

## Evaluación de zonas pesqueras de atún en el Pacífico oriental con un método multicriterio

### Evaluation of tuna fishing zones in the eastern Pacific using a multicriteria method

JG Vaca-Rodríguez<sup>1,2\*</sup>, R Carrara-Rosales<sup>1</sup>, G Montaña-Moctezuma<sup>3</sup>, E Almanza-Heredia<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, Km. 103 Carretera Tijuana-Ensenada, Ensenada CP 22860, Baja California, México. \* E-mail: juangvaca@uabc.mx, juangvaca@yahoo.com, elvigia@cicese.mx

<sup>2</sup> Programa Nacional de Aprovechamiento del Atún y de Protección de Delfines (PNAAPD), Km. 107 Carretera Tijuana-Ensenada, campus CICESE, Ensenada, Baja California, México.

<sup>3</sup> Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Universidad Autónoma de Baja California, Km. 103 Carretera Tijuana-Ensenada, Ensenada, Baja California, México.

#### Resumen

Se realizó una evaluación multicriterio de zonas pesqueras de tónidos mediante el método de función de utilidad ( $U$ ), considerando tres objetivos de manejo (maximizar las capturas de tónidos, minimizar la mortalidad de delfines y minimizar la captura incidental) y siete ponderaciones entre éstos. Se utilizó como caso de estudio la pesquería de atún con redes de cerco de la flota mexicana en el Pacífico oriental, con datos de 1998 a 2003 del Programa Nacional de Aprovechamiento del Atún y de Protección de Delfines. Las zonas pesqueras se clasificaron de acuerdo a la función de utilidad por trimestre, encontrándose que 64% fueron identificadas como conflictivas (es decir que  $U > 0.666$  para la ponderación de al menos un tomador de decisiones, pero al mismo tiempo  $U < 0.333$  para la de al menos otro), por lo que en 2 de cada 3 cuadrantes trimestrales, es necesaria una negociación entre encargados de la toma de decisiones por la naturaleza conflictiva de la pesquería. Se localizaron cuadrantes con características específicas en donde, por ejemplo, algunos lances explicaban los altos valores de captura incidental, o en donde el enfoque de la pesquería hacia el atún aleta azul explicaba la clasificación del cuadrante como excelente. A pesar de que las ponderaciones utilizadas resultaron una buena aproximación, dada la gran variabilidad espaciotemporal de los recursos pelágicos, las preferencias (ponderaciones) reales deberían estar diferenciadas en espacio y tiempo para ser realmente útiles en el proceso de toma de decisiones. Un aspecto importante es que ya se han implementado estrategias y planes de manejo bien estructurados y eficientes para alcanzar dos de los objetivos de manejo (maximizar las capturas de tónidos y minimizar la mortalidad de delfines), mientras que para el tercero (minimizar la captura incidental) hasta el momento no se cuenta con un esquema parecido.

*Palabras clave:* multicriterio, función utilidad, captura incidental.

#### Abstract

A multicriteria assessment of fishing zones was carried out using the utility function ( $U$ ) technique, considering three management objectives (maximizing tuna yield, minimizing dolphin mortality, and minimizing bycatch) and seven different weights among them. The Mexican purse-seine tuna fishery in the eastern Pacific Ocean was used as case study, based on data obtained between 1998 and 2003 by the Mexican Tuna-Dolphin Program. The fishing zones were classified by trimester according to  $U$ , and 64% were identified as conflictive ( $U > 0.666$  for some weights, but  $U < 0.333$  for others); hence, two of every three trimestral quadrants require negotiation among the decision makers given the complex nature of the fishery. Quadrants with specific characteristics were identified in cases where, for instance, some particular sets explained the high bycatch values, or the targeting of bluefin tuna explained their classification as excellent. Even though the weights used provided a good proxy, in view of the great variability in space and time of the pelagic resources, actual preferences (weights) should be differentiated in space and time in order to be useful in the decision-making process. Particularly noteworthy is that well-structured and efficient management schemes have already been implemented for two of the objectives (maximizing tuna yield and minimizing dolphin mortality), but not for the third (minimizing bycatch).

*Key words:* multicriteria, utility function, bycatch.

#### Introducción

Una de las estrategias de manejo utilizadas para regular las pesquerías es cerrar ciertas zonas a la actividad, ya sea temporal o permanentemente. Los objetivos de esta estrategia pueden ser variados, y van desde proteger al recurso durante su

#### Introduction

One of the management strategies used to regulate fisheries is to close certain areas to fishing, either seasonally or permanently. The objectives can be many, ranging from protecting the resource during the breeding season to reducing the

periodo de reproducción y crianza, hasta disminuir las tasas de captura incidental de ciertas especies (Alverson *et al.* 1994, Hall 1996, Hiddink *et al.* 2006, IATTC 2006).

