

Análisis multicriterio de estratos de veda para reducir la captura incidental en lances sobre objetos flotantes de la flota atunera mexicana

Multicriteria analysis of log-set strata closures to reduce the mexican tuna fishery incidental catch

Juan Guillermo Vaca-Rodríguez^{1,2*}
Roberto Ramón Enríquez-Andrade¹

¹Facultad de Ciencias Marinas
Universidad Autónoma de Baja California
Carretera Tijuana-Ensenada km. 103
Ensenada, Baja California, México

²Programa Nacional de Aprovechamiento del Atún y
de Protección de Delfines
Carretera Tijuana-Ensenada km. 107, Campus CICESE
Ensenada, Baja California, México
*E-mail: juangvaca@uabc.mx

Recibido en agosto de 2001; aceptado en abril de 2002

Resumen

Se utilizó la técnica multicriterio de análisis de concordancia como una herramienta para la toma de decisiones. Para ejemplificar el uso de esta herramienta se evaluaron cinco opciones de veda para disminuir la captura incidental del dorado, *Coryphaena spp.*, en lances sobre objetos flotantes de la pesquería mexicana de atún en el Pacífico oriental. Las opciones constituyen combinaciones de estratos espacio-temporales sujetos a veda, y fueron evaluadas con base en cuatro criterios ecológico-biológicos y técnico-económicos. Se generó un conjunto de soluciones mediante 286 posibles representaciones paramétricas del vector de ponderación debido a la dificultad de contar con las preferencias reales de los encargados de la toma de decisiones. La opción con la mayor probabilidad de ser elegida (casi 0.6) fue aquella que veda tres grandes áreas alejadas de la costa a lo largo del año para los lances sobre objetos flotantes. Esta opción reduciría en poco más del 85% la captura incidental de dorado, y en cerca de 92% la de otras especies. Sin embargo, ésta es la opción que presenta el mayor costo en términos del ingreso bruto perdido y deja solamente ocho estratos abiertos a la pesca con ese tipo de lance.

Palabras clave: multicriterio, vedas, captura incidental, atún.

Abstract

Concordance analysis, a multicriteria technique, was used as a decision-making tool. To exemplify the use of this tool, five closure options were evaluated to decrease incidental catch of mahi-mahi or dolphin-fish, *Coryphaena spp.*, by the Mexican eastern Pacific tuna fishery using log-sets. The options consist of combinations of spatial and temporal strata subject to closures, and were evaluated using four eco-biologic and techno-economic criteria. A set of solutions was generated using 286 parametric representations of the weights-vector due to the difficulty of knowing the real preferences of decision-makers. The option with the highest probability of being chosen (almost 0.6) closes three large areas throughout the year for log-sets. This option would reduce mahi-mahi incidental catch in just over 85%, and almost 92% that of other species. However, this option represents the highest cost in terms of lost gross revenues and leaves only eight strata open for the log-set fishery.

Key words: multicriteria, closures, incidental catch, tuna.

Introducción

La pesquería del atún en el Océano Pacífico oriental (OPO) ha sido objeto del interés mundial debido al éxito logrado en la disminución de la mortalidad incidental de mamíferos marinos (Hall, 1998). Esta disminución de la mortalidad incidental se logró principalmente mediante acuerdos y negociaciones internacionales e intersectoriales entre los diferentes intereses

Introduction

The eastern Pacific Ocean (EPO) tuna fishery has drawn worldwide attention due to the success in reducing marine mammal incidental mortality (Hall, 1998). Incidental mortality reduction was achieved mainly through international and intersectorial negotiations and agreements among the different stakeholders involved in the fishery. However, the U.S.

involucrados en la pesquería. Sin embargo, la política “dolphin-safe” de los Estados Unidos de América, que pretende desincentivar los lances sobre mamíferos marinos, ha propiciado el incremento en la cantidad de lances sobre objetos flotantes y, consecuentemente, en los niveles de captura incidental de muchas otras especies por la flota internacional.

La captura incidental es la proporción de la captura bruta que se recoge no intencionalmente junto con las especies a las que va dirigido primariamente el esfuerzo pesquero (Caddy y Griffiths, 1996). Se ha estimado que, en promedio, alrededor de 27 millones de toneladas métricas (tm) se descartan al año mundialmente, con un intervalo que oscila entre los 17.9 y los 39.5 millones de tm (Alverson *et al.*, 1994), y gran parte de esta cantidad es captura incidental. Debido a esto, el Código de Conducta para la Pesca Responsable de FAO (1995) señala específicamente la urgencia de establecer medidas de reducción de la captura incidental y los descartes. Con excepción de los lances sobre objetos flotantes, la pesquería de túnidos con red de cerco en el OPO se encuentra catalogada dentro de las 10 pesquerías con menor número de organismos descartados por número de organismos desembarcados (Alverson *et al.*, 1994).

Los niveles de captura incidental y descartes de la pesquería internacional del atún aleta amarilla, AAA (*Thunnus albacares*), con redes de cerco en el OPO ya han sido descritos (Hall, 1996; Hall, 1998; Anónimo, 2000). Aunque la mortalidad de delfines se ha reducido a niveles considerados como no significativos, existe ahora cierta preocupación con respecto a la captura incidental de otras especies, incluyendo tiburones, picudos, dorados y muchas otras (Hall, 1998; Anónimo, 2000). De los tres tipos de lances con red de cerco utilizados en el OPO, sobre delfines, sobre brisas y sobre objetos flotantes, es sobre estos últimos en los que se presenta mayor captura incidental (Hall, 1998; Anónimo, 2000).

Para reducir la captura incidental en esta pesquería, actualmente se manejan diferentes propuestas tales como, entre otras, (1) requerir que los pescadores retengan a bordo a todos los atunes capturados para desincentivar la captura de ciertas especies o tallas; (2) liberar de manera obligatoria, lo antes posible e ilesos, a organismos de ciertas especies; (3) modificar el arte de pesca o utilizar equipos adicionales; (4) implementar límites al esfuerzo de pesca; y (5) implementar vedas espaciales y/o temporales (Dr. Michel J. Dreyfus León, Director del Programa Nacional de Aprovechamiento del Atún y de Protección de Delfines-México, com. pers.). La retención a bordo de las embarcaciones, de todos los atunes capturados, es un impuesto implícito ya que ello requiere de espacio en bodegas que, a su vez, penaliza los ingresos (costo de oportunidad) y ocasiona costos directos de manejo del producto.

En el caso particular de las vedas, se deben considerar diferentes criterios para la selección de los estratos espacio-temporales. Entre estos criterios se encuentran los niveles de captura de la especie objetivo, los niveles de captura incidental, el esfuerzo pesquero por estrato, el número y extensión de estratos vedados, la factibilidad técnica y política, etc. La

dolphin-safe policy, which tries to provide disincentives for marine mammal sets, has promoted the increase in the number of log-sets and consequently the levels of incidental catch by the international fleet.

The incidental catch is the proportion of the gross catch taken unintentionally with respect to the target species (Caddy and Griffiths, 1996). Around 27 million metric tons are estimated, on average, to be discarded per year worldwide, with a range from 17.9 to 39.5 million metric tons, and most of it is incidental catch (Alverson *et al.*, 1994). With this in mind, FAO's Code of Conduct for Responsible Fishing (FAO, 1995) specifically points out the need to establish incidental catch reduction measures. Except for log-sets, the EPO purse-seine tuna fishery is considered among the 10 fisheries with lowest amount of organisms discarded per number of organisms loaded (Alverson *et al.*, 1994).

The incidental catch and discard levels of the international EPO yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) fishery with purse-seiners have already been described elsewhere (Hall, 1996; Hall 1998; Anónimo, 2000). Although the incidental dolphin mortality has been reduced to levels considered by many as insignificant, currently there is an increasing concern with respect to the incidental catch of other species including sharks, billfishes, mahi-mahi and many others (Hall, 1998; Anónimo, 2000). Out of the three set types used by purse-seiners in the EPO, dolphin-sets, school-sets and log-sets, the latter ones present by far the highest incidental catch levels (Hall, 1998; Anónimo, 2000).

Currently, different proposals to reduce the incidental catch of this fishery are being considered, such as: (1) require the fishermen to retain on board all the tunas caught, to provide disincentives for the capture of certain species or lengths; (2) the compulsory release, as soon as possible and unharmed, of organisms of certain species; (3) gear modifications and/or the use of additional equipment; (4) the implementation of limits on fishing effort; and (5) the implementation of spatial and/or temporal closures (Michel Dreyfus, Director of the Mexican Tuna-Dolphin Program, pers. comm.). The full retention of tunas caught on board the ship is effectively an implicit tax, since this requires use of hold space, which in turn penalizes revenue (thereby providing an opportunity cost) as well as providing a direct cost of handling.

In the case of closures, different criteria should be considered in the selection of the spatial and temporal strata. These criteria include catch rates of the target species, incidental catch rates, fishing effort per strata, number and extension of the closed strata, technical and political feasibility, etc. The ideal option is, therefore, the one that reduces the incidental catch with a high economic, technical and political feasibility, and keeps the effects on the target species catch and the fishing effort patterns as low as possible, while maintaining the highest number (and dimensions) of strata open for fishing.

opción ideal de acción es, por lo tanto, aquella que implique una reducción de la captura incidental con alta factibilidad, económica, técnica y política, así como niveles bajos de afectación de la captura de la especie objetivo y de los patrones habituales de esfuerzo pesquero, manteniendo el mayor número (y dimensiones) de estratos espacio-temporales abiertos.

