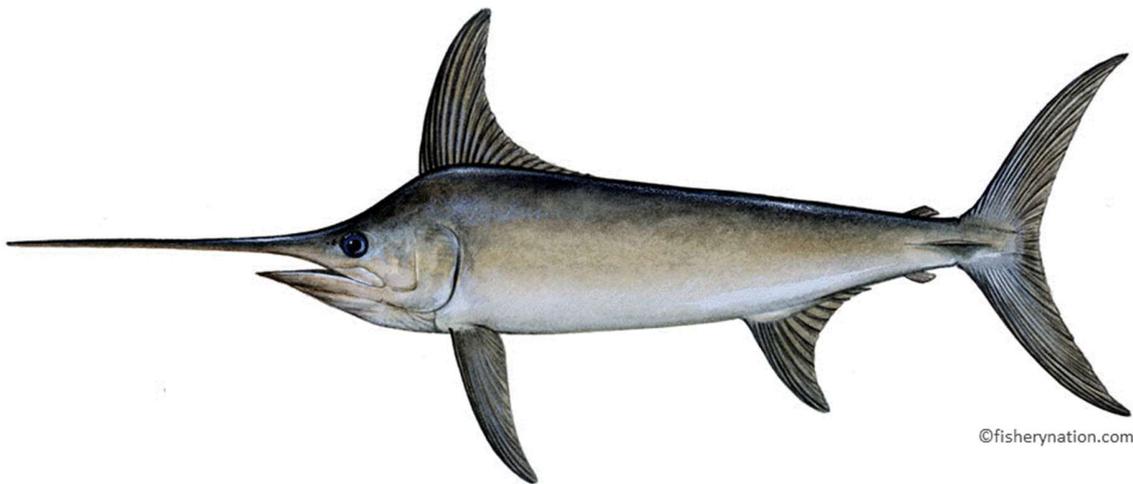


**Evaluación de la población de pez espada (*Xiphias gladius*) en el Océano Pacífico Oriental durante el periodo
1950 - 2020**

Reporte de Avances



Autores:

Juan Madrid Vera, Consultor Independiente

**Alejandro Balmori Ramírez, Instituto Nacional de Pesca y
Acuacultura**

Diciembre de 2022

Resumen

Los datos se analizan para obtener indicadores de puntos de referencia, como la capacidad de carga, el máximo rendimiento sostenible, la sobrepesca y en general el estatus de las poblaciones y recursos, en el contexto ambiental, económico e histórico. El promedio en el Océano Pacífico Oriental (OPO), de 1950 a 2020, con reportes de descargas de ocho países, es de 3,162.8 t con desviación estándar de 3,483.2; la mediana es de 2,030 t y los percentiles entre el 15 y el 85%, son de 115.5 a 7,708 t. La captura total de 1950 a 2020 es de unas 224,562.1 t. La captura máxima en el periodo mencionado en el OPO fue de 15,409.2 t en 2018. Estos datos pueden ser indicadores simples de puntos de referencia como la capacidad de carga. Para las capturas anuales respecto de la captura máxima, $c/c_{Max} \approx 1.0$, se alcanza en 2018 y de 2019 a 2020 está en sobrepesca. Las capturas dentro del OPO deducidas de las capturas en el contexto de lo sostenible, están alrededor de la tendencia central del 50% en 12,500 t, para las sumas de probabilidades y para los productos de las probabilidades en unas 13,500 t. Utilizando los modelos de producción excedente o de biomasa dinámica y por facilidad de ajustes para datos de captura y esfuerzo se consideró el periodo de 1979 a 2020, el promedio fue de 5,204 t, la desviación estándar es de 3,199, el intervalo de los percentiles de 15 al 85% van de 2,034 a 8,677 t. El valor en el percentil del 95% es de 9,988 t. Los mínimos y máximos van de 299 a 15,049 t. Una aproximación indica un máximo rendimiento sostenible entre 15,268 a 15,770 t. Las soluciones, están en la categoría del diagrama de Kobe, para la serie de tiempo de 1979 a 2020, en el 93% de los años, en la categoría con mortalidad por pesca por abajo del FMRS y la biomasa reproductora por arriba de la BMRS; en los últimos tres años de la serie, la pesquería ha pasado por colapso ($B < BMRS$) o sobrepesca ($F > FMRS$) y representan en la serie de tiempo menos del 5%, se necesitan reglas de control y cosecha para ser sostenible. Esta solución es coincidente si se consideran las capturas en los niveles de captura entre el 15 y el 85%. Por ahora se presenta una tabla que contiene los estatus en distintos enfoques.

Palabras claves: capturas, peso vivo, indicadores, capacidad de carga, indicadores máximo rendimiento sostenido, OPO

Introducción

La generación de puntos de referencia, para la pesquería de los peces espada, de *Xiphias gladius*, es una meta importante de este trabajo, se espera que ayude a generar herramientas para el manejo de este recurso, para que se sustente en políticas de aprovechamiento bajo enfoque precautorio y sostenible. El enfoque sostenible, para las pesquerías de estos picudos, debe considerar que el aprovechamiento económico y social, debe estar sustentado en el mejor conocimiento disponible, que permita establecer de entrada los indicadores, de estos los puntos de referencia, de ahí las reglas de control, seguido de los preacuerdos de las cosechas o de la magnitud de las capturas, los acuerdos para su manejo en el mediano y largo plazo considerando el estatus de los recursos utilizando como puntos de referencia por ejemplo; la captura máxima, la mortalidad por pesca que considera, valores de $F/FMRS$ mayores de 1, niveles de $B/BMRS$ cercanos de 1, al menos estas variables pueden ser herramientas para deducir el estatus, digamos de manera coloquial, el marco de referencia construido con el mejor conocimiento disponible. Además de la información de la historia natural, de la estructura y dinámica de las poblaciones, de la demografía, de los registros de su abundancia y de sus distribución.

En el presente estudio se consideran las descargadas reportadas de 8 países realizadas dentro del Océano Pacífico Oriental (OPO) Figura 1 tomadas de las estadísticas de la FAO (fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/en)

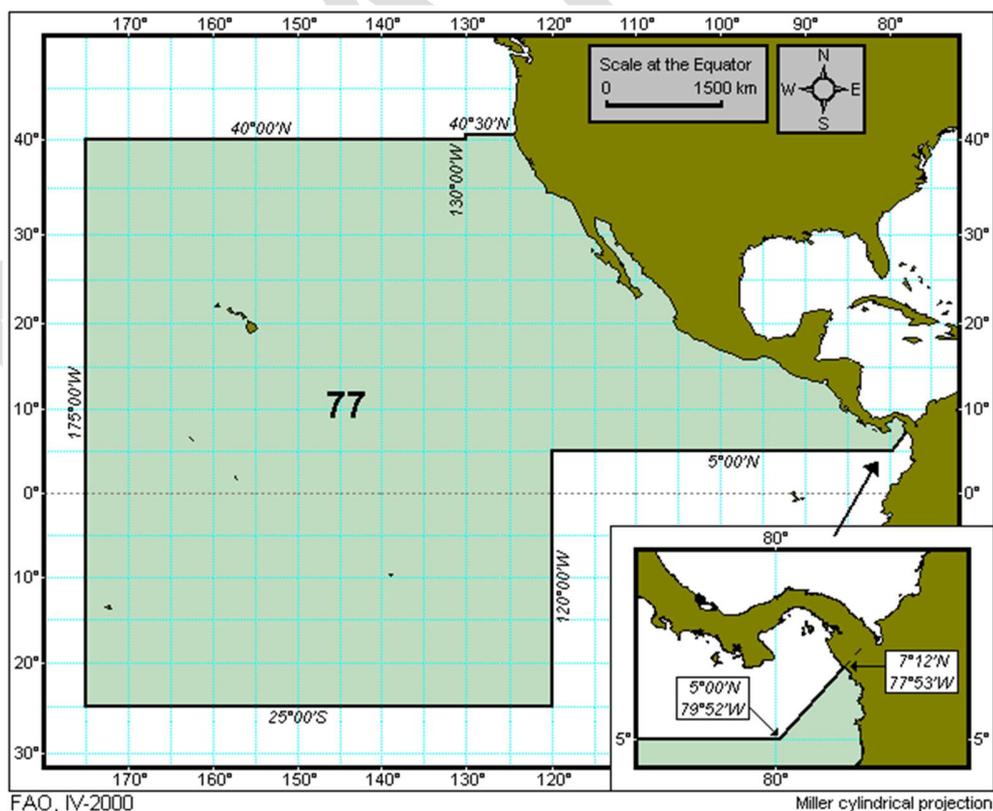


Figura 1. Zona de estudio que incluye a las mencionadas en el presente informe. Tomada de FAO. <https://www.fao.org/fishery/es/area/77>

Entre los problemas por entender en el aprovechamiento y el manejo de recursos vivos, de las poblaciones, están los de la dinámica poblacional, que por ejemplo presenta variaciones en la dispersión, en la varianza de las capturas, que están sujetas a procesos estocásticos, relacionado a las propiedades de las poblaciones, que se puede intuir por que las varianzas superan los promedios. Por definición existen dificultades para obtener información, que sea robusta, repetible, sin embargo, consideremos que las pesquerías funcionan con procesos de trabajo con operaciones, experiencia y la repetitividad, susceptible de generar indicadores adecuados, que permiten producir puntos de referencia.

En general consideradas las dificultades referenciadas en la larga historia de la biología de las poblaciones, de actividades como las pesquerías, se han considerado al menos cinco enfoques, tal como los de la estadística inferencial, evaluando si los datos de las capturas y las capturas por unidad de esfuerzo pueden ser explicados bajo alguna distribución de probabilidades, en este caso, que discutimos para los picudos, se ha explorado si los datos se ajustan a una distribución de tipo Normal (U, S, n) y esto puede permitir el uso de las tendencias centrales como el promedio y la mediana y las medidas de dispersión como la distribución estándar y los intervalos de confianza.