Los criterios para seleccionar dichas zonas tradicionalmente se basan en los objetivos de manejo de la pesquería. Si solamente se considera un objetivo, el problema es relativamente sencillo de resolver; sin embargo, si se desea considerar más de un objetivo de manejo de manera simultánea, el problema es más complejo. Los criterios de selección tradicionalmente presentan cierto nivel de conflicto entre sí, lo que dificulta la toma de decisiones pues no siempre existe una zona que cumpla con todos los requisitos impuestos por los objetivos de manejo. Más aún, en el momento en que existen dos o más criterios de selección surge el problema de las diferentes ponderaciones que pueden otorgar a ellos los encargados de la toma de decisiones (Cohon y Marks 1975, Evans 1984, Nijkamp *et al.* 1990, Lai y Hwang 1994, Strager y Rosenberger 2006).

Existen algunos métodos, como los llamados multicriterio, que permiten analizar problemas en los que intervienen diferentes criterios que deben considerarse de manera simultánea (Cohon y Marks 1975, Evans 1984, Zionts 1992, Lai y Hwang 1994, Pan *et al.* 2001, Vaca-Rodríguez y Enríquez-Andrade 2006). 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 predefinido de opciones o cursos de acción. La finalidad es seleccionar, priorizar o jerarquizar las opciones en función de un conjunto de criterios relevantes (Lai y Hwang 1994).

La pesquería del atún con red de cerco en el Océano Pacífico Oriental (OPO) presenta conflictos entre los criterios de selección de zonas de veda, además de que, debido a su carácter internacional, la ponderación entre ellos no es homogénea. Se trata de una pesquería multispecífica que captura principalmente atún aleta amarilla (AAA, *Thunnus albacares*) y barrilete (*Katsuwonus pelamis*), pero también atún aleta azul (*Thunnus thynnus orientalis*) y otros túnidos (IATTC 2002). Como en toda pesquería, en su manejo se tienen que considerar múltiples objetivos, de los cuales tres son de especial interés: maximizar el rendimiento de todas las especies de atún (túnidos), minimizar la mortalidad de delfines y minimizar la captura incidental (captura no objetivo) (IATTC 2006, Vaca-Rodríguez y Enríquez-Andrade 2006).

Los conflictos entre los objetivos de la pesquería tradicionalmente se han manejado en la práctica mediante la regulación de los tres tipos de lances que se realizan con la red de cerco. En el OPO la pesca comercial de atún es realizada principalmente con tres tipos de artes de pesca, la red de cerco, la vara y el palangre, y entre ellas la red de cerco es la que contribuye con el mayor porcentaje de la captura total. Con redes de cerco los atunes son capturados en tres tipos de cardúmenes: asociados con delfines, asociados con objetos flotantes ya sean naturales o artificiales, y cardúmenes libres o brisas (IATTC 2006). Los lances sobre cada tipo de cardumen se conocen respectivamente como lances sobre mamíferos marinos o sobre

bycatch rates of certain species (Alverson *et al.* 1994, Hall 1996, Hiddink *et al.* 2006, IATTC 2006).

The criteria used to select these areas are usually based on the fishery management objectives. When only one objective is involved, the problem is relatively simple to solve, but when two or more objectives are to be considered simultaneously, then the problem is more complex. Decision making becomes more difficult since there tends to be a certain amount of conflict among selection criteria and one area does not always comply with all the requirements imposed by the management objectives. Moreover, when two or more criteria exist, decision makers are faced with the problem of the different weights that can be assigned to each (Cohon and Marks 1975, Evans 1984, Nijkamp *et al.* 1990, Lai and Hwang 1994, Strager and Rosenberger 2006).

Some methods allow the analysis of problems involving different criteria that must be considered simultaneously (Cohon and Marks 1975, Evans 1984, Zionts 1992, Lai and Hwang 1994, Pan *et al.* 2001, Vaca-Rodríguez and Enríquez-Andrade 2006). Multicriteria analysis is a set of methods or techniques that facilitates the decision-making process in situations involving a finite or predetermined number of options or strategies. The objective is to select, prioritize or establish a hierarchy based on a set of relevant criteria (Lai and Hwang 1994).

The purse-seine tuna fishery in the eastern Pacific Ocean (EPO) has conflicting selection criteria for no-fishing zones, and given its international nature, their weighting is not homogeneous. This fishery is multispecific, targeting primarily yellowfin tuna (YFT, *Thunnus albacares*) and skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*), but also bluefin tuna (*Thunnus thynnus orientalis*) and other tuna-like species (IATTC 2002). As in all fisheries, multiple management objectives are involved, of which three are of special interest: maximizing tuna yield (all species), minimizing dolphin mortality, and minimizing bycatch (incidental or non-target catch) (IATTC 2006, Vaca-Rodríguez and Enríquez-Andrade 2006).

