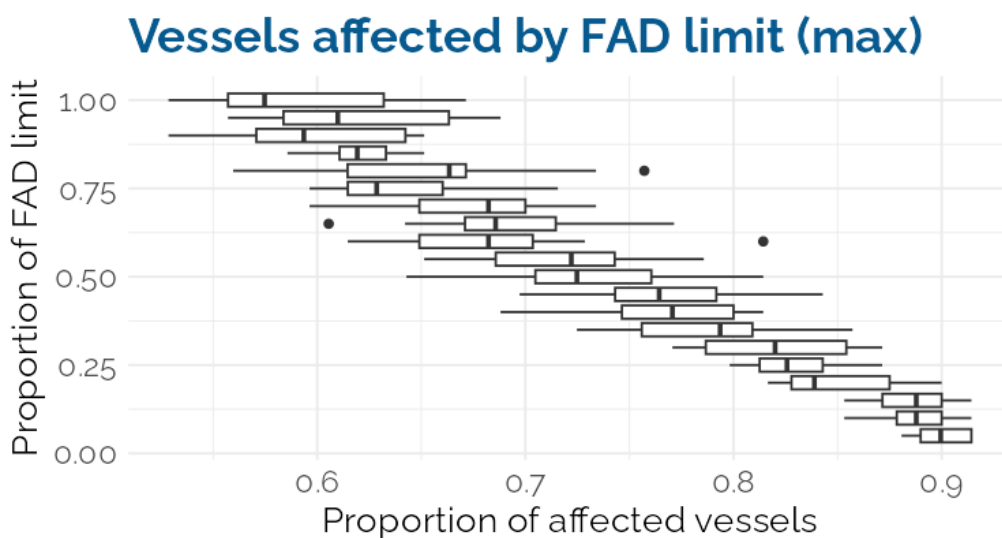


FIGURA S20. Número de buques afectados por la reducción del límite de FAD en incrementos del 5% a partir del límite actual del 100% de FAD. Un buque se ve afectado si el número máximo de FAD activos en 2023 con la regulación es diferente del valor de referencia de 2022 para ese buque.

Average biomass per FAD

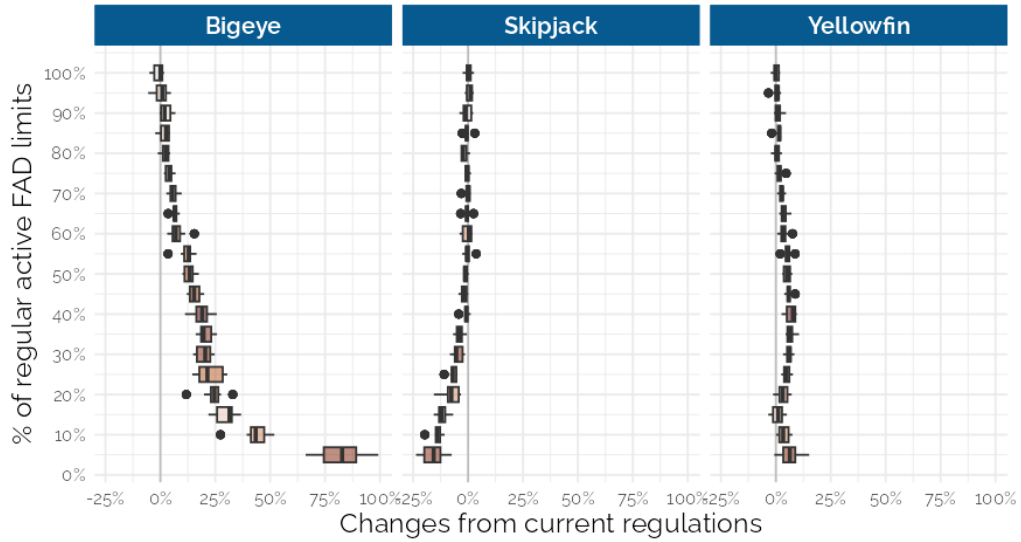


FIGURA S21. Tasa de cambio de la biomasa media por FAD para las tres especies para cada reducción del límite de FAD en incrementos del 5% en comparación con la biomasa media por FAD al 100% del límite de FAD actual en 2023.

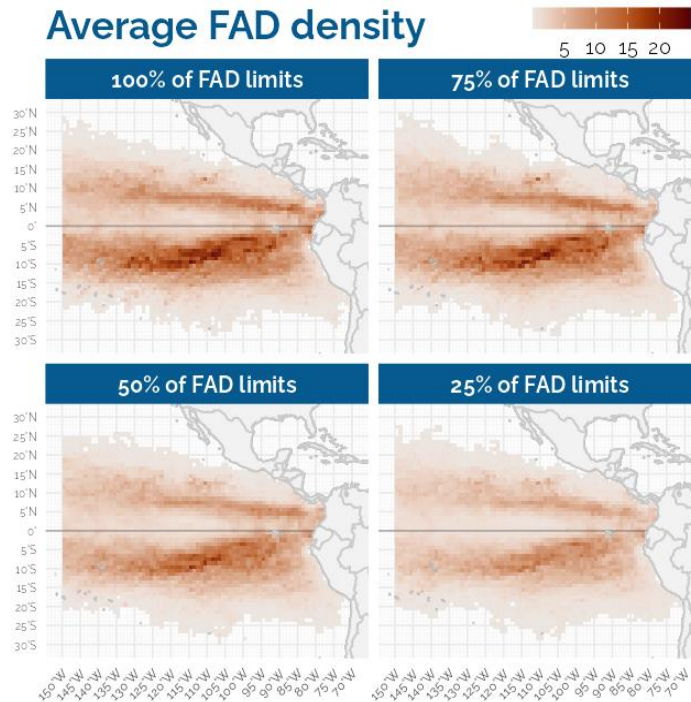


FIGURA S22. Distribución espacial de las densidades de FAD activos cuando se reduce el límite de FAD activos al 100, 75, 50, 25 por ciento del límite de FAD de 2023 para los buques de clase 6.