Así, se considera la distribución de los datos, en los intervalos de confianza en probabilidad porcentual, desde los de riesgo menores y $>15\%$ o 0.15 , en las dos colas de la distribución, así que sean >15 y menores e iguales de 85% . Además, se utilizan las proporciones cuya suma es 1 y estas densidades de las probabilidades, dado que suman 1 o 100 si se multiplica por 100, acumuladas, sea por las sumas o el producto.

Como se ha discutido también de manera extensa, se utilizan los valores de la capturas respecto de la captura máxima, c/c_{Max} , en el contexto de los intervalos críticos, tales como de 0 a <0.1 o 10% , de >0.1 a 0.5 y >0.5 , antes y después de que $c/c_{Max}=1$, en este caso se enfatiza el riesgo de ser <0.1 , cuando $c/c_{Max} = 1$ y si ha sucedido o después.

Además es de uso común en entre las organizaciones de pesca y agencias de manejo, el análisis de las capturas, utilizando los percentiles, los intervalos de 0 a >0.25 o 25% , de >0.25 a 0.5 , de >0.5 a <0.75 y los >0.75 , en este caso se resalta, el enfoque es del tipo de probabilidad porcentual.

Entre los análisis de pesquerías, se considera el intervalo o el percentil del 0.2 o 20% , suponiendo que está cercano pero distante del riesgo de estar por debajo del intervalo del 15% y que pudiera ser además comparable a solo permitir mortalidades del 20% , sugerido en muchos estudios, que f de mortalidad sea $f \leq 0.2$.

También se discute en este trabajo sobre el Pez Espada, considerar los datos como series de tiempos, utilizando sus rutinas básicas, como la que se presentan de tres fracciones con las tendencias centrales y las dispersiones, para evaluar las direcciones o tendencias del conjunto de datos de esta perspectiva.

Por otro lado, se consideran los modelos en ecuaciones diferenciales tales como los denominados de producción excedente, con el fin de resolver puntos de referencia en su sentido dinámico, tales como la biomasa reproductiva y la mortalidad asociadas máximo rendimiento sostenible. Se ha optado modelos que generen soluciones robustas o realistas en términos de soluciones que sean de utilidad práctica para las organizaciones de pescadores y no solo teórica, actualmente usados, así a partir del modelo lineal de Schaefer

(Graham, 1935; Schaefer, 1954), se han desarrollado modelos globales como el modelo exponencial (Garrod, 1969; Fox, 1970) y el modelo generalizado de producción (Pella y Tomlinson, 1969). Desarrollados para mejorar el ajuste de los datos observados, para condiciones de no equilibrio de la pesquería, desfases del tiempo de respuesta del stock (Schaefer, 1957; Gulland, 1969; Fox, 1975; Walter, 1973, 1975, 1986; Schnute, 1977; Fletcher, 1978; Rivard y Bledsoe 1978; Uhler, 1980). La variabilidad no asociada a la pesquería se considera como un ruido aleatorio, y algunos modelos estocásticos utilizan una variable aleatoria (Doubleday, 1976). Se han introducido variables climáticas en los modelos de producción (Nelson et al., 1977; Loucks y Sutcliffe, 1978; Parrish y Mac Call, 1978), se requieren de datos detallados sobre la historia natural, tal como lo requieren algunos modelos de simulación complejos (Laevastu y Larkins, 1981). En este caso avanzamos sobre un modelo basado en la mencionada propuesta de Haddon (2011).

En perspectiva que este conjunto de enfoques se espera que puedan generar escenarios de evaluación del estatus de las pesquerías de estos picudos, de los peces espada, para lo cual se presenta una matriz de decisiones, una tabla, una herramienta de escenarios de cuál es la situación del recurso o los recursos, en el sentido de las auditorías, como los utilizan algunas agencias internacionales, en el sentido del enfoque que ayude a la gobernanza, dado que permite a los involucrados en la toma de decisiones tener perspectivas actualizadas y de aquellas que son de uso estandarizado para el manejo de recursos basados en el conocimiento. Por ejemplo, para muchos son útiles y explicativas las tendencias centrales. El problema y los problemas por resolver son el de evaluar si el contexto de las poblaciones, de estos recursos aprovechables, está dentro de los escenarios de probabilidad sostenibles de mediano a largo plazo para su conservación y su aprovechamiento.

En general se espera generar escenarios de manejo, basados en indicadores de la abundancia que ayuden a producir puntos de referencia como herramientas heurísticas o de generación de hipótesis de conservación y de manejo.

Material

Los datos proceden información de las pesquerías mundiales de la [FAO \(2021\) \(fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/en\)](https://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/en), que se organizaron en una matriz de 10 columnas que incluye a los años, de reportes de ocho países con capturas y la suma total. Los años van desde 1950 a 2020, unos 71 años con reportes de las capturas, en toneladas de peso vivo.

La captura máxima en el periodo mencionado se consideracomo un indicador simple de la capacidad de carga k.

Métodos

Se consideran al menos cinco enfoques, los de la estadística inferencial considerando si la distribución de los datos de la serie mencionada, se ajusta algunos tipos de distribución, por ejemplo, se analizan utilizando las pruebas de normalidad tal como la de Kolmogorov-Smirnov. Se considera así los intervalos de confianza en probabilidad porcentual, en los intervalos de riesgo de >15 y menores e iguales de 85%. Se analiza evaluando los datos

respecto de los máximos como por ejemplo, cuando la captura sobre la captura máxima es uno, $c/ c_{Max} = 1$ y cuáles son los valores antes y después de este dato. Además, se consideran, los enfoques de las densidades de las probabilidades acumuladas, las sumas y el cálculo de las proporciones, así mismo el producto y el cálculo también de las proporciones, en estos casos mencionados se consideran los intervalos críticos. Se considera además los datos como en series de tiempos, utilizando sus rutinas básicas. Se consideran los modelos en ecuaciones diferenciales tales como los denominados de producción excedente.

Para los mencionados enfoques, se consideran sus salidas en gráficos del conjunto de los datos para una visión cualitativa de estos y del enfoque. Se utiliza las tendencias centrales como el promedio, la mediana y las medidas de dispersión tales como la desviación estándar y los percentiles. Se utilizan gráficos de dispersión y de pastel para analizar las contribuciones (Punt y Hilborn 1996, Polacheck 1988, Montgomery 1991, Hilborn y Walters 1992, Quinn y Deriso 1999, Lyman y Longnecker 2001, Quinn y Keough 2002, Froese 2004, Madrid-Vera et al., 2007, 2010, Hilborn y Stokes 2010, Haddon 2011, Kronlund et al., 2018, García et al., 2018, Qing-qiang y Liu 2020)

Se organiza los datos de las capturas de 1950 a 2020 del total en tres periodos, siguiendo las reglas de las series de tiempo y se evalúan los promedios, las medianas y las desviaciones estándar, por periodo de la serie, para evaluar los cambios en este indicador de las abundancias y si pueden ser significativos o no dados los órdenes de magnitud (Montgomery 1991, Ricker 1954, Restrepo et al., 1988, Rosenberg et al., 2014).

Los datos de las capturas anuales también fueron evaluados respecto de las capturas máximas, considerando las proporciones o dados los percentiles de probabilidad por arriba del riesgo de 0 a <0.25 , >0.25 y <0.5 , >0.5 y <0.75 y >0.75 porcentual o proporcional de las capturas.

Se considera como hipótesis *a priori* que la captura máxima o c_{Max} puede servir de indicador del estatus, evaluando las capturas antes y después de $c/ c_{Max} = 1$, antes de tal evento las pesquerías están en el inicio, si en tal periodo $c/ c_{Max} >0.5$ entonces sucede sobrepesca; después de $c/ c_{Max} = 1$, <0.1 es colapso, entre 0.1 y ≤ 0.5 es sobrepesca y >0.5 es sobre pescado y pescándose, en otros léxicos, es sobreexplotado. Además de que cuando c/c_{Max} es cercana de 0.5 puede servir de un indicador simple del máximo rendimiento sostenido y si $c/ c_{Max} >0.75$, o >0.85 , se puede considerar riesgo de sobre pesca (Hanski y Simberloff 1997, Hansky 1999, Caddy y Agnew 2004, Arkema et al., 2006, Sainsbury 2008, Worm et al., 2009).

Para tener una aproximación de los modelos de biomasa excedente se utilizó la propuesta de Haddon (2011) para el modelo de Scheffer modificado por Pella y Tolimnson (1969), en los que se consideran 4 parámetros, los conocidos de la tasa de crecimiento r , la capacidad de carga k , la biomasa disponible B_0 y un parámetro que utilizado para el ajuste, la parábola de ajuste al modelo, p . Tanto r como p están acotados, $r > 2$ genera soluciones no realistas al igual que $p > 3$; k como hemos mencionado puede tener indicadores en las capturas máximas y B_0 en las tendencias centrales. En general considerando el área bajo la parábola que puede asociarse, son las derivadas de la función. Así a partir del modelo lineal de Schaefer (Graham, 1935; Schaefer, 1954, 1957), se han desarrollado modelos globales como el modelo exponencial (Garrod, 1969; Fox, 1970) y el modelo generalizado de

producción (Pella y Tomlinson, 1969). Desarrollados para mejorar el ajuste de los datos observados, para condiciones de no equilibrio de la pesquería, desfases del tiempo de respuesta del stock (Schaefer, 1957; Gulland, 1969; Fox, 1975; Walter, 1973, 1975, 1986; Schnute, 1977; Fletcher, 1978; Rivard y Bledsoe 1978; Uhler, 1980). La variabilidad no asociada a la pesquería se considera ruido aleatorio; algunos modelos estocásticos utilizan una variable aleatoria (Doubleday, 1976). Se han introducido variables climáticas en los modelos de producción (Nelson et al., 1977; Loucks y Sutcliffe, 1978; Parrish y Mac Call, 1978), se requieren de datos detallados sobre la historia natural, tal como lo requieren algunos modelos de simulación complejos (Laevastu y Larkins, 1981). En este caso avanzamos sobre un modelo basado en la mencionada propuesta de Haddon (2011).