The conflicts among the management objectives are mainly attributable to the three types of sets used by purse seiners. In the EPO, tuna are fished commercially employing three types of gear: purse seine, pole and line, and longline; of these, the first contributes the highest percentage to the total catch. Tuna are caught by purse seines in three types of schools: associated with dolphins, associated with floating objects (either natural or artificial), and free schools (IATTC 2006). The sets on each type of school are known as marine mammal or dolphin sets, log sets, and school sets, respectively.

Dolphin sets catch adult tuna, primarily YFT; dolphin mortality occurs in these sets but bycatch is minimal. Log sets take a mixture of tuna, mainly skipjack and juvenile YFT and big-eye tuna (*Thunnus obesus*), as well as high levels of bycatch. School sets fall in the middle of the other two (Joseph 1994; Hall 1996, 1998; IATTC 2006; Vaca-Rodríguez and Enríquez-Andrade 2006).

delfines, lances sobre objetos flotantes o palos, y lances sobre brisas.

Los lances sobre mamíferos marinos capturan principalmente atunes adultos, en particular de AAA. En estos lances se registra mortalidad de delfines pero la captura incidental de otras especies es mínima. En cambio, los lances sobre objetos flotantes se caracterizan por pescar una mezcla de atunes, principalmente barrilete, juveniles de AAA y atún patudo (*Thunnus obsesus*), así como una elevada captura incidental. Los lances sobre brisas realizan una captura intermedia entre los dos anteriores (Joseph 1994; Hall 1996, 1998; IATTC 2006; Vaca-Rodríguez y Enríquez-Andrade 2006).

Por lo antes expuesto resulta de interés realizar una evaluación multicriterio de zonas pesqueras considerando múltiples objetivos de manejo de la pesquería (y, por lo tanto, múltiples criterios de selección), en un escenario con múltiples ponderaciones entre éstos. El propósito particular de este trabajo es analizar, como caso de estudio, el desempeño de diferentes zonas utilizadas por la pesquería mexicana del atún en el OPO con respecto a sus tres principales objetivos de manejo mediante un análisis espacio-tiempo que los considere de manera simultánea, tomando en cuenta además diferentes ponderaciones entre ellos.

## Materiales y métodos

La zona de estudio fue el OPO, definido para los fines de este trabajo como la zona entre el litoral del continente americano (Norte, Centro y Sudamérica) y la longitud 150°O, de 40°N a 40°S (IATTC 2002).

La base de datos utilizada fue proporcionada por el Programa Nacional de Aprovechamiento del Atún y de Protección de Delfines (PNAAPD), la cual cuenta con información de los lances de la flota mexicana, incluyendo localización, fecha, tipo de lance, captura incidental, mortalidad de delfines y captura de túnidos, con datos de 1998 a 2003. Esta base de datos representa aproximadamente el 50% de los lances efectuados por la flota atunera mexicana con red de cerco en el OPO.

Se utilizó el programa informático ArcView 3.2a para generar un conjunto de 211 cuadrantes de 5° latitud × 5° de longitud en el área que corresponde al OPO. Cada uno de estos cuadrantes representa una zona pesquera identificada mediante un número único. La base de datos se subdividió por año, trimestre y zona pesquera.

Fue necesario calcular un índice para la captura incidental (Vaca-Rodríguez y Enríquez-Andrade 2006) que considerara cierto grado de equivalencia entre los diferentes niveles de la cadena trófica de manera que: 1 kg de tiburón o picudo = 10 kg de pez grande = 100 kg de pez pequeño. Posteriormente, se obtuvieron los valores acumulados, por trimestre y zona pesquera, del índice de captura incidental, de la mortalidad de delfines, de la captura de túnidos y del total de lances, así como los valores por número total de lances (sumatoria de lances sobre delfines, brisas y palos) del índice de captura incidental, de la mortalidad de delfines, y de la captura de túnidos.

A multicriteria evaluation of fishing zones considering multiple management objectives (and, therefore, multiple selection criteria), in a multiple-weight scenario, was thus considered relevant. This study aims to analyze, as a case study, the performance of different areas used by the Mexican tuna fishery in the EPO in relation to these three management objectives by applying a spatiotemporal analysis that simultaneously considers the three objectives, as well as different weights among them.

## Material and methods

The study area was the EPO, defined for the purpose of this work as the area between the coast of the American continent (North, Central and South America) and longitude 150°W, from 40°N to 40°S (IATTC 2002).

The database used was provided by the Mexican Tuna-Dolphin Program (*Programa Nacional de Aprovechamiento del Atún y de Protección de Delfines*, PNAAPD). It contains information on the sets made by the Mexican tuna fleet, including location, date, set type, bycatch, dolphin mortality, and tuna yield. This database represents approximately 50% of the fleet's purse-seine sets in the EPO. Data covering the period from 1998 to 2003 were analyzed

ArcView 3.2a software was used to generate a set of 211 quadrants of 5° latitude × 5° longitude in the area corresponding to the EPO. Each one of these quadrants represents one fishing zone identified by a particular number. The database was subdivided by year, trimester and fishing zone.