Sin embargo, para las opciones en esta pesquería los criterios mencionados se encuentran en conflicto entre ellos, de tal manera que no es posible elegir una opción de acción que contenga valores deseados para todos los criterios. El análisis multicriterio se ha establecido como una herramienta eficaz para el análisis de este tipo de problemas. El análisis multicriterio es una familia de métodos o técnicas cuyo propósito es facilitar la toma de decisiones en situaciones en donde se tiene un número finito y predeterminado de opciones o cursos de acción. El objetivo es seleccionar, priorizar o jerarquizar las opciones en función de un conjunto de criterios relevantes (Lai y Hwang, 1994).

Un elemento importante del análisis multicriterio es el vector de ponderación, que representa las preferencias (importancia relativa asignada) del encargado de la toma de decisiones con respecto a los criterios utilizados en el análisis. Sin embargo, cuando muchos encargados de la toma de decisiones se encuentran involucrados en este proceso, se dificulta la estimación directa de dicho vector de pesos (Nijkamp *et al.*, 1990).

El objetivo de este trabajo consiste en la utilización del análisis multicriterio como una herramienta en la toma de decisiones que permita evaluar, en función de criterios múltiples, un conjunto de opciones para reducir la captura incidental de la pesquería mexicana del AAA en el OPO con red de cerco. El problema relativo a la selección de estratos de veda para disminuir la captura incidental en lances sobre objetos flotantes se presenta como un ejemplo del potencial de esta herramienta, cuando el vector de ponderación es desconocido para el analista. Para ejemplificar el uso de esta herramienta se eligió en particular la captura incidental de las especies del dorado, *Coryphaena hippurus* y *C. equiselis*, debido a que la tasa de captura incidental de estas especies puede servir como un indicador aproximado de los niveles relativos de captura incidental de otras especies.

Materiales y métodos

Con la finalidad de modelar las opciones espacio-temporales de veda, las operaciones de pesca se subdividieron en cinco grandes áreas y, al mismo tiempo, la temporada de pesca se dividió en cuatro trimestres. El trimestre 1 corresponde a los meses de enero, febrero y marzo, y así sucesivamente hasta completar los cuatro trimestres del año.

La captura incidental de muchas especies, y en particular del dorado, es mayor en los lances sobre objetos flotantes que en los otros dos tipos de lances (Anónimo, 2000), y la flota mexicana realiza una cantidad muy pequeña de lances sobre objetos flotantes. Debido a ello, la flota mexicana es responsable de una muy pequeña proporción de toda la captura

However, the options for this fishery have conflicting criteria, being therefore impossible to choose one option containing desired values for all the criteria. Multicriteria analysis has been established as a helpful tool to deal with this type of problems. Multicriteria analysis is a family of methods aiming to facilitate the decision-making process in situations in which there are a finite and pre-determined number of options. The objective is to select, prioritize or establish a hierarchy of the available options by means of a set of relevant criteria (Lai and Hwang, 1994).

An important element of the multicriteria analysis is the weights-vector, which represents the preferences (assigned relative importance) of the decision-maker with respect to the criteria used in the analysis. However, when many decision-makers are involved in the process, it becomes difficult to estimate the weights-vector directly (Nijkamp *et al.*, 1990).

The purpose of this study is to use the multicriteria analysis as a decision-making tool that allows the evaluation, based on multiple criteria, of a set of options to reduce the incidental catch by the Mexican purse-seine yellowfin tuna fishery in the EPO. A problem relative to the selection of spatial and temporal strata closures to reduce the incidental catch on log-sets is presented as an example of the potential of this tool for when the weights-vector is unknown to the analyst. In particular, the incidental catch of mahi-mahi (dolphin-fish), *Coryphaena hippurus* and *C. equiselis*, was chosen to exemplify the use of this tool and also because the incidental catch of these species can be used as an approximate index of the relative levels of the incidental catch of other species.

Materials and methods

In order to model the spatial and temporal strata closures, fishing operations were subdivided into five large regions and, at the same time, the fishing season was divided into four quarters. The first quarter of the year corresponds to January, February and March, and so on to accomplish four quarters.

The incidental catch of many species, and in particular of mahi-mahi, is greater in log-sets than in any of the other two set-types (Anónimo, 2000), and the Mexican fleet makes very few log-sets. Due to that, the Mexican fleet is responsible for only a small amount of the overall incidental catch in the EPO, in particular of mahi-mahi. However, despite of the low incidental catch caused by the Mexican fleet, efforts should be done to reduce it as much as possible according to present sustainable and responsible fishing paradigms.

Although apparently the mahi-mahi population in the EPO is not at any risk (Dra. Sofia Ortega, responsible of the Mahi-mahi Project, CICIMAR-IPN, pers. comm.), these species present certain characteristics which make them ideal to be used as examples in this study. The amount and quality of the

incidental, en general, en el OPO y, en particular, del dorado. Sin embargo, a pesar de la escasa captura incidental causada por la flota mexicana, se deben realizar esfuerzos para disminuirla lo más posible de acuerdo a los actuales paradigmas de manejo sustentable y responsable.

Si bien aparentemente la población del dorado en el OPO no se encuentra en peligro (Dra. Sofia Ortega, responsable del Proyecto Dorado, CICIMAR-IPN, com. pers.), estas especies presentan ciertas características idóneas para ser utilizadas como ejemplo en este trabajo. Una de ellas es la cantidad y calidad de la información disponible de su captura incidental. El dorado es abundante en el OPO, y se captura de manera incidental en un gran porcentaje de lances sobre objetos flotantes. Además, la rápida y relativamente fácil identificación de los organismos (dadas sus características físicas) permite dar mayor certidumbre a los datos. Debido a ello, el dorado se puede utilizar como una especie a través de la cual se puede monitorear la disminución del nivel de captura incidental de otras especies. Por ello, el propósito de reducir la captura incidental del dorado tiene dos finalidades: (1) utilizarlo para ejemplificar el uso del análisis multicriterio como herramienta en la toma de decisiones; y (2) estimar la disminución de la captura incidental de muchas otras especies asociadas a las alternativas de veda aquí propuestas.

Por razones prácticas se generaron cinco posibles combinaciones (opciones) de estratos espacio-temporales. La opción 1 consistió en utilizar la ecuación básica

$$CIT_{k,s} = (L_s) \times \left(\frac{CI_{k,s}}{L_s} \right)$$

donde CIT es la captura incidental total por especie k y estrato s , L es la cantidad de lances sobre objetos flotantes y CI es la captura incidental.

Se clasificaron todos los estratos espacio-temporales en cuatro conjuntos, utilizando los dos elementos de la ecuación. Los cuatro conjuntos son una simulación de un semáforo de nivel de riesgo para la captura incidental. Los conjuntos son:

- Alto nivel de L y de CI/L , denominado conjunto de “focos rojos o estratos explosivos” (Gauvin *et al.*, 1995; Hall, 1996);
- Bajo nivel de L y alto de CI/L , denominado conjunto de “focos naranjas o estratos evitables” debido a la relativa facilidad de evitar dicha zona por el bajo nivel de L ;
- Alto nivel de L y bajo de CI/L , denominado conjunto de “focos amarillos o estratos preventivos” por el potencial de pasar al primer conjunto; y
- Bajo nivel de L y de CI/L , denominado conjunto de “focos verdes o estratos aceptables”.

La separación de las categorías de “alto” y “bajo” para L y CI/L se basó en un análisis exploratorio utilizando la media, mediana y el histograma de frecuencias.

La opción 2 consistió en seleccionar aquellos estratos con mayor número total de dorados capturados incidentalmente. La

available information on incidental catch is one of those characteristics. Mahi-mahi is abundant in the EPO, and is caught incidentally in a high percentage of log-sets. Besides, the relatively easy and fast identification of the organisms (given their physical characteristics) gives more certainty to the data. Due to all these, mahi-mahi can be used as a species through which a general incidental catch reduction of other species can be monitored. Therefore, the aim of reducing mahi-mahi incidental catch has two purposes: (1) to exemplify the use of multicriteria analysis as a decision-making tool, and (2) to estimate the decrease of the incidental catch of many other species associated to the closures options proposed here.

For practical reasons, five feasible spatial and temporal strata combinations (options) were generated. Option 1 was based on the following basic equation

$$CIT_{k,s} = (L_s) \times \left(\frac{CI_{k,s}}{L_s} \right)$$

where CIT is the total incidental catch of the species k in stratum s , L is the amount of sets (log sets) and CI is the incidental catch.

All the spatial and temporal strata were classified into four sets using the two factors of the equation. The four sets simulate a risk-level traffic light for incidental catch. The sets are:

- High level of both L and CI/L , called the “red-hot spots or explosive strata” set (Gauvin *et al.*, 1995; Hall, 1996);
- Low level of L and high level of CI/L , called the “orange spots or avoidable strata” set since it is relatively easy to avoid these strata due to the low level of L ;
- High level of L and low level of CI/L , called the “yellow spots or preventive strata” set due to their potential to become “red-hot spots”; and
- Low level of L and of CI/L , called the “green spots or acceptable strata” set.

To separate between the “low” and “high” levels of L and CI/L , an exploratory analysis based on the mean, the median and the frequency histogram was used.

Option 2 consisted in closing the strata with the highest amount of mahi-mahi incidentally caught. Option 3 consisted in selecting for closure those strata with the highest rate of number of organisms incidentally caught per yellowfin tuna total catch (Hall, 1996).

Option number 4 consisted in selecting for closure the strata with the longest distance to the Mexican coasts, even outside the Mexican Economic Exclusive Zone. Finally, a fifth option was considered and it was called the *status quo* option, or the situation without any strata closures.

The following evaluation criteria were selected:

- the expected percentage of mahi-mahi incidental catch reduction from log-sets;

opción 3, por su parte, consistió en seleccionar aquellos estratos con la mayor tasa de número de organismos capturados incidentalmente por captura total de AAA (Hall, 1996).