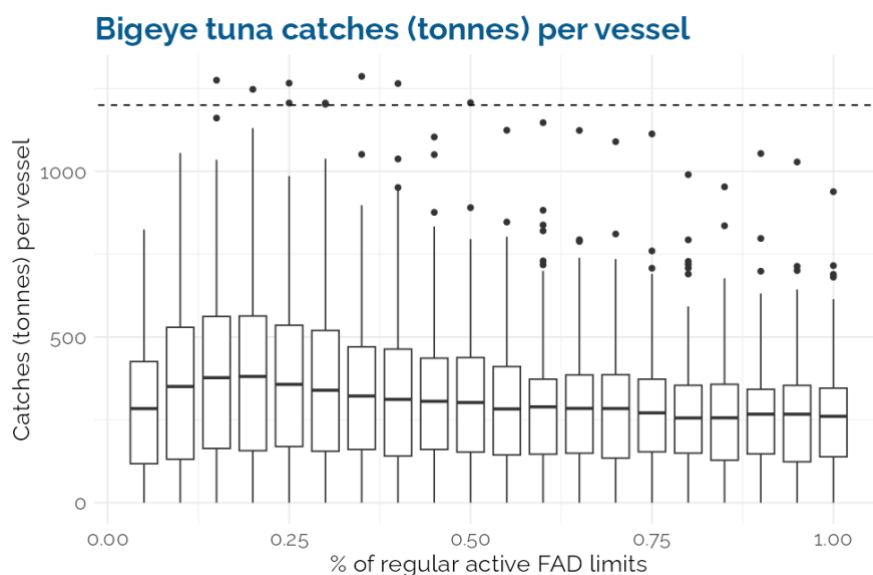


FIGURA S23. Capturas de patudo por buque al aplicar una reducción del límite de FAD en incrementos del 5% en comparación con el límite de FAD actual del 100% para 2023. La línea discontinua representa el límite de patudo por buque para 2023.

Tabla S1: Impacto potencial de la regulación del límite de FAD en la flota de clases 6a y 6b en 2023 en comparación con una situación de referencia de 2022 con el número máximo de FAD.

Límite	Clase A					Clase B				
	Número de FAD permitidos	Reducción media de FAD	Desviación típica	Número de buques afectados	% de buques afectados	Número de FAD permitidos	Reducción media de FAD	Desviación típica	Número de buques afectados	% de buques afectados
100%	340	-27	23	41	58%	255	-42	39	66	60%
95%	323	-26	23	43	62%	242	-45	42	67	62%
90%	306	-27	24	42	59%	230	-46	44	66	61%
85%	289	-29	23	43	61%	217	-49	47	69	63%
80%	272	-29	25	47	67%	204	-51	47	70	64%
75%	255	-31	25	45	64%	191	-55	50	70	65%
70%	238	-35	30	48	68%	179	-62	54	73	67%
65%	221	-36	32	49	70%	166	-65	61	74	68%
60%	204	-37	32	50	72%	153	-70	61	71	65%
55%	187	-41	33	51	73%	140	-73	65	77	71%
50%	170	-46	38	52	75%	128	-80	70	78	71%
45%	153	-49	40	56	80%	115	-88	75	81	74%

40%	136	-55	43	54	78%	102	-91	79	82	75%
35%	119	-60	46	56	80%	89	-98	85	84	77%
30%	102	-67	50	59	84%	77	-107	90	87	80%
25%	85	-74	50	59	84%	64	-116	95	88	81%
20%	68	-82	54	61	87%	51	-122	97	91	83%
15%	51	-91	58	63	90%	38	-131	101	95	88%
10%	34	-104	60	63	89%	26	-146	105	96	88%
5%	17	-111	62	64	91%	13	-157	105	97	89%

Tabla S2: Impacto potencial de la regulación del límite de FAD en la flota combinada de clase 6 en 2023 en comparación con una situación de referencia de 2022 con el número máximo de FAD.

Límite	Reducción media de FAD	Desviación típica	Número de buques afectados	% de buques afectados
100%	-36	35	106	59%
95%	-37	37	111	62%
90%	-39	38	108	60%
85%	-41	41	111	62%
80%	-42	41	117	65%
75%	-46	44	115	64%
70%	-51	48	121	67%
65%	-53	53	123	69%
60%	-56	54	121	68%
55%	-60	57	128	72%
50%	-66	62	130	73%
45%	-72	66	136	76%
40%	-77	69	137	76%
35%	-83	74	140	78%
30%	-91	79	146	81%
25%	-99	83	148	82%
20%	-106	85	152	85%
15%	-115	89	158	88%
10%	-130	92	159	89%
5%	-139	93	161	90%