It was first necessary to calculate an index for the bycatch (Vaca-Rodríguez and Enríquez-Andrade 2006) that would consider a certain degree of equivalency between the different levels of the food chain, i.e.: 1 kg of shark or billfish = 10 kg of large fish = 100 kg of small fish. We then obtained the cumulative values, per trimester and fishing zone, of the bycatch index, dolphin mortality, tuna yield, and total number of sets (sum of the dolphin, log and school sets), as well as the values per total number of sets of the bycatch index, dolphin mortality, and tuna yield.

To determine the minimum number of sets required in each fishing zone or quadrant to be considered in the analysis, we conducted a preliminary revision of the total number of sets per trimester and quadrant (trimestral quadrant).

To apply the utility function for the multicriteria analysis, the impact matrix  $S$  was defined:

$$S = \begin{bmatrix} S_{1,1} & \dots & S_{p,1} \\ \dots & \dots & \dots \\ S_{l,k} & \dots & S_{p,K} \end{bmatrix}$$

where each element  $S_{p,k}$  represents the performance relative to each criterion  $Z_p$  ( $p = 1, \dots, P$ ) for each option  $k$  ( $k = 1, \dots, K$ )

Con la finalidad de determinar el número mínimo de lances que deben haberse realizado en cada zona pesquera o cuadrante para ser considerada en el análisis, se realizó una revisión preliminar de la cantidad total de lances por trimestre y cuadrante (cuadrante trimestral).

Para emplear la técnica multicriterio de la función de utilidad se definió la matriz de impacto  $S$ :

$$S = \begin{bmatrix} S_{1,1} & \dots & S_{p,1} \\ \dots & \dots & \dots \\ S_{l,k} & \dots & S_{p,K} \end{bmatrix}$$

donde cada elemento  $S_{p,k}$  representa el desempeño respecto a cada criterio  $Z_p$  ( $p = 1, \dots, P$ ) para cada opción  $k$  ( $k = 1, \dots, K$ ) (Nijkamp *et al.* 1990, Munda *et al.* 1994, Vaca-Rodríguez y Enríquez-Andrade 2002). Los renglones representan los criterios, y las columnas las opciones.

Los valores de la matriz de impacto fueron estandarizados utilizando  $\varepsilon$  (Nijkamp *et al.* 1990):

$$\varepsilon_p = \frac{Z_p - \min(Z_p)}{\max(Z_p) - \min(Z_p)}$$

en donde  $\max(Z_p)$  y  $\min(Z_p)$  indican los valores máximos y mínimos observados del  $p$ -ésimo criterio para todas las opciones. El método de estandarización empleado generó una nueva escala de las calificaciones en un intervalo del 0.0 (calificación mínima) al +1.0 (calificación máxima).

La matriz de impacto para las zonas pesqueras de atún tuvo como criterios el índice de captura incidental por lance, la mortalidad de delfines por lance y la captura de túnidos por lance. Las opciones fueron los cuadrantes de  $5^\circ \times 5^\circ$  o zonas pesqueras. Con la finalidad de comparar directamente la mortalidad de delfines por lance y el índice de captura incidental por lance con la captura de túnidos por lance, la matriz de impacto estandarizada se modificó para ajustarse al criterio de monotonicidad de preferencias. Este criterio establece que para cada función objetivo, una opción con un valor mayor siempre será preferida sobre otra con un valor menor en el caso de buscar la maximización, y viceversa para un problema de minimización, manteniendo todas las demás funciones objetivo constantes (Chankong y Haimes 1983). Esto es, que los valores altos de captura de túnidos son deseables, mientras que por el contrario los valores altos del índice de captura incidental o la mortalidad de delfines no lo son. Por lo tanto en la matriz de impacto estandarizada se modificó utilizando:

$$s'_{p,k} = 1 - s_{p,k}$$

para  $p =$  índice de captura incidental por lance y  $p =$  mortalidad de delfines por lance, de tal manera que lo más deseable ahora sea tener valores altos de estos objetivos de manejo modificados.

(Nijkamp *et al.* 1990, Munda *et al.* 1994, Vaca-Rodríguez and Enríquez-Andrade 2002). The rows represent the criteria and the columns the options.

The impact matrix values were standardized using  $\varepsilon$  (Nijkamp *et al.* 1990):

$$\varepsilon_p = \frac{Z_p - \min(Z_p)}{\max(Z_p) - \min(Z_p)}$$

where  $\max(Z_p)$  and  $\min(Z_p)$  are the maximum and minimum values observed in the  $p$ -th criterion for all the options. The standardization method used generated a new classification scale ranging from 0.0 (minimum value) to +1.0 (maximum value).