La opción número 4 consistió en seleccionar los estratos de las áreas lejanas a las costas de México e incluso fuera de la Zona Económica Exclusiva Mexicana. Finalmente se consideró una quinta opción denominada el *status quo*, o situación sin veda.

Los criterios utilizados para evaluar las opciones fueron:

- (a) el porcentaje esperado de reducción de la captura incidental del dorado en lances sobre objetos flotantes;
- (b) la pérdida de ingresos brutos esperada por dejar de pescar AAA en los estratos vedados;
- (c) el número de estratos espacio-temporales que permanecen abiertos, es decir, no vedados; y
- (d) el porcentaje esperado de reducción de la captura incidental de otros organismos diferentes al dorado (tales como picudos, tiburones, rayas y otros peces grandes) en lances sobre objetos flotantes.

El criterio c, relacionado con el número de estratos abiertos, puede interpretarse también como una aproximación cualitativa de costos para la flota al cerrarse más estratos. Los mamíferos marinos (delfines) y las tortugas marinas no se incluyeron en el criterio d ya que la captura incidental de estas especies en lances sobre objetos flotantes por la flota atunera mexicana es extremadamente baja. Además, estas especies cuentan con instrumentos de manejo específicos en el ámbito internacional.

Las cinco opciones fueron utilizadas para la construcción de una matriz de impacto o de evaluación, que constituye uno de los dos insumos principales de las técnicas de análisis multicriterio. La matriz de impacto P contiene los elementos p_{ji} que representan la medida de calidad o calificación de la opción i ($i = 1, \dots, 5$) con respecto a cada criterio j ($j = a, \dots, d$) (Nijkamp *et al.*, 1990; Munda *et al.*, 1994).

$$P = \begin{bmatrix} p_{a,1} & p_{a,2} & p_{a,3} & p_{a,4} & p_{a,5} \\ p_{b,1} & p_{b,2} & p_{b,3} & p_{b,4} & p_{b,5} \\ p_{c,1} & p_{c,2} & p_{c,3} & p_{c,4} & p_{c,5} \\ p_{d,1} & p_{d,2} & p_{d,3} & p_{d,4} & p_{d,5} \end{bmatrix}$$

Las calificaciones se asignaron en base a la información de la captura incidental y de la especie objetivo en lances sobre objetos flotantes de 1992 a 1998 en el OPO, recopilada por los observadores del Programa Nacional de Aprovechamiento del Atún y de Protección de Delfines (PNAAPD) a bordo de las embarcaciones atuneras mexicanas. Se generó una base de datos espacio-temporal para lances sobre objetos flotantes con la siguiente información: área, trimestre, número de dorados capturados de manera incidental, número de otras especies capturadas de manera incidental, captura (tm) de AAA con

- (b) the expected gross revenue loss from reduced yellowfin tuna catch due to closed strata;
- (c) the number of strata left open or not closed; and
- (d) the expected percentage of incidental catch reduction of other species besides mahi-mahi (such as billfishes, sharks, rays and other large fish) from log-sets.

Criterion c, related to the number of strata left open, can also be interpreted as the qualitative proxy for the fleet adjustment cost as more strata are closed. Marine mammals (dolphins) and sea turtles were not included in criterion d since the incidental catch of these species in log-sets by the Mexican fleet is extremely low. Besides, there are specific international management tools for these species.

The five options were used to construct an evaluation or impact matrix, which constitutes one of the two main inputs for multicriteria analysis techniques. The impact matrix P contains the elements p_{ji} , which represent a measure for the quality or score of option i ($i = 1, \dots, 5$) with respect to criterion j ($j = a, \dots, d$) (Nijkamp *et al.*, 1990; Munda *et al.*, 1994).

$$P = \begin{bmatrix} p_{a,1} & p_{a,2} & p_{a,3} & p_{a,4} & p_{a,5} \\ p_{b,1} & p_{b,2} & p_{b,3} & p_{b,4} & p_{b,5} \\ p_{c,1} & p_{c,2} & p_{c,3} & p_{c,4} & p_{c,5} \\ p_{d,1} & p_{d,2} & p_{d,3} & p_{d,4} & p_{d,5} \end{bmatrix}$$

The scores were assigned based on the incidental and target catch information from log-sets from 1992 to 1998 in the EPO, registered by the observers of the Mexican Tuna-Dolphin Program (Programa Nacional de Aprovechamiento del Atún y de Protección de Delfines-PNAAPD) on board the Mexican purse-seine tuna vessels. A spatial and temporal data base was generated for log-sets with the following information: area, quarter, number of mahi-mahi incidentally caught, number of other species incidentally caught, yellowfin tuna catch and number of sets. Whenever necessary, the length-weight relationship for mahi-mahi by Rose and Hassler (1968) was used.

The next step was to order the strata from each option according to their definition (table 1), that is, depending on their risk-level classification, on the total amount of mahi-mahi incidental catch, on the rate of number of organisms incidentally caught per yellowfin tuna catch, and on the distance to the Mexican coasts, respectively. After that, the strata to be closed for each option were selected, using the ordered set of strata. The first strata was added to a set called "closed strata" and the following aspects were counted cumulatively: number of strata closed, expected percentage of incidental catch reduction of mahi-mahi, expected percentage and tonnage of yellowfin tuna catch and expected percentage of incidental catch reduction of other species. The procedure continued with the second strata (and so on), until an arbitrarily pre-established minimum goal of incidental catch reduction for mahi-mahi of 80% was

Tabla 1. Orden de veda de los estratos espacio-temporales de cada opción. Los criterios y las opciones se describen en el texto. *L* = número de lances; *CI* = captura incidental de dorado; *CAAA* = captura del atún aleta amarilla; *D* = distancia relativa a la costa de México.

Table 1. Spatial and temporal strata closure order for each option. Criteria and options are described in the text. *L* = number of sets; *CI* = mahi-mahi incidental catch; *CAAA* = yellowfin tuna catch; and *D* = relative distance to the Mexican coasts. (muy alto = very high, alto = high, media = medium, bajo = low).

Orden de veda	Opciones					
	1		2	3	4	5
	<i>L</i>	<i>CI</i> / <i>L</i>	<i>CI</i>	<i>CI</i> / <i>CAAA</i>	<i>D</i>	<i>status quo</i>
1	alto	alto	muy alta	muy alta	muy alta	x
2	bajo	alto	alta	alta	alta	x
3	alto	bajo	media	media	media	x
4	bajo	bajo	baja	baja	baja	x

lances sobre objetos flotantes, y número de lances sobre objetos flotantes. Cuando fue necesario se utilizó la relación longitud-peso para el dorado obtenida por Rose y Hassler (1968).

El siguiente paso fue ordenar los estratos de cada opción de acuerdo a su definición (tabla 1), es decir, dependiendo de la clasificación de nivel de riesgo, de la cantidad total de captura incidental de dorado, de la tasa de número de organismos capturados incidentalmente por captura total de AAA, y de la distancia a las costas mexicanas, respectivamente. Posteriormente se seleccionaron los estratos a vedarse para cada opción, utilizando el conjunto ordenado de estratos. El primer estrato se agregó a un conjunto denominado “estratos vedados” y se contabilizaron de manera acumulativa los siguientes aspectos: número de estratos cerrados, porcentaje de reducción esperado de la captura incidental de dorado, porcentaje y tonelaje de reducción esperado de la captura de AAA en lances sobre objetos flotantes y porcentaje de reducción esperada de la captura incidental de otros organismos. Este procedimiento se continuó con el segundo estrato, y así sucesivamente, hasta que se alcanzó una meta mínima de reducción de la captura incidental de dorado del 80% establecida arbitrariamente. Para calcular la pérdida de ingresos brutos por dejar de pescar AAA en los estratos vedados se consideró un precio estándar de 500 dólares de Estados Unidos por tonelada.

Se utilizó el siguiente método de estandarización de los elementos de *P* (Nijkamp *et al.*, 1990):

$$\beta_{ji} = \frac{p_{ji} - \min(p_j)}{\max(p_j) - \min(p_j)}$$

en donde *max* (*p_j*) y *min* (*p_j*) indican los valores máximos y mínimos observados (o a ser alcanzados) del *j*-ésimo criterio para todas las opciones *i*. Esta estandarización tiene el propósito de eliminar el efecto de las unidades en la

reached. To calculate the loss of gross revenue from stop fishing yellowfin tuna in the closed strata, a standard price of US\$ 500 per metric ton was considered.

The following standardization method for the elements of *P* was used (Nijkamp *et al.*, 1990):

$$\beta_{ji} = \frac{p_{ji} - \min(p_j)}{\max(p_j) - \min(p_j)}$$

where *max* (*p_j*) and *min* (*p_j*) indicate the maximum and minimum values observed (or to be attained) for criterion *j* among all options. This standardization has the purpose of eliminating the effect of the different evaluating units, transforming all the scores to a non-dimensional scale from 0.0 to 1.0.

The second input of multicriteria analysis techniques is the weights-vector. This vector represents the relative importance of each criterion, or preferences, by the decision-maker.

$$\gamma = (\gamma_1, \dots, \gamma_J) \quad \sum_j \gamma_j = 1$$

However, sometimes the preferences of the decision-maker are not transparent to the analyst and, therefore, the weights-vector is unknown. This happens quite frequently in situations with multiple decision-makers. Such is the case of the problem analyzed in this study. Therefore, to be able to evaluate the options, the approach suggested by Enríquez-Andrade (1994) was used, which consists of considering the weights as parameters.

The experimental design was based on triangular diagrams (Vaca-Rodríguez and Dreyfus-León, 2000). A triangular diagram allows to consider three criteria and 66 combinations of weights with a parametric variation of 0.1 units. Each vertex of the triangular diagram represents one of the criteria with the highest weight, and the intermediate combinations contain weights of the criteria in a proportional way relative to their

calificación de las opciones evaluadas, transformando todas las calificaciones a una escala adimensional de 0.0 a 1.0.