Consideramos el modelo $b_{t+1} = bo + bo \left(\frac{r}{p}\right) \left(1 - \left(\frac{bo}{k}\right)^p - C\right)$ (1). Los detalles del ajuste se pueden encontrar en Haddon (2011) o en un informe posterior. Los valores de F se refieren a la mortalidad por pesca y son semejantes a $r/2$; y $Bo/BMRS$ se calculan del ajuste de Bo o $bo/(k/2)$. $F/BMRS$ es $\ln\left(1 - \left(\frac{C}{\frac{Bo}{k/2}}\right)\right)$, Adonde C es la captura y los demás parámetros ya han sido comentados.

Resultados

Los datos proceden de una matriz de 10 columnas que se refieren a los años de los reportes de ocho países con capturas y la suma total. Los años van desde 1950 a 2020, unos 71 años con reportes de las capturas, en toneladas de peso vivo. La suma total de todas las capturas del periodo mencionado, asciende a unas 224,262 t, que sirven de un indicador del punto de referencia en el contexto ambiental, económico e histórico del recurso, de las capacidades de carga globales.

Las tendencias centrales de la captura, para el promedio en el OPO así denominaremos a los reportes de ocho países, es de 3,162.8 t con dispersión en desviación estándar de 3,483.2; la mediana es de 2,030 t y los percentiles entre el 15 y el 85% de entre 115.5 a 7,708 t.

Para facilitar los ajustes a los modelos de biomasa dinámica, se consideran los datos de captura de 1979 a 2020, el promedio de las capturas es de 5,204 t, la desviación estándar es de 3,199, el intervalo de los percentiles de 15 al 85% van de 2,034 a 8,677 t. El valor en el percentil del 95% es 9,988 t. Los mínimos y máximos van de 299 a 15,049 t. Los números están redondeados.

Las distribuciones de los datos pueden ser explicados por distribuciones de tipo normal, como se muestra utilizando la probabilidad normal estándar acumulada (F_0) calculada respecto de la probabilidad deducida del ordenamiento de los datos (F_n, F_{n-1}) (Figura 2). Para los datos reportados por la FAO (2021) a nivel y cuyo valor de la diferencia entre el valor teórico F_0 o valor de la distribución normal estándar menos el valor de la probabilidad datos por el orden de los datos, es de $d=0.18$ y $d \text{ KSD} < \text{Valores críticos}$, a $p>0.2$ y así los datos pueden ser explicados por una distribución normal.

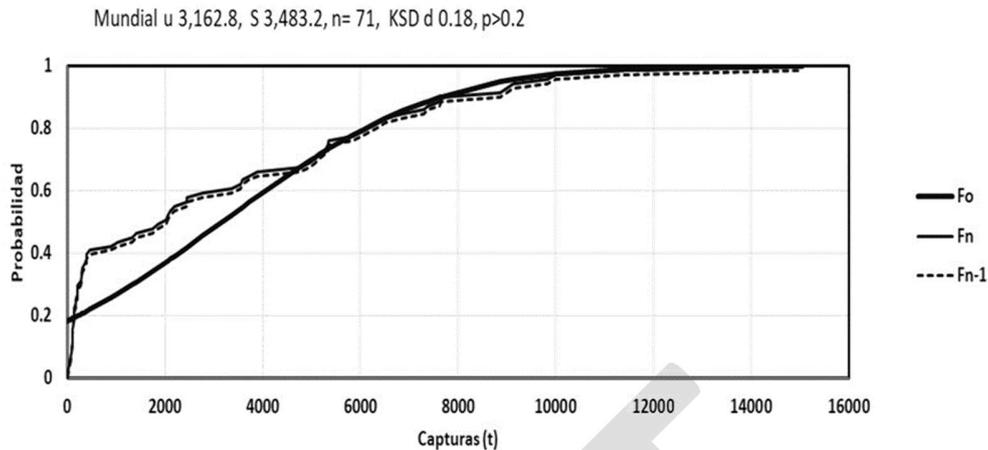


Figura 2. Prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov, utilizando la diferencia entre probabilidades esperadas y observadas. Las distribuciones de los datos pueden ser explicados por distribuciones de tipo normal, como se demuestra utilizando la probabilidad normal estándar acumulada (F_o) calculada respecto de la probabilidad deducida del ordenamiento de los datos (F_n , F_{n-1}). Para los datos reportados por la FAO (2021) a nivel OPO.

La captura máxima en el periodo mencionado en el OPO fue de 15,409.2 t en 2018. Estos pueden ser utilizados como hipótesis *a priori*, de manera bayesiana o como indicadores simples de la capacidad de carga k . Indicador solamente.

En la figura 3, se representan las capturas totales acumuladas desde 1950 a 2020, como se ha mencionado, esta asciende a 224,262 t, considerando como riesgo o nivel de incertidumbre o con dependencia aleatoria, el 16% representa niveles de pesca sostenida, >15% de probabilidad, como por ejemplo en China, México, Ecuador y EEUU, en las que son pesquerías establecidas.

Las capturas en peso vivo por año, se representan en la figura 4, los datos se han separado en periodos de 23, 25 y 23 años bajo las reglas del análisis de series de tiempo; de los datos internacionales con reporte en FAO (2021). En cada periodo de las series, se denota el periodo en años, el promedio (μ), la mediana (m) y la desviación estándar (S).

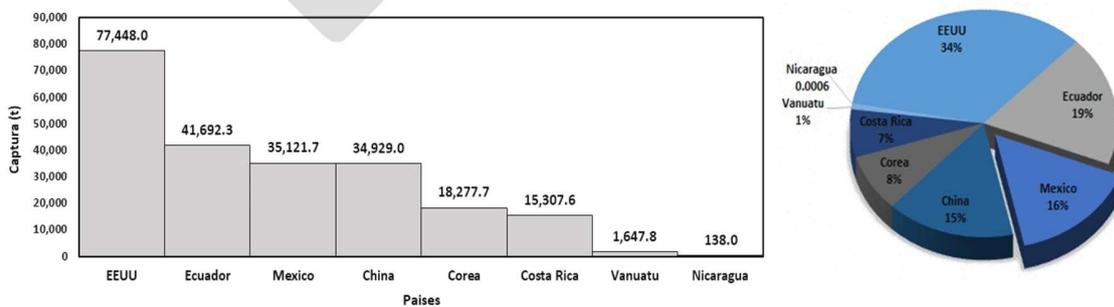


Figura 3.- Datos de las capturas internacionales realizadas dentro del OPO publicadas por la FAO (2021), de los países que reportan datos de capturas de pez espada (*Xiphias gladius*).

Evaluando el promedio a nivel OPO el cambio del primer periodo de 1950 a 1972 al segundo periodo de 1973 a 1998, es cercano de 20 órdenes de magnitud; para la mediana es de 17 veces y del segundo al tercer periodo de 1999 a 2020 en cerca de 2.4 órdenes de magnitud para el promedio, y para la mediana cerca de 2.9 órdenes de magnitud. En general de 17 a entre 20 veces, entre el primer y segundo periodo y de 2.4 a 2.9 veces del segundo al tercer periodo. Intuitivamente las razones o evaluaciones entre periodos son >2 y puede haber diferencias significativas.

Evaluando las desviaciones estándares ($S1/S2$), en general a nivel OPO esta cambio del primer al segundo periodo en 23 órdenes de magnitud, pueden existir diferencias significativas y entre el segundo y tercer periodo esta cambio en un orden de 1.2, las diferencias pueden no ser significativas, considerando como en la distribución f esta razón sea >2 .

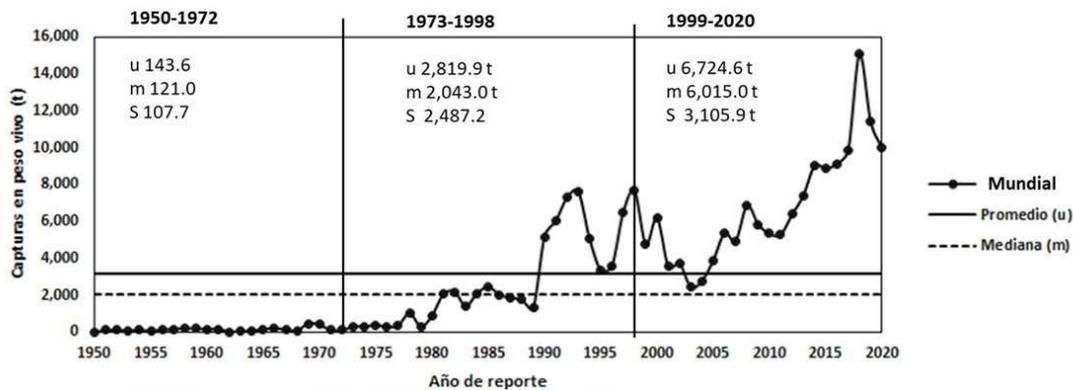


Figura 3.- Datos de las capturas de pez espada reportados por la FAO (2021). La serie de tiempo fue separada en tres periodos, se calculan y evalúan los promedios (u), las medianas (m) y las desviaciones estándares (S).

Evaluando con los percentiles de las capturas o indicadores de la abundancia, del periodo de 1950 a 2020, con tres estándares de capturas, en la literatura científica de 0 a 15, de >15 a <85 y $>85\%$ y denominados como inicio, pescándose; sobre pescado y pescándose y colapso (Restrepo 2018, Costello *et al.* 2014, 2016, García *et al.*, 2018). En el periodo de $>15\%$ y $<85\%$, están los valores de 45 a 55%, cercano del máximo rendimiento sostenible. El periodo de 0 a 15%, que en este análisis es de inicio, o comienzo de la pesquería y de también de riesgo, cuando ha pasado un periodo de al menos una generación, que en este caso es de casi 23 años. Si la captura sobrepasa al 85%, existe el riesgo de estar sobre pescado y pescándose. Si cae por debajo del 15% es colapso.