The impact matrix for the tuna fishing zones included the following criteria: bycatch index per set, dolphin mortality per set, and tuna catch per set. The options were the  $5^\circ \times 5^\circ$  quadrants or fishing zones. To be able to directly compare dolphin mortality per set and bycatch index per set with tuna catch per set, the standardized impact matrix was modified to fit the preference monotonicity criterion. This criterion establishes that for each objective function, an option with a higher value will always be preferred over one with a lower value when maximization is desired, and vice versa in the case of minimization, maintaining all the other objective functions constant (Chankong and Haimes 1983). That is, high tuna catch values are desirable, whereas high bycatch index and dolphin mortality values are not. The standardized impact matrix was thus modified as follows:

$$s'_{p,k} = 1 - s_{p,k}$$

for  $p =$  bycatch index per set and  $p =$  dolphin mortality per set, so that high values of these modified management objectives are now desirable.

The utility function technique requires a weight vector:

$$w = (w_1, \dots, w_p)$$

$$\sum_p w_p = 1$$

which contains the relative importance of each criterion according to the decision-maker's viewpoint. For practical purposes, only seven different weight vectors were used based on the fishery management objectives, considering the following scenarios: three extreme ((1, 0, 0), (0, 1, 0), (0, 0, 1)); one medium (0.333, 0.333, 0.333); and three intermediate ((0.666, 0.166, 0.166), (0.166, 0.666, 0.166), (0.166, 0.166, 0.666)). The vectors were obtained from an equilateral triangle in which each vertex represents the extreme values (Vaca-Rodríguez and Enríquez-Andrade 2002).

The utility function technique was used to assign a classification (or utility values,  $U$ ) to each fishing zone in relation to

La técnica multicriterio de función de utilidad requiere un vector de pesos o ponderaciones:

$$w = (w_1, \dots, w_p)$$

$$\sum_p w_p = 1$$

que contiene la importancia relativa de cada criterio de acuerdo al punto de vista de la persona que tomará decisiones. Para fines prácticos, sólo se utilizaron siete diferentes vectores de pesos de acuerdo a los objetivos de manejo de la pesquería, utilizando tres escenarios extremos ((1, 0, 0), (0, 1, 0) y (0, 0, 1)); uno medio (0.333, 0.333, 0.333); y tres intermedios ((0.666, 0.166, 0.166), (0.166, 0.666, 0.166) y (0.166, 0.166, 0.666)). Los vectores se obtuvieron a partir de un triángulo equilátero en el que cada vértice representa los valores extremos (Vaca-Rodríguez y Enríquez-Andrade 2002).

Se utilizó la técnica multicriterio de función de utilidad para asignar calificaciones (o valores de utilidad,  $U$ ) a cada zona pesquera con respecto a los objetivos de manejo. La función de utilidad lineal se expresa de tal manera que el desempeño de la opción  $k$  es:

$$U_k = \sum_p w_p \times s_{p,k} \quad (k = 1, \dots, K)$$

en donde  $w$  es el peso o ponderación correspondiente y  $s$  es el elemento de la matriz de evaluación (Nijkamp *et al.* 1990). Las siete funciones de utilidad obtenidas a partir de las siete ponderaciones sirvieron de base para generar mapas trimestrales.

Cada zona pesquera por trimestre (cuadrante trimestral) fue clasificada de acuerdo a la siguiente escala: excelente, si para las siete ponderaciones  $U > 0.666$ ; muy buena, si para cinco o seis ponderaciones  $U > 0.666$  y para el resto  $0.333 < U < 0.666$ ; buena, si para tres o cuatro ponderaciones  $U > 0.666$  y para el resto  $0.333 < U < 0.666$ ; suficiente, si para una o dos ponderaciones  $U > 0.666$  y para el resto  $0.333 < U < 0.666$ , o si para una o dos ponderaciones  $U < 0.333$  y para el resto  $0.333 < U < 0.666$ ; mala, si para tres o cuatro ponderaciones  $U < 0.333$  y para el resto  $0.333 < U < 0.666$ ; muy mala, si para cinco o seis ponderaciones  $U < 0.333$  y para el resto  $0.333 < U < 0.666$ ; pésima, si para las siete ponderaciones  $U < 0.333$ ; y, finalmente, conflictiva, si en la misma zona pesquera hay por lo menos una ponderación con  $U > 0.666$  y por lo menos una ponderación con  $U < 0.333$ .

Para analizar la variabilidad temporal de la clasificación se seleccionó una zona pesquera que hubiera tenido actividad en la mayoría de los trimestres del periodo analizado y se utilizó nuevamente la técnica multicriterio de función de utilidad. En esta ocasión las opciones, en lugar de ser diferentes zonas pesqueras, fueron los trimestres a lo largo de todo el periodo.

## Resultados

Muy pocas zonas pesqueras presentaron actividad pesquera, y menos aún fueron las que registraron 30 lances o

the management objectives. The linear utility function is expressed so that the performance of option  $k$  is:

$$U_k = \sum_p w_p \times s_{p,k} \quad (k = 1, \dots, K)$$

where  $w$  is the corresponding weight and  $s$  is the element of the evaluation matrix (Nijkamp *et al.* 1990). The seven utility functions obtained from the seven weight vectors served as the basis to generate trimestral maps.