El segundo insumo de las técnicas de análisis multicriterio es el vector de ponderación o de pesos, que contiene información sobre la importancia relativa de los criterios de acuerdo al encargado de la toma de decisiones:

$$\gamma = (\gamma_1, \dots, \gamma_j) \quad \sum_j \gamma_j = 1$$

Sin embargo, en ocasiones las preferencias del encargado de la toma de decisiones no son transparentes para el analista, por lo que el vector de ponderación es desconocido. Esto último sucede con frecuencia cuando existen múltiples encargados de la toma de decisiones. Tal es el caso del problema que se analiza en este trabajo. Por lo tanto, para poder evaluar las opciones, se utilizó la aproximación propuesta por Enríquez-Andrade (1994) que consiste en considerar a los pesos como parámetros.

El diseño experimental se basó en diagramas ternarios (Vaca-Rodríguez y Dreyfus-León, 2000). Un diagrama ternario permite considerar tres criterios y 66 combinaciones de pesos con variación paramétrica de 0.1 unidades. Cada vértice representa uno de los criterios con el peso máximo, y las combinaciones intermedias contienen pesos de los criterios proporcionales a su posición en el diagrama. Para considerar los cuatro criterios se agregó una dimensión adicional a los diagramas ternarios para constituir un tetraedro (poliedro con cuatro caras compuestas de triángulos equiláteros). El tetraedro contiene 286 combinaciones posibles de pesos de los cuatro criterios con variaciones paramétricas de 0.1 unidades.

Habiendo obtenido los insumos principales para la aplicación del análisis multicriterio, se generó un conjunto de soluciones mediante el método de análisis de concordancia o método ELECTRE (Roy, 1968; Roy, 1972; Nijkamp *et al.*, 1990; Mousseau y Slowinski, 1996). La idea básica es jerarquizar las opciones por medio de comparaciones por pares. La comparación por pares implica confrontar dos opciones y determinar en que criterios se desempeña mejor o igual la primera opción i con respecto a la segunda i' . Este conjunto de criterios se denomina el conjunto concordante $CC_{ii'}$. Los criterios en los que la primera opción se desempeña peor que la segunda forman el conjunto discordante $CD_{ii'}$.

Después se calcula el índice de concordancia $c_{ii'}$, que indica el peso del conjunto concordante:

$$c_{ii'} = \sum_{j \in CC_{ii'}} \gamma_j$$

A mayor valor del índice de concordancia, mayor será el grado en que la opción i es más atractiva que la opción i' .

position in the diagram. To consider the four criteria, another dimension was added to the triangular diagram to make a tetrahedron (polyhedron with four faces made out of equilateral triangles). This tetrahedron contains now 286 possible combinations of weights for the four criteria, with parametric variations of 0.1 units.

With the two inputs to the multicriteria analysis techniques in place, a set of solutions was generated by means of concordance analysis or the ELECTRE method (Roy, 1968; Roy, 1972; Nijkamp, 1990; Mousseau and Slowinski, 1996). The basic idea is to rank the options based on pairwise comparisons. Pairwise comparison means to confront two options and determine for which criteria option i performs better than (or equal to) option i' . This set of criteria is called the concordance set $CC_{ii'}$. Similarly, the discordance set $CD_{ii'}$ for a pair of options is the set of criteria for which option i performs worse than option i' .

Next, the concordance index $c_{ii'}$ is calculated, indicating the weight of the concordance set:

$$c_{ii'} = \sum_{j \in CC_{ii'}} \gamma_j$$

The higher the value of the concordance index, the more attractive is option i with respect to option i' .

The discordance index $d_{ii'}$ is also calculated in order to take into account the cardinal information of the impact matrix and it indicates the maximum difference of scores for options i and i' on those criteria for which option i' is preferred to i .

$$d_{ii'} = \max_{j \in CD_{ii'}} (q_{ji'} - q_{ji})$$

where q is the standardized value of p . A low value of $d_{ii'}$ indicates a high attractiveness of option i compared to i' . The best option of all is the one with high values for the concordance indices and low values for the discordance indices, once all the possible pairwise comparisons were made.

The triangular diagrams (faces of the tetrahedron) were generated for the combinations of criteria a-b-c, a-b-d, a-c-d and b-c-d. The whole tetrahedron was also generated for the four criteria a-b-c-d. In all the cases, the best option is shown for each of the combination of weights.

Results

Due to the lack of fishing sets, no information was available for the stratum comprising area 3 quarter 2 and, accordingly, this stratum was not considered any further in the analysis.

Strata selection corresponding to option 1 was based on the potential risk level. The classification of the strata is shown in figure 1. The strata with the greatest potential risk level or "hot spots" for mahi-mahi were located in area 3 quarter 1, named

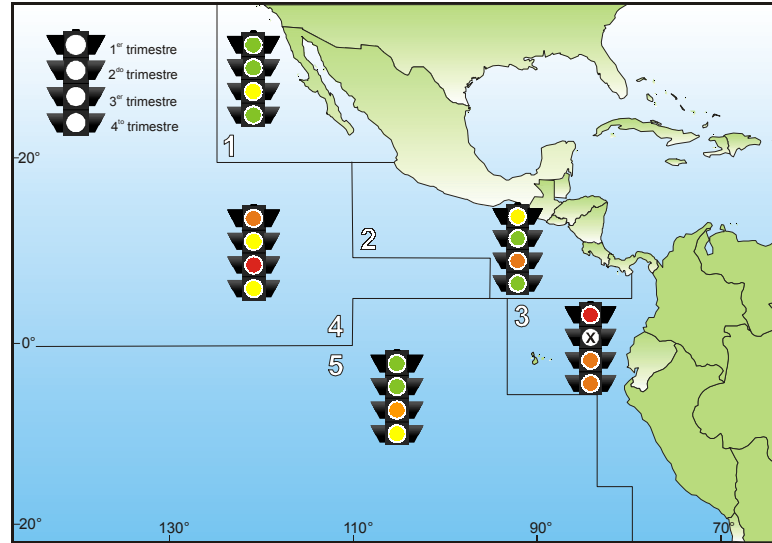


Figura 1. Clasificación de los estratos espacio-temporales en las categorías de riesgo potencial de captura incidental de dorado, en la pesquería de atún con lances sobre objetos flotantes en el Océano Pacífico Occidental (opción 1). Los trimestres se identifican por su posición en el semáforo (superior = trimestre 1, inferior = trimestre 4). Los colores corresponden a la clasificación evaluada para cada estrato. El estrato cruzado no tuvo datos.

Figure 1. Classification of the spatial and temporal strata according to the potential risk level for incidental catch of mahi-mahi in the tuna fishery on floating objects in the Eastern Pacific Ocean (option 1). Quarters are identified by their position in the traffic light sign (upper = quarter 1, lower = quarter 4). Colors correspond to the classification evaluated for each strata. The crossed strata did not have any data.

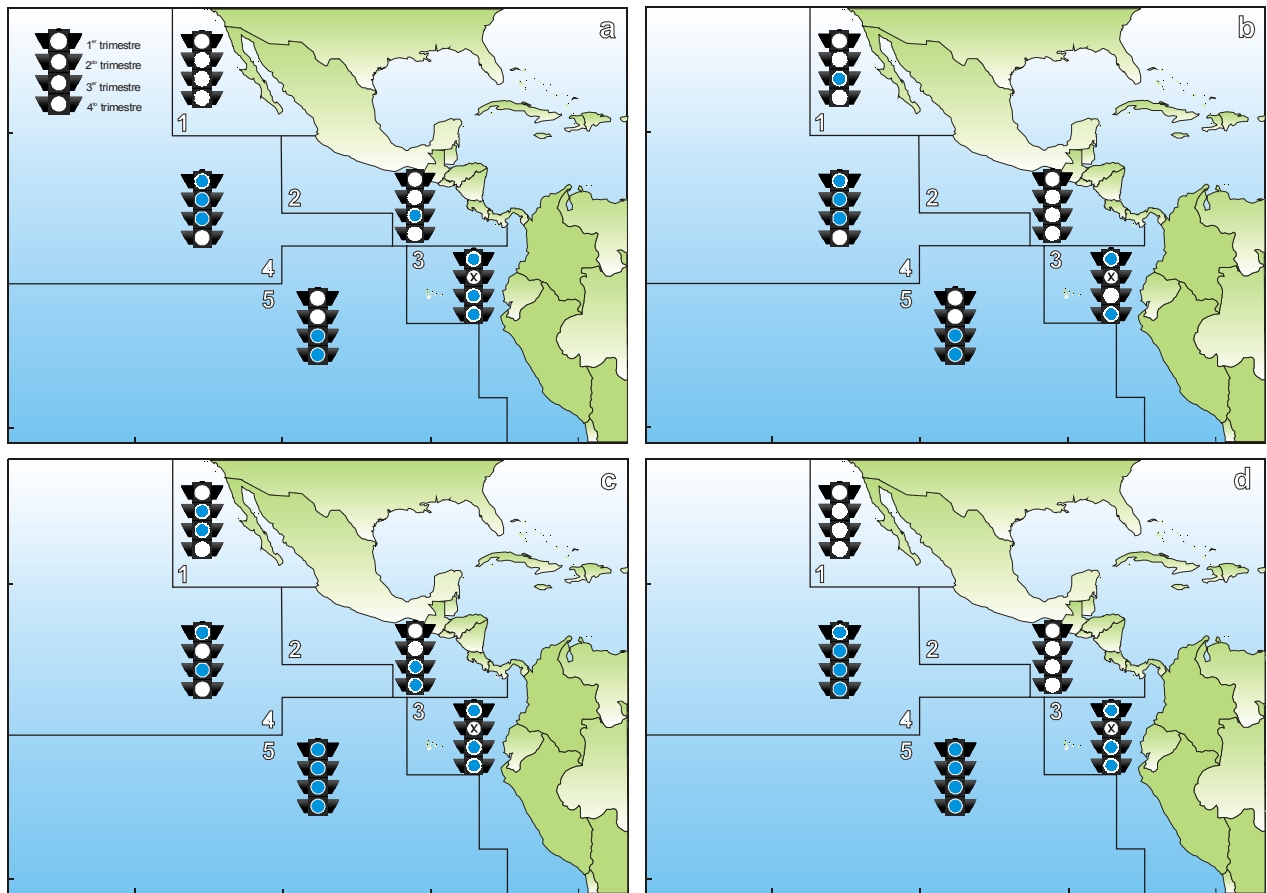


Figura 2. Veda de estratos espacio-temporales para las cuatro opciones: 1 (a), 2 (b), 3 (c) y 4 (d). Los trimestres se representan como en la figura 1. El color azul representa los estratos vedados.