Desagregando, para los datos a nivel OPO, el periodo inicial va de 1950 hasta 1990, como primera hipótesis a priori (Figura 4 señalado con flecha), cerca de 40 años, el 56% del periodo de 71 años. El periodo siguiente es de aprovechamiento en su máximo rendimiento sostenible o pescándose, de 1991 hasta 2013, dentro de la franja verde, con máximos en 1992 y 1993 (Figura 4, Señalados con flecha); en general el número de años de tal periodo pueden haber sido de 20 años, el 28% de la pesquería (Figura 4, en el pastel de la parte

OPO). Desde 2014 a 2020, se entra en el periodo de sobrepesca y continuar pescándose, la pesquería podría ser meta estable ahí o en la mediana de tal periodo, de 2014 a 2020, unas 10 mil toneladas, con un intervalo de entre 8 a 15 mil t. Las capturas caen en los siguientes años, de 2019 y 2020, si después de estos años son menores al 85%, hay riesgo de estar en sobrepesca y pescándose, en el mejor de los casos. Tómese, como un punto de referencia de riesgo. La probabilidad de que la captura sea mayor de las 15 mil t, el máximo, considerando de la serie total, es baja. Si la captura sobrepasa al 85%, unas 7,078 existe el riesgo de permanecer en el estatus de sobre pescado y pescándose, cercano del colapso. Así a nivel OPO o de los países considerados en este estudio que reportan, bajo enfoque precautorio, se encuentran en la categoría de Sobrepesca y continuar pescándose (Restrepo 2018, García et al., 2018), desde hace 11 años, el 16% del periodo de 71 años. Sin embargo, es importante considerar que han estado en recuperación o pescándose en el 28% de la serie y en el 56% en periodo inicial, por lo cual las ventanas de recuperación son de alta probabilidad.

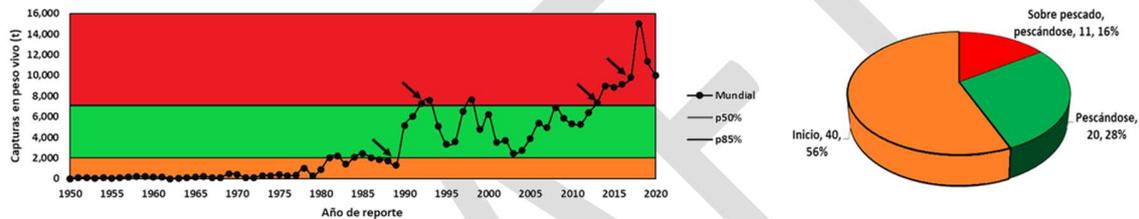


Figura 4.- Datos de las capturas de pez espada reportados por la FAO (2021), evaluados respecto del percentil de entre el 15 y el 85% de las capturas o del indicador de abundancia. En la gráfica de pastel, se indica el nombre la categoría, el número de años y el porcentaje del total.

Considerando el indicador de las relaciones de las capturas anuales respecto de la captura máxima, c/c_{Max} , para los datos de mundiales, antes de la captura máxima, cuando $c/c_{Max} = 1$ y después. El inicio va desde 1950 al 2018, se supera, desde 2018, cuando $c/c_{Max} = 1$. Antes de 2018, la pesquería se puede clasificar como en inicio o desarrollándose o desarrollada, en verde (Figura 5, parte a), contribuye con el 87% en números redondos, de los años de pesca; están en el intervalo de antes $c/c_{Max} < 0.5$ (Figura 5, parte b). Antes de $c/c_{Max} = 1$, en 1993, 1998 y de 2014 a 2017 son > 0.5 , bajo este criterio, están totalmente aprovechadas y contribuyen con el 8.4% en números redondos, en amarillo; después y desde $c/c_{Max} = 1$, continúa como totalmente aprovechada, y ascienden un poco más del 4%, en números redondos, en amarillo, totalmente aprovechada, en el léxico de aprovechamiento, pesquero o en sobrepesca en el léxico de explotación.

Los datos del año de reporte de 2018, la magnitud de captura reportada, pudiera no favorecer a la pesquería, por ahora la pesquería a nivel OPO pudiera estar en ascenso. Sin embargo, la probabilidad de superar las 15 mil t del máximo es baja. Si decae después de este periodo, entrara en sobrepesca y pescándose, en términos en el léxico de aprovechamiento. El promedio de tal periodo indica que las pesquerías tienden a maximizar sus ganancias y este podría ser un punto de referencia límite. Es importante mantener la pesquería con medidas que proponga el sector que la está aprovechando para esta tenga efectos a nivel OPO de ecosistemas.

Tómese, como un punto de referencia de riesgo, de estar sobre pescado, en semáforo amarillo, aunque el contexto del OPO, que puede favorecer a la pesquería, en aparente ascenso en los últimos 8 años. Generalizando si c/c Max, se evalúa como un indicador de mortalidad, es importante establecer medidas relacionadas al esfuerzo y la magnitud de captura.

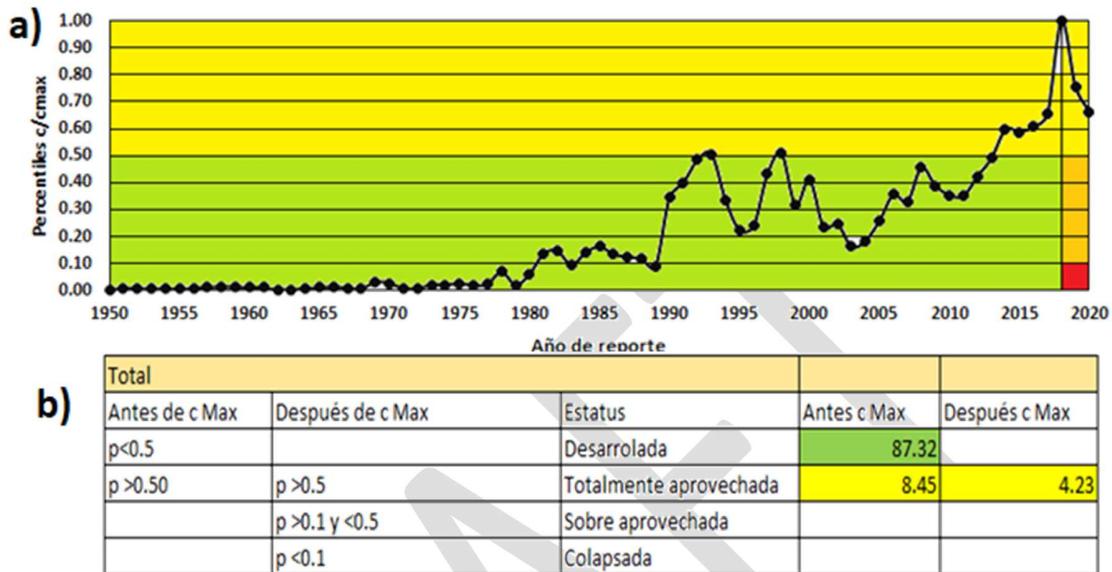


Figura 5.- Datos de las capturas de pez espada en el OPO, reportados por la FAO (2021) evaluados respecto del máximo de las capturas o del indicador de abundancia máximo, organizados en proporciones de c/c Max. En la tabla, se indica el periodo respecto c/c Max = 1, el estatus y el porcentaje del total. Se utilizan los términos de aprovechamiento.

Considerando que la distribución de frecuencias de los datos de capturas de la serie histórica o total, puede ser explicada por una distribución normal $n(u,s)$, considerando el teorema de Kolmogorov-Smirnov, se procedió a calcular las funciones de densidades de las frecuencias y de allí las probabilidades normales o densidades acumuladas y convertirlas a probabilidades estandarizadas, en el sentido de probabilidad, en sentido estricto, de probabilidad bayesiana, para propósitos de comparación. Su valor acumulado es el que resulte y de ahí deducir las proporciones de $\frac{p_i}{\sum p_i} = 1$, o en su forma porcentual. Probabilidades en sentido estricto. Las probabilidades posteriores, por ejemplo, pueden ser deducidas de las sumas o de los productos y así existe para cualquier $\frac{p_i}{\sum p_i} = y_i$ y existen las y_i por ejemplo total y para los datos de capturas por periodos. Así existe $Y = y_1 + y_2 + y_3 \dots y_n$. Además del $Y = y_1 * y_2 * y_3 \dots * y_n$ y sus formas $y_i / \sum y_i = 1$ y $p_{y_i} / P_{y_i} = 1$. P se refiere al producto.

En la figura 6, se representan las soluciones de las distribuciones normales de los datos de frecuencias de capturas totales respecto de sus promedios y desviaciones estándares, por escalas de representación se representan en dos ejes pero son parte del contexto; en a) las distribuciones en sentido inferencial o de uso común, de 1950 a 1972 ($n_{US50at72te0}$) o primer periodo, de 1973 a 1998 ($n_{US73a98te0}$) o segundo periodo y de 1999 a 2020 ($n_{US99a20te0}$) o tercer periodo, $te0$ es el intervalo de capturas de 0 al máximo observado, $te0$ es teórica o del modelo. En b) la suma acumulada es 1, en sentido bayesiano y de nuevo

corresponden al total por periodos de 1950 a 1972 (nUS50at72ta), 1973 a 1998 (nUS73a98ta) y de 1999 a 2020 (nUS99a20ta), ta se refiere al total acumulado. En c) lo mismo que en b) con los resultados de las probabilidades posteriores obtenidas del producto (pp p) y de la suma (pp suma). Con colores se enfatizan las intersecciones con 0.5 o 50 % de probabilidad o tendencia central. En las gráficas a), b) de la figura 6, las tendencias centrales del último periodo o más reciente, está alrededor de las 6 mil t. En la parte c) las tendencias para el periodo de 1950 a 2020, la total, es cercana de 4 mil t. La probabilidad posterior por la suma es cercana de las 10 mil t y la probabilidad posterior del producto de las probabilidades, digamos en la parte b) e integradas es cercana de las 11 mil t.