Each fishing zone per trimester (trimestral quadrant) was classified according to the following scale: excellent, if  $U > 0.666$  for seven weight vectors; very good, if  $U > 0.666$  for five or six weight vectors and  $0.333 < U < 0.666$  for the rest; good, if  $U > 0.666$  for three or four weight vectors and  $0.333 < U < 0.666$  for the rest; sufficient, if  $U > 0.666$  for one or two weight vectors and  $0.333 < U < 0.666$  for the rest, or if  $U < 0.333$  for one or two weight vectors and  $0.333 < U < 0.666$  for the rest; bad, if  $U < 0.333$  for three or four weight vectors and  $0.333 < U < 0.666$  for the rest; very bad, if  $U < 0.333$  for five or six weight vectors and  $0.333 < U < 0.666$  for the rest; extremely bad, if  $U < 0.333$  for seven weight vectors; and, finally, conflictive, if in the same fishing zone  $U > 0.666$  for at least one weight vector and  $U < 0.333$  for at least one weight vector.

To analyze the temporal variability of the classification, we selected one fishing zone that would have had activity in most of the trimesters of the period analyzed (1998–2003) and the utility function technique was used again. In this case, the options, instead of being different fishing zones, were the trimesters throughout the study period.

## Results

Very few zones showed fishing activity and even fewer presented 30 sets or more per trimester. Of the 211 fishing zones of  $5^\circ$  latitude  $\times$   $5^\circ$  longitude generated in the EPO, only 82 had fishing activity in some trimester of the period analyzed. A total of 1340 trimestral quadrants were recorded, and less than 30 sets were made in 70% of them; however, of the 46,080 sets recorded during the period, only 17.2% occurred in those same trimestral quadrants with less than 30 sets each. In other words, there are many fishing zones with few sets and few zones with many sets.

In general, 30 sets per trimester is a good criterion to pre-select the fishing zones to be analyzed. The average number of sets per trimestral quadrant was 34, and the distribution of the number of sets per trimestral quadrant showed an asymptotic trend (fig. 1). In view of this, we decided to analyze only those trimestral quadrants that had 30 sets or more (a figure slightly below the average). The bycatch index per set, dolphin mortality per set, and tuna catch per set values for zones having less than 30 sets might not have been representative. In the particular case of 2003, only 21 fishing zones showed 30 sets or more

más por trimestre. De las 211 zonas pesqueras de 5° latitud × 5° longitud generadas en el OPO, solamente 82 llegaron a tener actividad pesquera en algún trimestre del periodo analizado. Se registraron 1340 cuadrantes trimestrales, en 70% de los cuales se realizaron menos de 30 lances. Sin embargo, del total de 46,080 lances del periodo, sólo 17.2% se realizaron en esos mismos cuadrantes trimestrales con menos de 30 lances cada uno. Es decir, hay muchas zonas pesqueras con pocos lances y pocas zonas con muchos lances.

En general, 30 lances por trimestre es un buen criterio para preseleccionar las zonas pesqueras para su análisis. El promedio de lances por cuadrante trimestral fue de 34 lances, y la distribución de número de lances por cuadrante trimestral presentó una tendencia asintótica (fig. 1). Debido a esto se tomó la decisión de considerar para el análisis solamente a aquellos cuadrantes trimestrales que tuvieran 30 lances o más (cifra ligeramente inferior al promedio). Los valores del índice de captura incidental por lance, mortalidad de delfines por lance y captura de túnidos por lance en zonas con menos de 30 lances podrían no ser representativos. En el caso particular de 2003, en ese año solamente en 21 zonas pesqueras diferentes se realizaron 30 lances o más, y solamente en uno de ellos se realizaron lances durante los cuatro trimestres del año. Por razones prácticas sólo se presentan a detalle los resultados para el primer trimestre de 2003, en el que únicamente nueve zonas pesqueras (de 27 con al menos un lance en ese trimestre) tuvieron 30 o más lances en total.

La matriz de impacto *S* y la matriz de impacto estandarizada *S<sub>ε</sub>* (tabla 1) que ha sido modificada para lograr la monotonicidad de preferencias, muestran el desempeño de cada zona pesquera con respecto a los objetivos de manejo considerados. Destaca la zona con centroide en 7.5°N, 107.5°O, que presentó el valor mínimo del índice de captura incidental por lance (2.94), un valor relativamente bajo de mortalidad de delfines por lance (0.06), y uno alto de captura de túnidos por lance (32.6) en el primer trimestre de 2003. Lo anterior se ve reflejado en los valores estandarizados relativamente altos para los tres objetivos de manejo en esta zona, 1.0,