Figure 2. Spatial and temporal strata closures for the four options: 1 (a), 2 (b), 3 (c) and 4 (d). Quarters are represented as in figure 1. The blue color represents the closed strata.

El índice de discordancia $d_{ii'}$ se calcula también con el objetivo de tomar en cuenta la información cardinal de la matriz de impacto. Este índice indica la diferencia máxima entre las calificaciones de los criterios del conjunto discordante, y se define:

$$d_{ii'} = \max_{j \in CD_{ii'}}(q_{ji'} - q_{ji})$$

en donde q es el valor estandarizado de p . Un valor bajo de este índice indica una mayor atracción de la opción i con respecto a la i' . La mejor opción de todas es la que presenta mayores valores del índice de concordancia y menores valores del índice de discordancia, una vez que se realizaron todas las comparaciones por pares posibles.

Se generaron los diagramas ternarios (caras del tetraedro) con las combinaciones de criterios a-b-c, a-b-d, a-c-d y b-c-d. También se generó el tetraedro completo con los cuatro criterios a-b-c-d. En todos los casos se presenta la mejor opción para cada una de las combinaciones de pesos.

Resultados

Debido a la ausencia de lances sobre objetos flotantes, no se obtuvo información del estrato espacio-temporal área 3 trimestre 2 y, consecuentemente, este estrato no fue considerado en el análisis.

La selección de los estratos según la opción 1 se basó en el nivel de riesgo potencial. La clasificación de los estratos se muestra en la figura 1. Los estratos de mayor riesgo potencial o “focos rojos” para el dorado se localizaron en el área 3 trimestre 1, designada como (3, 1), y en el área 4 trimestre 3 (4, 3). Los “focos naranjas” se localizan en (2, 3), (3, 3), (3, 4), (4, 1) y (5, 3). El valor de separación entre alto y bajo número de lances por estrato fue de 50 lances, y entre alto y bajo nivel de captura incidental por lance fue de 100. El mínimo de 80% de reducción de la captura incidental del dorado se cumple al vedar todos los estratos “focos rojos” y “focos naranjas”, y dos “focos amarillos”: (4, 2) y (5, 4) (fig. 2a).

El orden de los estratos, considerando la cantidad total de organismos capturados incidentalmente (opción 2), es: (5, 3),

stratum (3, 1), and in area 4 quarter 3 (4, 3). The “orange spots” were located in (2, 3), (3, 3), (3, 4), (4, 1) and (5, 3). The value to distinguish between high and low number of sets was 50 sets, and between high and low incidental catch per set was 100. The 80%-minimum incidental catch reduction goal is accomplished by closing all the “hot spots” and the “orange spots”, and two “yellow spots”, (4, 2) and (5, 4) (fig. 2a).

The order of the strata, considering the total number of mahi-mahi incidentally caught (option 2), is: (5, 3), (4, 3), (3, 1), (4, 2), (4, 1), (5, 4), (1, 3), (3, 4), (3, 3), (2, 1), (4, 4), (5, 1), (1, 2), (2, 4), (2, 3), (1, 1), (5, 2), (2, 2) and (1, 4). The 80%-minimum incidental catch reduction goal is accomplished by closing the first eight strata (fig. 2b). With respect to option 3, the order of the strata, considering the rate of number of organisms incidentally caught / yellowfin tuna catch is: (3, 3), (5, 3), (5, 4), (4, 1), (2, 3), (3, 4), (3, 1), (5, 2), (1, 3), (2, 4), (1, 2), (5, 1), (4, 3), (4, 2), (2, 1), (4, 4), (1, 1), (2, 2), and (1, 4). The 80%-minimum incidental catch reduction goal is accomplished by closing the first thirteen strata (fig. 2c). The strata closed for option 4 (closing three large areas with the longest distance to the Mexican coasts) were all those included in areas 3, 4 and 5 throughout the year (fig. 2d).

Table 2 shows the impact matrix for the five options and the four criteria, and table 3 shows the standardized impact matrix. The options with the highest scores are 4 and 5. Option 4 has the highest scores for the two incidental catch-related criteria (a and d), and option 5 for the criteria related to the number of strata left open and the gross revenue (b and c). The lowest scores are found in options 3, 4 and 5. Option 3 has the lowest score for criterion c, option 4 for criterion b and option 5 for criteria a and d. Options 4 and 5 must be pointed out since they have the highest scores for some criteria and the lowest for others. Options 1, 2 and 3 have intermediate scores for most of the criteria.

Figure 3a shows the triangular diagram representing the a-b-c face of the tetrahedron. Option 2 was rated the highest in nine combinations of weights, option 3 in eleven, option 4 in twenty-five, and option 5 in twenty-one. Option 1 was not rated high in any combination of weights. Option 4 is located in the zone dominated by criterion a, while option 5 is found in

Tabla 2. Matriz de impacto con las cinco opciones y los cuatro criterios para la veda de estratos espacio-temporales. Los criterios y opciones se describen en el texto.

Table 2. Impact matrix for the five options and four criteria for the spatial and temporal strata closure. The options and criteria are described in the text.

Criterios	Opciones				
	1	2	3	4	5
a	80.40	80.70	83.30	86.40	0.00
b	-1,244,000	-1,338,000	-1,172,000	-1,528,000	0
c	10	11	6	8	19
d	67	65.5	48	92.3	0

Tabla 3. Matriz de impacto estandarizada con las cinco opciones y los cuatro criterios para la veda de estratos espacio-temporales. Los criterios y opciones se describen en el texto.

Table 3. Standardized impact matrix for the five options and four criteria for the spatial and temporal strata closure. The options and criteria are described in the text.

Criterios	Opciones				
	1	2	3	4	5
a	0.93	0.93	0.96	1.00	0.00
b	0.19	0.12	0.23	0.00	1.00
c	0.31	0.38	0.00	0.15	1.00
d	0.73	0.71	0.52	1.00	0.00

(4, 3), (3, 1), (4, 2), (4, 1), (5, 4), (1, 3), (3, 4), (3, 3), (2, 1), (4, 4), (5, 1), (1, 2), (2, 4) (2, 3), (1, 1), (5, 2), (2, 2) y (1, 4). El mínimo de 80% de reducción de la captura incidental se cumple al vedar los ocho primeros estratos (fig. 2b). Por su parte, el orden de los estratos, de acuerdo a la tasa de número de organismos capturados incidentalmente por captura total de AAA (opción 3), es: (3, 3), (5, 3), (5, 4), (4, 1), (2, 3), (3, 4), (3, 1), (5, 2), (1, 3), (2, 4), (1, 2), (5, 1), (4, 3), (4, 2), (2, 1), (4, 4), (1, 1), (2, 2) y (1, 4). El mínimo de 80% de reducción de la captura incidental se cumple al vedar los trece primeros estratos (fig. 2c). Los estratos de la opción 4 (veda de las tres áreas con la mayor distancia a las costas mexicanas) fueron todos aquellos de las áreas 3, 4 y 5 a lo largo de todo el año (fig. 2d).

La tabla 2 muestra la matriz de impacto para las cinco opciones y los cuatro criterios, y la tabla 3 muestra la matriz de impacto estandarizada. Las opciones que tienen las calificaciones más altas de los criterios son la 4 y la 5. La opción 4 tiene las calificaciones más altas para los dos criterios relacionados con la captura incidental (a y d), y la opción 5 para los criterios relacionados con el número de estratos y el ingreso bruto (b y c). Las calificaciones más bajas se concentran en las opciones 3, 4 y 5. La opción 3 tiene el valor más bajo del criterio c, la opción 4 el del criterio b y la opción 5 los de los criterios a y d. Las opciones 4 y 5 sobresalen por tener tanto las calificaciones más altas para algunos criterios, como las calificaciones más bajas para otros. Las opciones 1, 2 y 3 tienen calificaciones con valores intermedios para la mayoría de los criterios.

La figura 3a muestra el diagrama ternario que representa la cara a-b-c del tetraedro. La opción 2 fue la mejor en nueve combinaciones de pesos, la opción 3 en once, la 4 en veinticinco, y la opción 5 en veintiuna combinaciones. La opción 1 no fue elegida en ninguna combinación de pesos. La opción 4 se localiza en la zona dominada por el criterio a, mientras que la opción 5 está en los vértices de los criterios b y c, y a lo largo del lado que los une. La opción 2 tuvo una tendencia a localizarse hacia la zona dominada por el criterio c, mientras que la opción 3 tendió hacia la zona dominada por el criterio b.

La figura 3b por su parte, muestra la cara a-b-d del tetraedro. La opción 3 fue la mejor en once combinaciones de pesos, la opción 4 en cincuenta y dos, y la opción 5 en solamente tres

the vertexes of criteria b and c, and along the side that connects them. Option 2 tended to be located towards the zone dominated by criterion c, while option 3 tended to be found towards the zone dominated by criterion b.