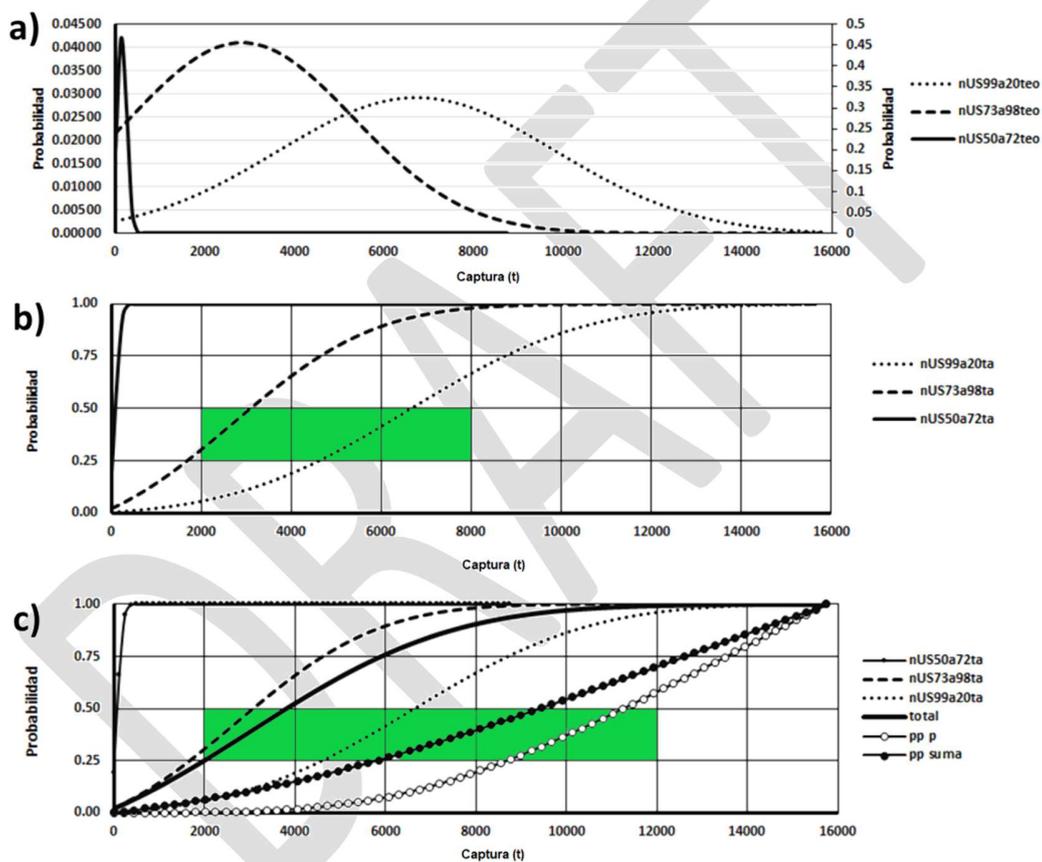


Figura 6.- Distribución de los datos de capturas totales normalizadas respecto de sus promedio y desviaciones estándares, en a) las distribuciones en sentido inferencial o de uso común, de 1950 a 1972 (nUS50at72teo) o primer periodo, 1973 a 1998 (nUS73a98teo) o segundo periodo y de 1999 a 2020 (nUS99a20teo) o tercer periodo; teo es el intervalo de capturas de 0 al máximo observado, del modelo. En b) la suma acumulada es 1, en sentido bayesiano y de nuevo corresponden al total por periodos de 1950 a 1972 (nUS50at72ta), 1973 a 1998 (nUS73a98ta) y de 1999 a 2020 (nUS99a20ta). En c) lo mismo que en b) con

los resultados de las probabilidades posteriores obtenidas del producto (pp p) y de la suma (pp suma). Con colores se enfatizan las intersecciones con 0.5 o 50 % de probabilidad o tendencia central.

Las probabilidades posteriores obtenidas del producto (pp p) y de la suma (pp suma), para los datos totales, obtenida de los datos de los tres periodos, de la serie de tiempo de 1950 a 2020, que fueron como se ha mencionado, de 1950 a 1972, de 1993 a 1998 y de 1999 a 2020, se representan en la figura 7. Se consideran los periodos mencionados de inicio de 0.25 o 25%, de estar pescándose de >0.25 a 0.5, de estar pescándose o >0.5 a 0.75 y de estar sobre pescado, o sobre aprovechado en términos de aprovechamiento o >0.75 o 75%, de estar sobre pescado y seguir pescándose, en términos de aprovechamiento, sobreexplotado en términos de explotación. En general las soluciones en la intersección de 0.5 o 50%, para la suma e integración de las sumas de las probabilidades de los tres periodos mencionados, es unas 9,450 t. Para los productos, el valor es cercano de 11,250 t. Ambas soluciones son precautorias y son indicadores cercanos al máximo rendimiento sostenible o estatus de estar pescándose, aprovechándose de manera sostenible. Los riesgos comienzan desde la probabilidad >0.55 o 55% como semáforo de la toma de medidas precautorias y se inicia la sobrepesca y su borde o límite podría ser hasta o <75%, cuando es >75% el estatus es de estar sobre pescado y seguir pescándose, sobreexplotado y se refiere a capturas mayores a 12,600 para la solución de las sumas y de 13,500 t para los productos.

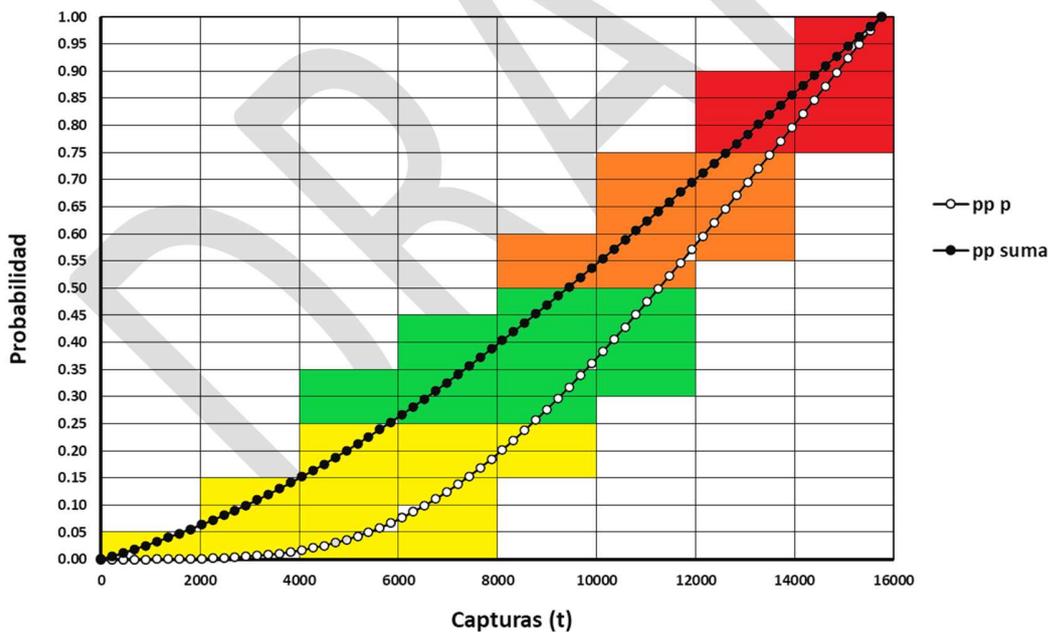


Figura 7.- Probabilidades posteriores obtenidas del producto (pp p) y de la suma (pp suma), obtenida de los datos totales, en tres periodos la serie de tiempo de 1950 a 2020, que fueron de 1950 a 1972, de 1993 a 1998 y de 1999 a 2020 y agrupados. Con colores se enfatizan las intersecciones con 0.5 o 50 % de probabilidad o tendencia central.

Para tener una aproximación de los modelos de biomasa excedente se utilizó la propuesta de Haddon (2011) para el modelo de Scheffer modificado por Pella y Tomlinson (1965), en los que se consideran 4 parámetros, los conocidos de la tasa de crecimiento r , la capacidad de carga k , la biomasa disponible B_0 y un parámetro que utilizado para el ajuste, la parábola de ajuste al modelo, p . Tanto r como p están acotados, $r > 2$ genera soluciones no realista al igual que $p > 3$, k como hemos mencionado puede tener indicadores en las capturas máximas y B_0 en las tendencias centrales. Por propósitos de facilidad de ajustes y de los niveles de dispersión, se utilizarán los datos de captura de 1979 a 2020 y esto es una consideración que el lector debe tomar con atención. Este periodo permite la comparación entre países.

Utilizando la propuesta de Pella y Tomlinson (1969), en Haddon (2011), en el que se propone además un algoritmo de simulación, que hemos utilizado, basada en un indicador aleatorizado de la CPUE para cada corrida. Cada CPUE observada, es comparada con la CPUE predicha, la razón es utilizada para producir la CPUE para el re muestreo, que es de nuevo utilizada para correr cada modelo. Veamos en la figura un ejercicio de la simulación, con algunos detalles del proceso de ajuste.