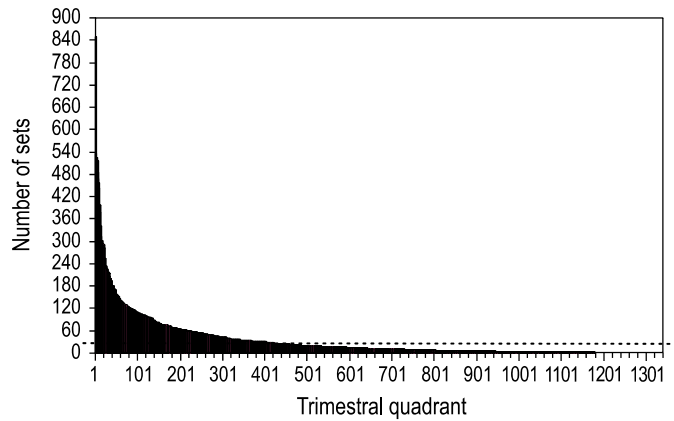


Figura 1. Distribución del número de lances por zona de pesca por trimestre (cuadrante trimestral) por la flota atunera mexicana con observadores del Programa Nacional de Aprovechamiento del Atún y Protección de Delfines (1998-2003).

Figure 1. Distribution of the number of sets made per fishing zone (5° × 5° quadrant) per trimester (trimestral quadrant) by the Mexican tuna fleet, with observers from the Mexican Tuna-Dolphin Program (1998–2003).

and in only one of these were sets made during the four trimesters of the year. For practical reasons, we present only the detailed results of the first trimester of 2003, in which nine fishing zones (out of 27 with at least one set in that trimester) had 30 sets or more in total.

The impact matrix *S* and the standardized impact matrix *S<sub>ε</sub>* (table 1), modified to attain the monotonicity condition, show the performance of each fishing zone relative to the management objectives considered. Particularly noteworthy is the zone whose centroid lies at 7.5°N, 107.5°W, which had the lowest bycatch index per set value (2.94), a relatively low dolphin mortality per set value (0.06), and a high tuna catch per set value (32.6) in the first trimester of 2003. This is reflected in the relatively high standardized values for the three management objectives in this zone: 1.0, 0.7, and 0.85, respectively. On the other hand, in the first trimester of 2003, the zone

Tabla 1. Matriz de impacto *S* y matriz de impacto estandarizada *S<sub>ε</sub>* para cada una de las zonas pesqueras (cuadrantes de 5° × 5°) con más de 30 lances, trimestre 1 de 2003. ICS = índice de captura incidental por lance, DM = mortalidad de delfines por lance y TC = captura de túnidos por lance.

Table 1. Impact matrix *S* and standardized impact matrix *S<sub>ε</sub>* for each fishing zone (5° × 5° quadrant) with more than 30 sets, first trimester of 2003. ICS = bycatch index per set, DM = dolphin mortality per set, and TC = tuna catch per set.

		Fishing zones (centroids)								
		7.5°N, 102.5°W	7.5°N, 117.5°W	7.5°N, 107.5°W	12.5°N, 112.5°W	7.5°N, 112.5°W	17.5°N, 107.5°W	17.5°N, 112.5°W	12.5°N, 107.5°W	22.5°N, 107.5°W
<i>S</i>	ICS	10.22	9.03	2.94	3.64	19.16	8.86	9.53	22.57	21.84
	DM (org.)	0.16	0.20	0.06	0.16	0.18	0.02	0.00	0.02	0.10
	TC (mt)	31.18	35.78	32.60	26.50	25.20	14.80	15.87	20.05	16.24
<i>S<sub>ε</sub></i>	ICS	0.63	0.69	1.00	0.96	0.17	0.70	0.66	0.00	0.04
	DM (org.)	0.21	0.00	0.70	0.19	0.10	0.91	1.00	0.90	0.52
	TC (mt)	0.78	1.00	0.85	0.56	0.50	0.00	0.05	0.25	0.07

0.7 y 0.85, respectivamente. Por su parte, en el primer trimestre de 2003, la zona con centroide 12.5°N, 107.5°O presentó el valor máximo del índice de captura incidental por lance (22.57), un valor mínimo de mortalidad de delfines por lance (0.02), y un valor intermedio de captura de túnidos por lance (20.05). Lo anterior se ve reflejado en los valores estandarizados, en los que se tiene el más bajo para el índice de captura incidental por lance (0.0), un valor alto para la mortalidad de delfines por lance (0.9), y uno bajo para la captura de túnidos (0.25).