The a-b-d face of the tetrahedron is shown in figure 3b. Option 3 was rated the highest in eleven combinations of weights, option 4 in fifty-two, and option 5 in only three. Options 1 and 2 were not rated high in any combinations of weights. Option 4 is located in most of the diagram, mainly in the zones dominated by criteria a and d. Option 5 was found almost exclusively at the vertex of criterion b, while option 3 tended to be found towards the zone dominated by criterion b.

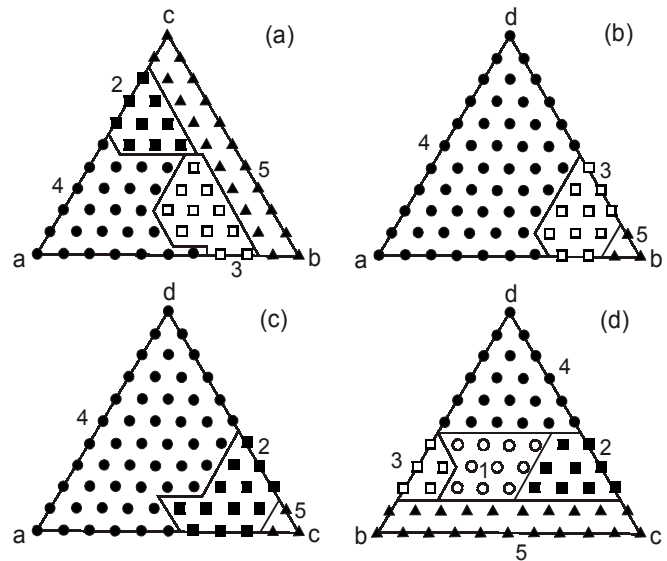


Figura 3. Diagramas ternarios que representan las caras del tetraedro: (a) a-b-c, (b) a-b-d, (c) a-c-d y (d) b-c-d. Los vértices representan el mayor peso posible para el criterio respectivo. Los criterios (letras) y las opciones (números) se describen en el texto. La opción 1 se representa por círculos vacíos, la opción 2 por cuadros rellenos, la opción 3 por cuadros vacíos, la opción 4 por círculos rellenos, y la opción 5 por triángulos rellenos.

Figure 3. Triangular diagrams representing the faces of the tetrahedron: (a) a-b-c, (b) a-b-d, (c) a-c-d and (d) b-c-d. The vertexes represent the highest weight possible for the respective criterion. Criteria (letters) and options (numbers) are described in the text. Option 1 is represented by empty circles, option 2 by full squares, option 3 by empty squares, option 4 by full circles, and option 5 by full triangles.

combinaciones. Las opciones 1 y 2 no fueron elegidas en ninguna combinación de pesos. La opción 4 se localiza en la mayoría del diagrama, principalmente en la zona dominada por los criterios a y d. La opción 5, por su parte, se encuentra casi exclusivamente en el vértice del criterio b, y la opción 3 presentó una tendencia a localizarse hacia la zona dominada por el criterio b.

La cara a-c-d del tetraedro se representa en la figura 3c. La opción 2 fue la mejor en trece combinaciones de pesos, la opción 4 en cincuenta, y la opción 5 lo fue en solamente tres combinaciones. Las opciones 1 y 3 no fueron elegidas en ninguna combinación de pesos. La opción 4, de nueva cuenta, se localiza en la mayoría del diagrama, principalmente en la zona dominada por los criterios a y d. La opción 5 se encuentra casi exclusivamente en el vértice del criterio c, y la opción 2 presentó una tendencia a localizarse hacia la zona dominada por el criterio c.

La última cara del tetraedro (b-c-d) se presenta en la figura 3d. La opción 1 fue la mejor en diez combinaciones de pesos, la opción 2 en nueve, la opción 3 en cinco, la opción 4 en veintiuna y la opción 5 en veintiuna combinaciones. La opción 4 se localiza en la zona dominada por el criterio d, mientras que la opción 5 se encuentra en la zona de los vértices de los criterios b y c, y en el lado del diagrama que los une. La opción 1 se localiza en una zona central del diagrama, la opción 2 presenta una tendencia a localizarse hacia la zona dominada por el criterio c, mientras que la opción 3 tiende a la zona dominada por el criterio b.

Finalmente, la figura 4 muestra el tetraedro que representa las 286 combinaciones de pesos de los cuatro criterios para las cinco opciones. Cada triángulo representa un corte horizontal del tetraedro con un valor diferente del peso del criterio d. La opción 1 fue la mejor en dieciséis combinaciones de pesos, la opción 2 en cuarenta y una, la opción 3 en treinta y dos, la opción 4 en ciento sesenta y seis y la opción 5 en treinta y una combinaciones. Si se considera que todas las combinaciones de pesos tienen la misma probabilidad de representar las preferencias reales del encargado o encargados de la toma de decisiones, entonces se puede calcular una probabilidad de selección para cada opción. Esas probabilidades serían: alta para la opción 4 (0.580), media para las opciones 2 (0.143), 3 (0.112) y 5 (0.108), y muy baja para la opción 1 (0.056).

Sin embargo, si se asume que el encargado de la toma de decisiones tiene preferencias numéricamente mayores a 0.0 para todos los criterios, entonces las combinaciones intermedias encontradas en la parte interna del tetraedro tienen mayores probabilidades de representar la preferencia real del encargado de la toma de decisiones. Las probabilidades para cada opción en las 84 combinaciones intermedias son: altas para la opción 4 (0.62), medias para las opciones 2 (0.19), 3 (0.12) y 1 (0.07), y nulas para la opción 5 (0.0). Si se consideran las combinaciones de pesos con valores mayores a 0.1, quedan sólo 10 combinaciones estrictamente centrales. La opción 4 tiene una probabilidad de ser elegida de 0.7, la 1 de 0.2 y la 2 de 0.1.

Figure 3c shows the a-c-d face of the tetrahedron. Option 2 was rated the highest in thirteen combinations of weight, option 4 in fifty, and option 5 was chosen in only three. Options 1 and 3 were not rated high in any combination of weights. Option 4 is again located in most of the diagram, mainly in the zones dominated by criteria a and d. Option 5 is found almost exclusively at the vertex of criterion c, while option 2 tended to be found towards the zone dominated by criterion c.

The last face of the tetrahedron (b-c-d) is shown in figure 3d. Option 1 was rated the highest in ten combinations of weights, option 2 in nine, option 3 in only five, and options 4 and 5 were chosen in twenty-one combinations each. Option 4 is located in the zone dominated by criterion d, while option 5 is found in the zone close to the vertexes of criteria b and c, and the side of the diagram connecting them. Option 1 is found in the central part of the diagram, while option 2 tended to be located towards the zone dominated by criterion c and option 3 tended to be towards criterion b.

Finally, figure 4 shows the tetrahedron representing 286 combinations of weights for the four criteria and the five options. Each triangle represents a slice or cut of the tetrahedron with an increasing value of criterion d. Option 1 was rated the highest in sixteen combinations of weights, option 2 in forty-one, option 3 in thirty-two, option 4 was in one hundred and sixty-six, and option 5 in thirty-one. If one considers that all the combinations of weights have the same probability of representing the true preferences of the decision maker or makers, then a probability of selection can be calculated for each option. These probabilities would be: high for option 4 (0.580),

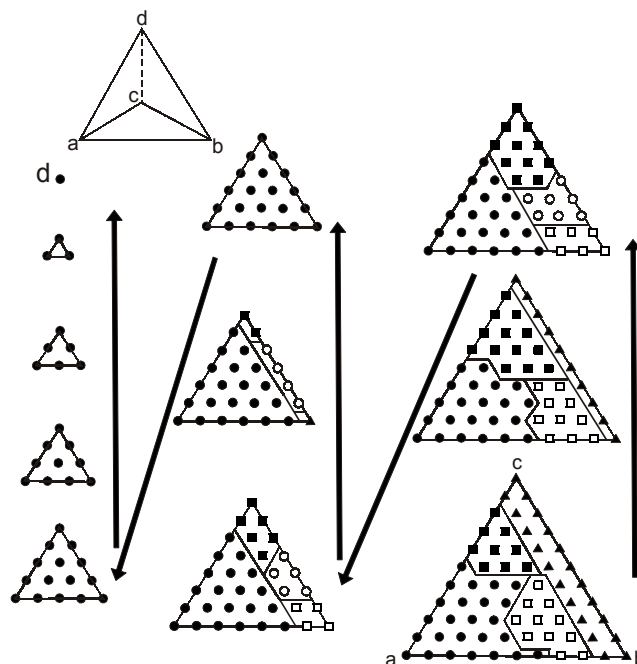


Figura 4. Diagrama del tetraedro con las 286 combinaciones de pesos. Misma leyenda que la figura 3.

Figure 4. Tetrahedron diagram with the 286 combinations of weights. Same legend as in figure 3.

Discusión

El valor y utilidad de los resultados de una herramienta de apoyo a la toma de decisiones, como el análisis multicriterio, depende en gran medida de la calidad de los datos de entrada al mismo. En particular, esta herramienta depende de la calidad y utilidad de las opciones y criterios empleados, así como de la información referente a las preferencias de los encargados de la toma de decisiones. Las opciones y criterios utilizados en la construcción de la matriz de impacto del análisis multicriterio dependen de la naturaleza del problema a tratar. Las opciones o cursos de acción son en muchos casos obvios debido a la problemática en particular, y los criterios normalmente se obtienen directamente de los objetivos que se desean alcanzar. Es importante que se evite la duplicidad de opciones o sesgo en el tipo y cantidad de criterios, así como encontrar una manera adecuada de medir o evaluar dichos criterios.