Las salidas de algunos procesos de ajuste se representan en la figura 8, para la mortalidad respecto de la mortalidad para alcanzar o asociada al máximo rendimientos sostenible como es $F/FMRS$ y la biomasa calculada respecto de la biomasa para alcanzar el máximo rendimiento sostenible o $B/BMRS$. En la parte superior, en a, se pueden observar valores de < 0 , $a > 0$ por año, estos últimos son los que pueden ser utilizados o considerados para el análisis. En la parte b, los valores mencionados como series, al igual para considerar aquellos > 0 ; en la parte c), los valores de ajuste utilizando el criterio de Akaike. En general cada corrida en este modelo es de al menos 100 veces, n veces, digamos al menos 20 corridas de estas hasta la convergencia de valores de > 0 en a y menores valores de Akaike.

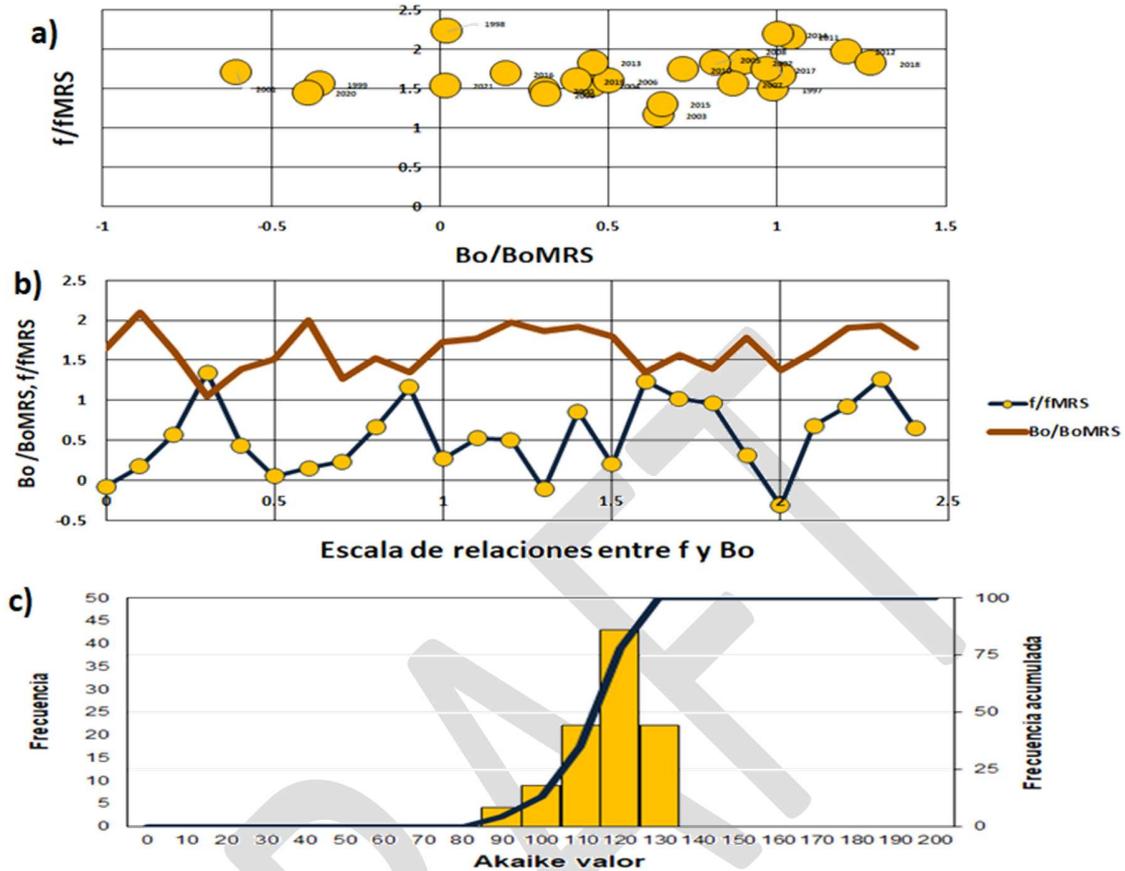


Figura 8. Salidas de los procesos de ajuste para las relaciones de $f/FMRS$ y $Bo/BoMRS$, en a), se pueden observar valores >0 por año, que pueden ser utilizados o considerados para el análisis. En la parte b), los valores mencionados como series, al igual para considerar aquellos >0 ; en la parte c), los valores de ajuste utilizando el criterio de Akaike. En general cada corrida en este modelo es de al menos 100 veces, n veces, digamos 20 corridas de estas hasta la convergencia de valores de >0 en a).

Las salidas de algunos de las relaciones entre $f/FMRS$ y $Bo/BoMRS$, después de los n procesos de ajuste se representan en la figura 9, para la mortalidad respecto de la mortalidad para alcanzar o asociada al máximo rendimiento sostenible para cada $f/FMRS$ y la biomasa calculada respecto de la biomasa para alcanzar el máximo rendimiento sostenible o cada salida de $Bo/BoMRS$. Comparando los valores de $f/FMRS$ y $Bo/BoMRS$. En la parte, superior, en a), se pueden observar que entre 0 y <1 de $FMRS$ y $B/BoMRS$, digamos entre 1 y 1, en amarillo, no hay registros o soluciones del modelo; en verde o entre <1 y >1 , es decir la mortalidad por pesca es ok y la biomasa reproductora es ok, tal como lo produce el modelo a partir de las predicciones de biomasa por año y biomasa total la población o poblaciones están o en esta solución estuvieron recuperándose. Existe la biomasa total y una definición de biomasa para alcanzar el máximo rendimiento sostenido (MRS) asociado a la biomasa reproductora, es la biomasa reproductora. En oro o amarillo oro, es decir entre >1 y >1 , la mortalidad por pesca es alta y la biomasa reproductora pudiera no ser alta, es por ejemplo <1.5 , en este caso ok, se está sobre pescado; en rojo o entre >1 y <1 , la

mortalidad por pesca es alta y la biomasa reproductora, la biomasa para alcanzar el MRS es baja, hay sobre pesca y está pescándose, pueden haber colapso, como podemos observar en 2019. En la parte b, hasta 2017, en general las pesquerías, estuvieron recuperándose, la mortalidad por pesca fue ok y la biomasa reproductora ok y representa en la serie de tiempo, considerado para la pesquería el 85% de este periodo, si siguen las reglas de control y cosecha podrá ser sostenible. En años recientes, en 2019, paso por un colapso y en el año previo de 2018 y el más recientes de 2020, estaba sobre pescado y siguió pescándose. En C) la captura, la mortalidad alcanzo a la BMRS y es lo que se observa como colapso, en rojo en 2019.

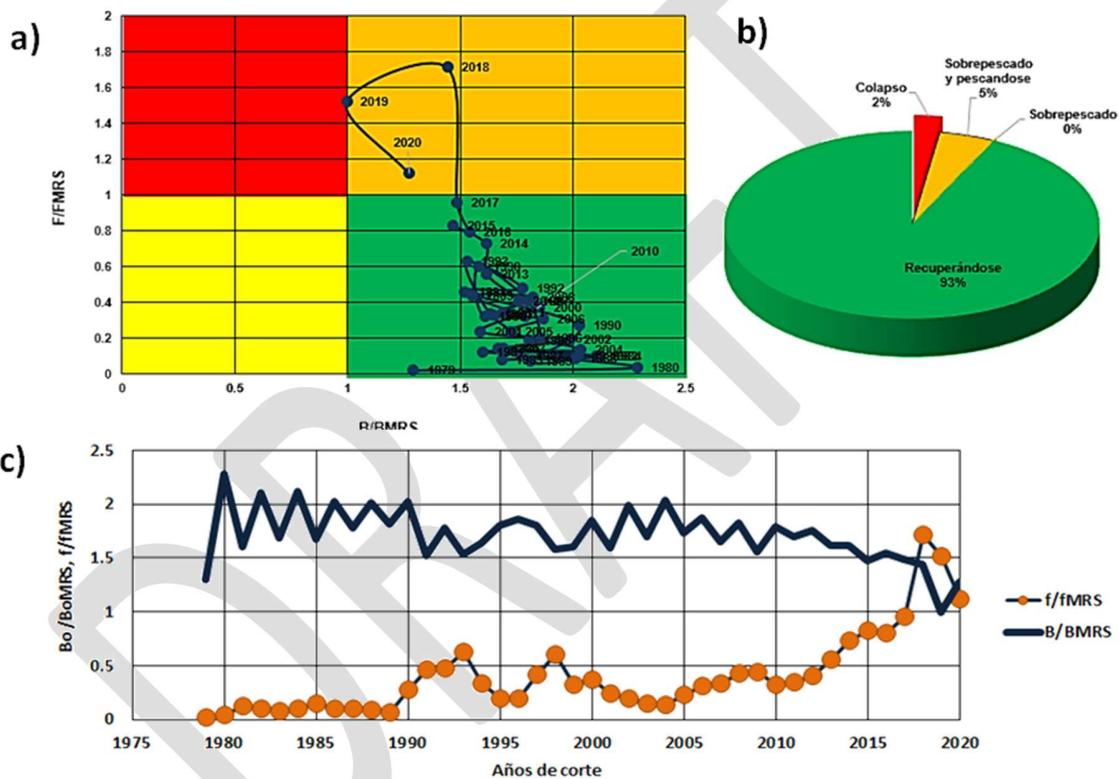


Figura 9. Indicadores de $F/FMRS$ y $B/BMRS$, después de la n -iteraciones de ajuste, ponderada por años. En la categoría, entre 1 y 1, en amarillo, no hay datos; en verde o entre <1 y >1 , la mortalidad por pesca es ok y la biomasa reproductora es ok, el estatus de la pesquería, indica que se estaba pescando, ha sucedido en el 93% de la serie de tiempo. En oro o amarillo oro, es decir entre >1 y >1 , la mortalidad por pesca es alta y la biomasa reproductora no es alta, esta sobre pescado y siguió pescándose, sobreexplotado y representa el 5%; en rojo o entre >1 y <1 , la mortalidad es alta y la biomasa reproductora baja, sucedió al menos un colapso, es el 2%. En la serie de tiempo ha estado pescándose y en los años reciente ha pasado cerca del colapso a estar sobre pescado y continuar pescándose, se necesitan reglas de control.