Las opciones utilizadas en este trabajo son sólo algunas de las combinaciones posibles de estratos espacio-temporales. Una de las posibilidades que se pudo haber incluido fue la de una veda total en las cinco áreas para los lances sobre objetos flotantes. Sin embargo, esto representaría una limitación al desarrollo y mejora de esta técnica de pesca para la flota mexicana, disminuyendo drásticamente las posibilidades de encontrar soluciones técnicas o de procedimiento para el problema de la captura incidental. Debido a ello, se decidió no considerar esta opción en la matriz de impacto del análisis multicriterio. Con respecto a los criterios de evaluación, se intentó mantener un balance entre los criterios ecológico-biológicos (captura incidental) y los criterios de aprovechamiento o técnico-económicos (estratos abiertos e ingreso bruto) para evitar un sesgo en la toma de decisiones.

Los resultados de un análisis multicriterio pueden variar dependiendo del método de estandarización y de la técnica multicriterio utilizada. El método de estandarización β crea una nueva escala para las calificaciones, dentro del intervalo entre 0.0 (calificación mínima) y +1.0 (calificación máxima). Es decir, considera que las calificaciones máximas y mínimas deben ser puntos de referencia preestablecidos que permitan realzar la distribución de las calificaciones. Este método de estandarización fue elegido debido a que se consideró que es superior a otros que solamente consideran la razón de cada calificación con la calificación máxima obtenida por criterio.

Por su parte, el análisis de concordancia tiene la ventaja de realizar comparaciones por pares de opciones, y considerar tanto el vector de pesos como la información cardinal de la matriz de impacto. Esta técnica no contiene las debilidades inherentes a la técnica de Función de Utilidad (Nijkamp *et al.*, 1990), sin embargo, no se descarta la necesidad de utilizar otros métodos de estandarización y/o técnicas multicriterio que pudieran mejorar el análisis en estudios posteriores.

Los resultados expresados en los diagramas ternarios y en el tetraedro corresponden directamente a la información mostrada en la matriz de impacto. La matriz de impacto muestra dos opciones que tienen, cada una, las calificaciones máximas

medium for options 2 (0.143), 3 (0.112) and 5 (0.108), and very low for option 1 (0.056).

However, if one assumes that the decision makers have preferences numerically greater than 0.0 for all the criteria, then the combinations of weights that are found in the internal part of the tetrahedron have higher probabilities of representing the true decision makers' preferences. The probabilities for each option of those 84 intermediate combinations found in the internal part of the tetrahedron are: high for option 4 (0.62), medium for option 2 (0.19), 3 (0.12), and 1 (0.07), and nil for option 5 (0.0). If only the combinations with weights greater than 0.1 for all the criteria are considered, we are left with only 10 strictly central combination of weights. Option 4 has a probability of being chosen of 0.7, option 1 of 0.2 and option 2 of 0.1.

Discussion

The value and usefulness of the results from a decision-making tool, such as the multicriteria analysis, greatly depend on the quality of the input data. In particular, this tool depends on the quality and usefulness of the options and criteria used, as well as on the information relative to the preferences of the decision-makers. The options and criteria used in the construction of the impact matrix in multicriteria analysis depends on the nature of the problem at hand. The options are in many cases obvious due to the particular problem, and the criteria are normally obtained directly from the objectives to be reached. It is important to avoid duplicity of options or bias in the amount or type of criteria, as well as to find an adequate way to measure or evaluate those criteria.

The options used in this analysis are just some of the possible combinations of spatial and temporal strata. One option that could have been added is the total closure of the five large areas for log-sets. However, this would represent a serious limitation to the development and improvement of this fishing technique for the Mexican fleet, drastically decreasing the possibilities of finding technical or procedural solutions to the incidental catch problem. Due to all this, it was decided not to consider this option in the construction of the impact matrix. With respect to the criteria selected in this study for the evaluation, an attempt to maintain a balance between the eco-biological criteria (incidental catch) and the techno-economical or production criteria (open strata and gross revenue) was made, in order to avoid a bias in the decision-making process.

The results of a multicriteria analysis may vary depending on the standardization method, and on the multicriteria technique used. The standardization method β creates a new scale of scores ranging from 0.0 (minimal score) to 1.0 (maximum score). That is, it considers that the maximum and minimum scores should be pre-established reference points, enhancing the score distribution. This standardization method was chosen since it was considered superior to other methods considering only the rate of each score to the maximum score per criteria.

The concordance analysis has the advantage of making pairwise comparisons of options, and considers both the

para dos criterios. Sin embargo, estas mismas opciones son las que presentan calificaciones mínimas o muy bajas para los otros dos criterios correspondientes. Debido a esto, es lógico esperar que estas opciones sean las elegidas en las zonas de los diagramas dominadas por los criterios para los cuales tienen las calificaciones más altas, y que en zonas intermedias de los diagramas sean elegidas las otras tres opciones. También es lógico esperar afinidades menores entre ciertas opciones con respecto a ciertos criterios tanto en la matriz de impacto como en los diagramas.

El análisis multicriterio es, precisamente, una formalización y cuantificación matemática de un método intuitivo, con bases y procedimientos estándares reconocidos. De hecho, la utilidad de este tipo de metodología se basa tanto en los resultados obtenidos como en el proceso mismo de análisis. El procedimiento obliga al analista y a los encargados de la toma de decisiones a estructurar el problema y sus posibles opciones de solución, así como a identificar los criterios bajo los cuales se evaluará cada opción. La integración de toda esa información en la matriz de impacto representa por sí misma un ejercicio de solución de problemas muy útil. La matriz de impacto y el vector de ponderaciones constituyen prácticamente la solución del problema, faltando únicamente una formalización matemática que en este caso fue el análisis de concordancia.

Sin embargo, cuando no es posible contar con el vector de ponderaciones del encargado de la toma de decisiones, se pueden utilizar los diagramas ternarios o el tetraedro para representar gráficamente todas las posibles combinaciones de ponderaciones, para tres o cuatro criterios, respectivamente. Estas herramientas gráficas permiten mostrar a los encargados de la toma de decisiones todas las posibilidades de acción basadas en las preferencias o intereses con respecto a los criterios. Esta información adicional puede llegar a ser de gran utilidad para el proceso de toma de decisiones, y aumentar el poder de negociación.

Los resultados del ejemplo de reducción de la captura incidental del dorado muestran que, a pesar de no contar con el vector de ponderación real del encargado de la toma de decisiones, es posible estimar la opción que tiene mayor probabilidad de ser elegida. Además, muestran la relación entre la matriz de impacto y las conclusiones lógicas que se pueden obtener de ella, y los resultados de la formalización matemática de dicho proceso.

En el ejemplo de la reducción de la captura incidental del dorado, sólo la opción 4 fue elegida en la mayoría de las combinaciones de pesos en todo el tetraedro, tanto en su conjunto, como en las combinaciones intermedias y las estrictamente centrales. Esta opción es la que propone la veda de las tres grandes áreas lejanas a las costas de México a lo largo de todo el año. La opción 4 es la que permite obtener los porcentajes más altos de reducción esperada de la captura incidental del dorado y de las otras especies analizadas. Esta opción es la que, de acuerdo al análisis multicriterio, tiene más probabilidades de ser elegida, considerando que se desconoce el vector de ponderación del o de los encargados de la toma de decisiones.

weights-vector and the cardinal information of the impact matrix. This technique does not have the weakness inherent to the Utility Function technique (Nijkamp *et al.*, 1990). However, the need for future studies with other standardizing methods and/or multicriteria techniques aiming to improve the analysis should not be discarded.

The resulting triangular diagrams and the tetrahedron directly correspond to the information shown in the impact matrix. The impact matrix shows two options (4 and 5), each with the highest scores for two criteria. However, the same two options have the lowest or very low scores for the other two criteria, respectively. Due to this, it makes sense to expect that these options are the chosen ones in the diagram zones dominated by the criteria for which they have the highest scores, and that in the rest of the diagram the other three options are chosen. It also makes sense to expect minor attractions between certain options and criteria, both in the impact matrix and the diagrams.

The multicriteria analysis is a formal mathematical quantification of an intuitive method, with recognized standard procedures and bases. In fact, the usefulness of this type of methodology is based both on the results obtained and on the analysis process itself. The procedure forces the analyst and the decision-makers to structure the problem and its possible solutions, and also to identify the criteria which will be used to evaluate each option. The blend of all that information in the impact matrix represents, by itself, a very useful problem solution exercise. The impact matrix and the weights or preference vector are practically the solution to the problem, and the only thing lacking would be the mathematical formalization, which in this case was the concordance analysis.

However, when the decision-maker's weights-vector is not available, triangular or tetrahedron diagrams can be used to represent graphically all the possible weight combinations, for three or four criteria, respectively. These graphical tools allow the analyst to show the decision-makers all the action possibilities based on the preferences or interests with respect to the criteria. This additional information can be of great help in the decision-making process, and increase the bargaining power.

The results of the example of reducing the mahi-mahi incidental catch, show that despite of not having the real weights-vector of the decision-makers, it is possible to estimate the option with higher possibilities of being chosen. Moreover, they show the relationship between the impact matrix and the logic conclusions that can be obtained from it, and the results from the mathematical formalization of the process.

In the example of the mahi-mahi incidental catch reduction, only option 4 was chosen in most of the weights' combinations of the tetrahedron, so as a whole, as well as in the intermediate and the strictly central combinations. This option proposes the closure of three large areas throughout the year. The three large areas are located far away from the Mexican coasts. Option 4 has the highest percentages of expected mahi-mahi and other species incidental catch reduction. This option is the one that,

La segunda mejor posibilidad es la opción 2. Esta opción tiene la segunda más alta probabilidad de representar las preferencias reales de los encargados de la toma de decisiones, aunque su probabilidad (0.143) es muy baja comparada con la probabilidad de la opción 4 (0.580). La segunda mejor opción, así como las opciones 1 y 3, tienen una debilidad adicional: los estratos vedados se encuentran dispersos a través de las zonas de pesca del Pacífico oriental, y representarían un costo administrativo mayor que la opción 4.