Considerando los indicadores calculados vamos a organizarlos en una tabla de salidas de utilidad gráfica y de comparación, de las diferentes salidas precautorias y sostenibles con base a los indicadores y puntos de referencia (Tabla 1). Así se consideran las capturas, las tendencias centrales y la dispersión de estas, para la serie de 1979 a 2020 y se consideran las probabilidades posteriores deducidas de las funciones de densidad, para la serie de 1950 a 2020. La C se refiere a la captura, u es el promedio, DE es la desviación estándar, pp es la probabilidad posterior, % se refiere a los percentiles. Entonces, para enfatizar y dar claridad se utilizan dos series de 1979 a 2020 (1) y de 1950 a 2020 (2). Los datos están redondeados. El máximo a comparar es el valor de la captura en el percentil del 95%, unas 9,998 t.

Tabla 1.- Datos de los puntos de referencia, deducidos de indicadores tales como las capturas, las tendencias centrales y la dispersión de estas, se consideran las probabilidades posteriores deducidas de las funciones de densidad. C es la captura, u es el promedio, DE es la desviación estándar, pp es la probabilidad posterior, % se refiere a los percentiles. Se utilizan dos series de tiempo para el total de 1979 a 2020 (1) y de 1950 a 2020 (2). Datos redondeados. La cota máxima para definir la biomasa remanente es el valor en el percentil del 95%, 9,998 t o el que se indique.

Indicador	Punto de referencia	Regla de control	Preacuerdo	Acuerdo. Cosecha.
Capturas (C), U, s.	Biomasa aprovechable, precautoria	$C \leq u$	La biomasa remanente es $\leq 50\%$, 4,783 t (1)	$C u \approx 5,204$ t
Capturas (C), U, s.	Biomasa remanente de riesgo	$C \leq u+DE$	La biomasa remanente es $\leq 33\%$, 1,585 t (1)	$C u+DE \approx 8,403$ t
Capturas (C), U, s.	Biomasa remanente precautoria	Si $C > U$ y $< IC$ 75%	La biomasa remanente es $\leq 25\%$, 4,489 t (1)	$C 75\% \approx 5,489$ t
Capturas (C), U, s.	Biomasa remanente de riesgo	Si $C > U$ y $< IC$ 85%	La biomasa remanente es $\leq 15\%$, 2,573 t (1)	$C 85\% \approx 7,425$ t
Capturas, esfuerzo, CPUE.	FMRS, BMRS Mortalidad y Biomasa al MRS	Si $FMRS < 1$ y $BMRS > 1$, Ok, ok.	$BMRS > 1.5$ (1)	$FMRS \approx 0.4$ $BMRS \approx 1.7$
Percentil 20% Probabilidad posterior, suma. U, s.	Biomasa remanente	Si $C \leq u$	La biomasa remanente es $\leq 20\%$ 4,531 t (2)	$C 20\% \approx 4,950$ t
Percentil 15% Probabilidad posterior, producto. U, s.	Biomasa remanente, riesgo alto.	Si $C \leq u$	La biomasa remanente es $\leq 15\%$, 2,056 t (2)	$C 15\% \approx 7,425$ t

Discusión

Entre los problemas por resolver y entender para el aprovechamiento de recursos renovables, como los peces espada, de sus poblaciones, están los de la dinámica poblacional, que están sujetas a procesos estocásticos, que se producen tanto de las propiedades de las poblaciones, como de las interacciones con otras poblaciones, de los efectos ambientales, además de las dificultades para obtener información robusta, repetible, sin embargo consideramos existe la suposición fundada de una ventana de oportunidad para el conocimiento, si consideramos que la información se obtiene de procesos como los de las pesquerías, de rutinas de trabajo que por su operación, experiencia y la repetitividad, son susceptible de generar indicadores adecuados, en series largas de tiempo y por tanto probable que permita producir puntos de referencia.

Una primera aproximación son los datos de las tendencias centrales y de las dispersiones de estos, cuyos ajustes a distribuciones de probabilidad que permiten utilizarlas como indicadores, es decir al promedio, la mediana, la desviación estándar y los percentiles de confianza. Son robustos los indicadores que se producen de las razones entre mínimos y máximos. Además, por ejemplo, ayudan a entender, los cambios en la serie de tiempo. Evaluando el promedio a nivel OPO de los cambios entre los periodos considerados de 1950 a 1972, de 1973 a 1998 y de 1999 a 2020, estos fueron en general de 17 a entre 20 veces, entre el primer y segundo periodo y de 2.4 a 2.9 veces del segundo al tercer periodo. Intuitivamente las razones o evaluaciones entre periodos son >2 y pueden haber diferencias significativas. Sin embargo las desviaciones estándares ($S1/S2$), en general a nivel OPO, estos cambiaron del primer al segundo periodo en 23 órdenes de magnitud, pueden existir diferencias significativas y entre el segundo y tercer periodo fue de 1.2, son menores de 2 y las diferencias pueden no ser significativas, considerando como en la distribución f esta razones sean >2 , indica que las pesquerías están establecidas.

Considerando los intervalos de confianza entre los percentiles del 15 al 85%, al nivel OPO o de los países que reportan, bajo enfoque precautorio, se encuentran en la categoría de sobrepesca y continuar pescándose, en los términos del aprovechamiento y sobre explotados en los términos de que solo es explotación (Restrepo 2018, García et al., 2018), desde hace 11 años, el 16% del periodo de 71 años. Sin embargo es importante considerar que han estado en recuperación o pescándose en el 28% de la serie y en el 56% en periodo inicial, por lo cual las ventanas de recuperación son de alta probabilidad y son necesarias medidas de control.

Considerando el indicador de las relaciones de las capturas anuales respecto de la captura máxima, cuando $c/c_{Max} = 1$, antes y después. El inicio va desde 1950 al 2018, se supera, desde 2018, cuando $c/c_{Max} = 1$. Antes de 2018, la pesquería se puede clasificar como en inicio o desarrollándose o desarrollada, en verde, contribuye con el 87% en números redondos, de los años de pesca; están en el intervalo de antes $c/c_{Max} < 0.5$. Antes de $c/c_{Max} = 1$, en 1993, 1998 y de 2014 a 2017 son >0.5 , bajo este criterio, estaban totalmente aprovechadas o explotadas y contribuyen con el 8% en números redondos, en amarillo; después de $c/c_{Max} = 1$, continúa como totalmente aprovechada, y del total de años ascienden un poco más del 4%, en números redondos, en amarillo, totalmente aprovechada o en sobrepesca.

Utilizando el criterio bayesiano de probabilidad en sentido, las soluciones en la intersección de 0.5 o 50%, para la suma e integración de las sumas de las probabilidades de los tres periodos mencionados, es unas 9,450 t. Para los productos, el valor es cercano de 11,250 t. Ambas soluciones son precautorias y son indicadores cercanos al máximo rendimiento sostenible o estatus de estar pescándose. Los riesgos comienzan desde la probabilidad >0.55 o 55% como semáforo de la toma de medidas precautorias y se inicia la sobrepesca y su borde o límite podría ser hasta o $<75\%$, cuando es $>75\%$ el estatus es de estar sobre pescado y seguir pescándose y se refiere a capturas mayores a 12,600 para la solución de las sumas y de 13,500 t para los productos.

Considerando los diagramas de Kobe, en la zona o categoría, en oro o amarillo oro, es decir entre >1 y >1 , la mortalidad por pesca es alta y la biomasa reproductora pudiera no ser alta, es por ejemplo <1.5 , en este caso consideremos que aún es ok, pero se está sobre pescado; en rojo o entre >1 y <1 , la mortalidad por pesca es alta y la biomasa reproductora, la biomasa para alcanzar el MRS es baja, hay sobre pesca y siguió pescándose, se sobreplotó y pudo haber colapso, como podemos observar en 2019. Hasta 2017, en general las pesquerías, estuvieron recuperándose, la mortalidad por pesca fue ok y la biomasa reproductora ok y representa en la serie de tiempo, considerado para la pesquería el 85% de este periodo la pesquería, si siguen las reglas de control y cosecha podrá ser sostenible. En años recientes, en 2019, paso por un colapso y en el año previo de 2018 y el más recientes de 2020, estaba sobre pescado y siguió pescándose. La captura, la mortalidad FMRS alcanzo a la BMRS y es lo que se observa como colapso, en rojo en 2019.

En perspectiva en el enfoque dado a este avance, se genera escenarios de evaluación del estatus, de cuál es la situación del recurso o los recursos, en el sentido de las auditorias de agencias internacionales, en el contexto de la gobernanza, permite a los involucrados en la toma de decisiones tener perspectivas actualizadas y de aquellas que son de uso para el manejo de recursos basados en el conocimiento. Por ejemplo son útiles y explicativas las tendencias centrales. Los problemas a resolver son que el recurso, estén dentro de los escenarios de probabilidad de mediano a largo plazo para su conservación y su aprovechamiento.

En general se generan escenarios de manejo, basados en indicadores de la abundancia que ayudan a producir puntos de referencia como herramientas heurísticas o de generación de hipótesis, se reitera de conservación y de manejo.

Conclusiones

Considerando los indicadores calculados, una prueba para distribuciones de probabilidad indica que los datos reportados de 1950 a 2020, a nivel mundial pueden ser explicados por una distribución Normal, es decir el promedio, la mediana, las desviaciones estándares y los percentiles son robustos. En general el promedio mundial es de 3,162 t. Para facilitar los ajustes a los modelos de biomasa dinámica, se consideran los datos de captura de 1979 a 2020, el promedio de las capturas es de 5,204 t, la desviación estándar es de 3,199, el intervalo de los percentiles de 15 al 85% van de 2,034 a 8,677 t. El valor en el percentil del 95% es 9,988 t. Los mínimos y máximos van de 299 a 15,049 t. Los números están redondeados.

En la serie mundial de capturas de pez espada, en tres periodos que van de 1950 a 1972, de 1973 a 1998 y de 1999 a 2020, los promedios van de 144, 2,820 y 6,725 t, los cambios son significativos del orden de magnitud >2 entre el último periodo y el más y reciente.

Evaluando las capturas en los percentiles de 0 a 15, >15 a 50 y $>85\%$ a nivel OPO indica que están por arriba del intervalo más alto en años recientes. El de 85%. En general a nivel mundial hay capturas altas y puede haber sobrepesca y colapsos en los últimos años.

Evaluando las capturas respecto de las capturas máximas (c/c Max), en los percentiles de 0 a 0.1, >0.1 a 0.50 y >0.50 antes y después del máximo de captura, cuando c/c Max=1, a nivel mundial indica que están por arriba c/c Max >0.5 , desde 2013 hasta años recientes, es probable que el estatus sea de sobrepesca, totalmente explotada o totalmente aprovechada; continua en tal estatus de sobrepesca. En amarillo.

Las probabilidades posteriores por la suma de probabilidades de las tres categorías de las series de tiempo 1950 a 1972, de 1973 a 1998 y de 1999 a 2020 indican valores crecientes en los promedios a nivel mundial. El indicador de las probabilidades posteriores por sumas en la intersección al 20% o f de mortalidad al 20%, puede también un indicador de cosecha y regla de control.

El análisis de los modelos de producción excedente utilizando modelos del tipo Pella-Tomlinson (1965) produce máximos rendimientos sostenibles bajo enfoque precautorio de este modelo, de entre 10,748 a 11,303 t y un esfuerzo para alcanzarlo entre bajo enfoque clásico y precautorio entre 63,105 y 116,209 lances, en la serie de 1979 a 2020. El estatus, en los años recientes, es que se encuentra en sobre pesca, en la categoría de FMRS alta y BMRS baja. Una evaluación, *sensu stricto*, indican que el promedio de la serie de 1979 a 2020 de 5,204 t, puede ser precautorio y es concordante con los diversos enfoques incluidos, los deducidos por las probabilidades posteriores y las soluciones al diagrama de Kobe.

Referencias

Arkema, K. K., Abramson, S. C., Dewsbury, M. B. 2006. Marine ecosystem-based management: from characterization to implementation. *Front. Ecol. Environ*, 4, 10: 525–532.

Caddy, J.F., Agnew, D.J. 2004. An overview of recent global experience with recovery plans for depleted marine resources and suggested guidelines for recovery planning. *Review in Fish Biology and Fisheries*, 14: 43-112.

Doubleday, W.G. 1976. Environmental fluctuations and fisheries management. *ICNAF Selected Papers*, 1: 141-150.

Fletcher, R.I. 1978. On the restructuring of the Pella Tomlinson system. *Fish. Bull.*, 76 (3): 515- 521.

Froese, R. 2004. Keep it simple: three indicators to deal with overfishing. *Fish and Fisheries* 5, 86–91

Fox, W.W. 1970. An exponential surplus-yield model for optimizing exploited fish populations. *Trans. Am. Fish. Soc.* 99 (1): 80-88.

Garcia, S.M., Ye Y., Rice, J., Charles, A., eds. 2018. Rebuilding of marine fisheries. Part 1: Global review. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 630/1. Rome, FAO. 294 pp.

Garrod, D.J. 1969. Empirical assessments of catch effort relationship in the North Atlantic cod stocks. Res. Bull. ICNAF, 6: 26-34.

Graham, M. 1935. Modern theory of exploiting a fishery and application to North Sea trawling. J. Cons. Explor. Mer, 10: 264-274.

Gulland, J.A. 1969. Manual of methods for fish stock assessment. Part 1: Fish population analysis. FAO Man. Fish. Sci., 4: 154 pp.

Haddon, M. 2011. Modelling and quantitative methods in fisheries. Chapman & Hall/CRC USA, 406 p.

Hanski, I. 1999. Metapopulation ecology. Oxford University Press, New York, USA.

Hanski, I., Simberloff, D. 1997. The metapopulation approach, its history, conceptual domain, and application to conservation. En Metapopulation biology: ecology, genetics, and evolution (eds. Hanski, I., Gilpin, M.), pp. 5-26, Academic Press, San Diego, USA.

Hilborn, R., Stokes K. 2010. Defining overfished stocks: have we lost the plot? Fisheries 35(3): 113-120.

Hilborn, R., Walters C.J. 1992. Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics and uncertainty. Chapman and Hall, New York. 570 pp.

Kronlund, A.R. Forrest, R.E., Cleary, J.S., Grinnell, M.H. 2018. The Selection and Role of Limit Reference Points for Pacific Herring (*Clupea pallasii*) in British Columbia, Canada. Canadian Science Advisory Secretariat (CSAS) Research Document 2018/009, Affiliation: Fisheries and Oceans Canada.

Laevastu, T. y H.A. Larkins. 1981. Marine fisheries ecosystems, its simulation and management. Fishing News Book Ltd, Farnham, Surrey, England: 162 pp.

Loucks, R.H. y W.H. Sutcliffe. 1978. A simple fish population model including environmental influence, for two western Atlantic shelf stocks. J. Fish. Res. Board Can., 35 (3): 279-285.

Ludwig, D. y C.J. WALTERS. 1985. Are age

Lyman, O.R., Longnecker, M. 2001. An introduction to statistical methods and data analysis. Duxbury Press, 1231 pp.

Madrid-Vera, J., Amezcua, F., Morales-Bojorquez, E. 2007. An assessment approach to estimate biomass of fish communities from bycatch data in a tropical shrimp-trawl fishery. Fisheries Research 83 (2007) 81–89.

Madrid-Vera J., Girbau, V. E., Aguirre-Villaseñor, H. 2010. Assessment of the temporal changes in the fauna of the trawl catch from the mouth of Rio Baluarte in the southeastern Gulf of California, Mexico. Marine Ecology Progress Series.

Montgomery, C. D. 1991. Design and analysis of experiments. John Wiley and Sons, Eighth Edition, 757 pp.

Nelson, W.R., M.C. Ingham y W.E. Shaff. 1977. Larval transport and year-class strength of atlantic menhaden, *Brevoortia tyrannus*. Fish Bull. (U.S.), 75 (1): 23-41.

Parrish, R.H. and A. Mac Call. 1978. Climatic variation and exploitation in the pacific mackerel fishery. Fish. Bull., 167: 110 pp.

Pella, J.J. y P.K. Tomlinson. 1969. A generalized stock production model. IATTC Bull., 13 (3): 419-496.

Polacheck, T. 1988. Analysis of the relationship between the distribution of searching effort, tuna catches and dolphin sightings with individual purse seine cruises. Fish. Bull. 86(3): 351-366.

Punt, A. E., Hilborn R. 1996. Biomass dynamic models. User's Manual. FAO Computerized Information Series (Fisheries). No. 10. Roma. 62 pp.

Qing-qiang, R., Liu M. 2020. Assessing Northwest Pacific Fishery Stocks Using Two New Methods: The Monte Carlo Catch-MSY (CMSY) and the Bayesian Schaefer Model (BSM). Front. Mar. Sci., 07 July 2020 | <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00430>

Quinn, J.T., Deriso, B.R. 1999. Quantitative fish dynamics. Oxford University Press, 542 p.

Quinn, G. Keough M. 2002. Experimental Design and Data Analysis for Biologists Cambridge University Press 557 pp.

Restrepo, V.R., Thompson, G.G., Mace, P.M., Gabriel, W.L., Low, L.L., MacCall, A.D., Methot R.D., Powers, J.E., Taylor, B.L., Wade, P.R., Witzig, J.F. 1998. Technical guidance on the use of precautionary approaches to implementing national standard 1 of the Magnuson Stevens Fishery Conservation and Management Act. NOAA Tech. Memo NMFS-F/SPO-31.

Ricker, W.E. 1954. Stock and recruitment. J. Fish. Res. Bd. Can. 11(5): 559-623.

Rivard, D. y L.J. Bledso. 1978. Parameter estimation for the Pella-Tomlinson stock production model under non equilibrium conditions. Fish. Bull. U.S., 76 (3): 523-534.

Rosenberg, A.A., Fogarty, M.J., Cooper, A.B., Dickey-Collas, M., Fulton, E.A., Gutiérrez, N.L., Hyde, K.J.W., et al. 2014. Developing new approaches to global stock status assessment and fishery production potential of the seas. FAO Fisheries and Aquaculture Circular, 1086: 175 p.

Sainsbury, K. 2008. Best Practice Reference Points for Australian Fisheries. Australian Fisheries Management Authority Report R2001/0999

Schaefer, M.B. 1954. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the commercial marine fisheries. Bull. IATTC, 1 (2): 27-56.

Schaefer, M.B. 1957. A study of the dynamics of the fishery for yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific ocean. Bull. IATTC, 1 (2): 245- 285.

Schnute, J. 1977. Improved estimates from Schaefer production model: theoretical considerations. *J. Fish. Res. Board Can.*, 34: 583-603.

Uhler, R.S. 1980. Least squares regression estimates of the Schaefer production model: some Monte Carlo simulation results. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37: 1284-1292.

Walter, G.G. 1973. Delay differential equation models for fisheries. *J. Fish. Res. Board Can.*, 30: 939-945.

Walter, G.G. 1975. Nonequilibrium regulation of fisheries. *ICNAF Res. Doc.*, 75/IX/131.

Walter, G.G. 1986. A robust approach to equilibrium yield curves. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 43: 1232-

Worm, B., Hilborn, R., Baum, J.K., Branch, T.A., Collie, J.S., Costello, C., Fogarty, M.J., et al. 2009. Rebuilding global fisheries. *Science*, 325(5940): 578-585. doi:10.1126/science.1173146. <http://www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/325/5940/578>

DRAFT