Sin embargo, es importante aclarar que, en el caso particular del ejemplo utilizado, existen una serie de fuentes de error e incertidumbre que se deben tener en cuenta al considerar los resultados puntuales. Antes que nada, la información se obtuvo a partir de una base de datos que contiene sólo el 50% de los registros de la flota atunera mexicana (datos del PNAAPD) y que, además, la flota mexicana realiza muy pocos lances sobre objetos flotantes. Debido a ello la información fue muy escasa, y tuvo que agruparse en grandes zonas y en varios años, a pesar de las variabilidades espacio-temporales que se registran en la captura incidental (Anónimo, 2000). Para corregir estos errores sería necesario realizar un análisis similar con la información de toda la flota internacional y considerar todos los tipos de lances.

Por otro lado, para poder utilizar al dorado como una especie útil como referencia, que permita indirectamente disminuir de manera significativa la captura incidental de otras especies en los lances sobre objetos flotantes, es necesario realizar estudios para ver si hay una correlación directa entre la captura incidental del dorado y la de otras especies.

Actualmente en la pesquería existe un procedimiento de vedas espaciales y temporales estructuradas en base a la captura del AAA y del atún patudo (Anónimo, 2000). Estas vedas incluyen, para el primer caso, a todos los tipos de lances en una gran zona denominada ARCAA (Área de Regulación de la Comisión para el Aleta Amarilla), y en 2000 y 2001 incluyeron casi 2 meses completos de veda al final del año. Para el caso del atún patudo las vedas son sobre los lances sobre objetos flotantes. En el caso de los dos tipos de vedas para los atunes se logra indirectamente una veda para la captura incidental. Es decir, las implicaciones de un sistema de vedas para disminuir la captura incidental pudiera ser menor debido a que, indirectamente, el último trimestre ya se encuentra prácticamente vedado en el ARCAA.

No obstante, en muchos casos el esfuerzo no ejercido en los meses y zonas de veda puede haberse redirigido a otras zonas o temporadas, con el consiguiente efecto de un desplazamiento del problema de la captura incidental. Es decir, por un lado la pérdida de ingreso por dejar de pescar AAA en las zonas vedadas puede verse compensada por la redirección espacio-temporal del esfuerzo pesquero, o entre los diferentes tipos de lances. Por otra parte, la estimación del porcentaje de reducción de la captura incidental, tanto del dorado como el de otras especies, sujetos de por sí a variaciones interanuales, pudiera verse afectada por dicha redistribución del esfuerzo pesquero. Por tanto, los estudios futuros sobre vedas encaminadas a disminuir la

according to the multicriteria analysis, has the highest probability of being chosen, considering that the weights-vector of the decision-maker(s) is unknown.

The second-best possibility is option number 2. This option has the second highest probability of representing the true preferences of the decision-makers, although its probability (0.143) is very small compared to the probability of option 4 (0.580). The second-best option and options 1 and 3, have a further drawback: the closed strata are scattered throughout the eastern Pacific fishing grounds and would represent a higher administrative cost than option 4.

However, it is important to note that, in the particular case of the example used, there are a series of error and uncertainty sources that should be thought about when considering the specific results. First of all, the information was obtained from a database with only 50% of the Mexican purse-seine fleet records (data from the PNAAPD), and also that the Mexican fleet makes very few log-sets. Due to this, the information was very scarce, and had to be clustered in big spatial areas and several years, despite the spatial and temporal variations registered in the incidental catch (Anónimo, 2000). To correct those sources of errors, it would be necessary to make a similar analysis with the information of all the international fleet, and consider all set-types.

On the other hand, to be able to use mahi-mahi as a useful reference species through which indirectly a significant incidental catch decrease of other species can be obtained on log-sets, it would be necessary to conduct studies to see if there is a direct correlation between mahi-mahi incidental catch and that of other species.

For the last years there has been a procedure of spatial and temporal closures based on the catch of yellowfin tuna and big-eye tuna (Anónimo, 2000). These closures include, for the first case, all set-types in a big area called CYRA (Commission's Yellowfin Regulatory Area), and in 2000 and 2001 the closure was almost 2 whole months at the end of the year. Bigeye closures are on log-sets only. In the case of both types of tuna-related closures, an indirect incidental catch-related closure is achieved. That is, the implications of a system of closures to reduce the incidental catch could be few since, indirectly, practically the whole last quarter is already closed in the CYRA.

However, in many cases, the effort that would have been exerted on the closed months and areas could be re-directed to other zones or seasons, with the consequent displacement effect of the incidental catch problem. That is, on one hand the loss of revenue for not catching yellowfin tuna could be compensated by this spatial, temporal or even among-set-types re-direction of the fishing effort. On the other hand, the estimate of incidental catch reduction percentage, both of mahi-mahi or other species, already under interannual variations, could be affected by such fishing effort redistribution. Therefore, future studies on closures aimed at reducing the incidental catch should consider both the effects of closures already in practice in the fishery, as well as the effects of fishing effort displacement to other areas, seasons or set-types.

captura incidental deben considerar tanto los efectos de las vedas ya existentes en la pesquería, como los efectos de la sustitución del esfuerzo pesquero en otras zonas, temporadas o tipos de lances.

De cualquier manera, actualmente, para la flota mexicana la captura de atún con lances sobre objetos flotantes representa menos del 5% de la captura total en el OPO. Por ello, la flota atunera mexicana no resentiría de manera significativa esta veda, a menos que los pescadores se vean forzados a realizar lances sobre objetos flotantes debido a la política “*dolphin-safe*” u otras medidas.

Agradecimientos

Los autores agradecen a CONACYT por el apoyo económico para la realización de este trabajo, a los revisores por sus valiosas recomendaciones y contribuciones al manuscrito, y a Gisela Heckel por sus atinados comentarios.

Referencias

- Alverson, D.L., Freeberg, M.H., Murawski, S.A. and Pope, J.G. (1994). A global assessment of fisheries bycatch and discards. FAO Fish. Tec. Pap., 339. Rome, Italy, 233 pp.
- Anónimo. (2000). Annual Report of the Inter-American Tropical Tuna Commission (year 1998). La Jolla, USA, 357 pp.
- Caddy, J.F. y Griffiths, R.C. (1996). Recursos marinos vivos y su desarrollo sostenible: perspectivas institucionales y medioambientales. FAO Fish. Tec. Pap., 353, Roma, Italia, 191 pp.
- Enríquez-Andrade, R.R., (1994). Evaluación económico-ecológica de un programa de acuicultura de bajo rendimiento en la zona sur del estero Escodama (Escopamas), Mazatlán, Sinaloa. Reporte preparado para Asesores en Biología Pesquera S.A. de C.V., Ensenada, Baja California, 97 pp.
- FAO (1995). Code of Conduct for Responsible Fishing. Rome, Italy, 46 pp.
- Gauvin, J.R., Haflinger, K. and Nerini, M. (1995). Implementation of a voluntary bycatch avoidance program in the flatfish fisheries of the eastern Bering Sea. In: B. Baxter and S. Keller (eds.) Solving Bycatch: Considerations for Today and Tomorrow, Alaska Sea Grant College Program Report No. 96-03, pp. 79-85.
- In any case, nowadays the yellowfin tuna catch on log-sets represents less than 5% of the eastern Pacific total catch for the Mexican fleet. Thus, the Mexican fleet would not significantly resent this closure unless more fishermen are forced into log-setting by the “dolphin-safe” policy or other measures.

Acknowledgements

The authors thank the Mexican Science and Technology Council (CONACYT) for its economic support, the referees for their valuable recommendations and contributions to the manuscript, and to Gisela Heckel for her comments.

English translation by the authors.

-
- Hall, M.A. (1996). On bycatches. Rev. Fish Biol. Fish., 6: 319-352.
- Hall, M.A. (1998). An ecological view of the tuna-dolphin problem: impacts and trade-offs. Rev. Fish Biol. Fish., 8: 1-34.
- Lai, Y.J. and Hwang, C.L. (1994). Fuzzy Multiple Objective Decision Making. Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, 450 pp.
- Mousseau, V. and Slowinski, R. (1996). Inferring an ELECTRE tri model from assignment examples. Cahier No. 14, Laboratoire d'Analyse et Modélisation de Systèmes pour l'Aide à la Décision. Université de Paris Dauphiné, 18 pp.
- Munda, G., Nijkamp, P. and Rietveld, P. (1994). Qualitative multicriteria evaluation for environmental management. Ecological Economics, 10: 97-112.
- Nijkamp, P., Rietveld, P., and Voogd, H. (1990). Multicriteria evaluation in physical planning. North Holland, Netherlands, 219 pp.
- Rose, C.D. and Hassler, W.W. (1968). Age and growth of the Dolphin, *Coryphaena hippurus* (Linnaeus), in the North Carolina Waters. Trans. Am. Soc., 97(3): 271-276.
- Roy, B. (1968). Classement et choix en présence de points de vue multiples (la méthode ELECTRE), R.I.R.O., 2: 57-75.
- Roy, B. (1972). Decisión avec critères multiples. Metra, 11: 121-151.
- Vaca-Rodríguez, J.G. y Dreyfus-León, M.J. (2000). Análisis de las estrategias de pesca del atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) en el Pacífico Oriental basado en simulaciones Monte Carlo de un modelo densodependiente. Ciencias Marinas, 26(3): 369-391.