Al considerar los valores de la función de utilidad con la ponderación 1 ( $U_1$ ) para el primer trimestre de 2003 (primer renglón de la tabla 2), se obtuvieron cuatro zonas pesqueras con valores de  $U > 0.666$ , dos de las zonas tuvieron valores de  $U$  entre 0.333 y 0.666 y, finalmente, las otras tres zonas pesqueras tuvieron valores de  $U$  menores a 0.333 (tabla 2, fig. 2). La zona pesquera con centroide 7.5°N, 107.5°O presentó valores de  $U$  mayores a 0.666 para todas las ponderaciones (tercer columna de la tabla 2) y, por lo tanto, se clasificó como excelente para el primer trimestre de 2003. En cambio, para las zonas con coordenadas 7.5°N, 112.5°O y 22.5°N, 107.5°O (quinta y novena columnas de la tabla 2, respectivamente) se obtuvo un valor de  $U < 0.333$  para cinco de las siete ponderaciones, por lo que se clasificaron como muy malas. Sin embargo, para la mayoría de las zonas pesqueras (seis de nueve) se obtuvieron valores de  $U > 0.666$  en algunas ponderaciones, y  $U < 0.333$  en otras, por lo que se clasificaron como conflictivas.

La mayoría de las zonas pesqueras por trimestre o cuadrantes trimestrales se clasificaron como conflictivas. En las figuras 3 y 4 se muestra la distribución espacial de los valores de  $U$  para las ponderaciones 2 y 3, respectivamente, para el primer trimestre de 2003. Se muestran solamente los mapas de estas tres primeras ponderaciones para ejemplificar la variabilidad espacial entre ponderaciones y visualizar espacialmente los resultados presentados en la tabla 2.

whose centroid lies at 12.5°N, 107.5°W had the highest bycatch per set value (22.57), a low dolphin mortality per set value (0.02), and an intermediate tuna catch per set value (20.05). This is reflected in the standardized results, which show the lowest bycatch per set value (0.0), a high dolphin mortality per set value (0.9), and a low tuna catch per set value (0.25).

The results of the utility function with weight vector 1 ( $U_1$ ) for the first trimester of 2003 (first row of table 2) revealed that four fishing zones had values of  $U > 0.666$ , two zones had values between 0.333 and 0.666, and three zones had values of  $U < 0.333$  (table 2, fig. 2). The 7.5°N, 107.5°W centroid zone presented values of  $U > 0.666$  for all the weight vectors (third column of table 2) and was therefore classified as excellent for the first trimester of 2003. In turn, the zones with coordinates 7.5°N, 112.5°W and 22.5°N, 107.5°W (fifth and ninth columns of table 2, respectively) presented values of  $U < 0.333$  for five of the seven weight vectors and were classified as very bad. For six of the nine fishing zones, however, values of  $U > 0.666$  were obtained for some weight vectors and of  $U < 0.333$  for others, and they were thus classified as conflictive.

Most of the fishing zones per trimester or trimestral quadrant were classified as conflictive. Figures 3 and 4 show the spatial distribution of the  $U$  values for weight vectors 2 and 3, respectively, for the first trimester of 2003. The maps of only these first three weight vectors are shown to illustrate the spatial variability among weights and be able to spatially visualize the results presented in table 2.

The same analysis applied to the second, third and fourth trimesters of 2003 revealed a similar pattern to that of the first trimester, in which most fishing zones were classified as conflictive (tables 3, 4). The combined results of all the 2003 trimesters produced 25 conflictive trimestral classifications, three excellent, two very good, four sufficient, and two very bad (table 4). For all the period analyzed (1998–2003), 64.1% of the fishing zones were classified as conflictive and 13.6% were classified as very good, while only very few were classified as good or extremely bad and none were classified as bad.

**Tabla 2.** Función de utilidad ( $U$ ) para las siete ponderaciones y clasificación de las zonas pesqueras con más de 30 lances, trimestre 1 de 2003.  
**Table 2.** Utility function ( $U$ ) for the seven weight vectors and classification of the fishing zones with more than 30 sets; first trimester of 2003.

	Fishing zones (centroids)								
	7.5°N, 102.5°W	7.5°N, 117.5°W	7.5°N, 107.5°W	12.5°N, 112.5°W	7.5°N, 112.5°W	17.5°N, 107.5°W	17.5°N, 112.5°W	12.5°N, 107.5°W	22.5°N, 107.5°W
$U_1$	0.629	0.690	1.000	0.965	0.174	0.698	0.664	0.000	0.037
$U_2$	0.211	0.000	0.700	0.189	0.096	0.913	1.000	0.901	0.518
$U_3$	0.781	1.000	0.849	0.558	0.496	0.000	0.051	0.250	0.069
$U_4$	0.540	0.563	0.850	0.571	0.255	0.537	0.572	0.384	0.208
$U_5$	0.585	0.627	0.925	0.768	0.215	0.618	0.618	0.192	0.123
$U_6$	0.375	0.282	0.775	0.380	0.176	0.725	0.786	0.642	0.363
$U_7$	0.661	0.782	0.849	0.564	0.376	0.269	0.311	0.317	0.138
Classification	Conflictive	Conflictive	Excellent	Conflictive	Very bad	Conflictive	Conflictive	Conflictive	Very bad

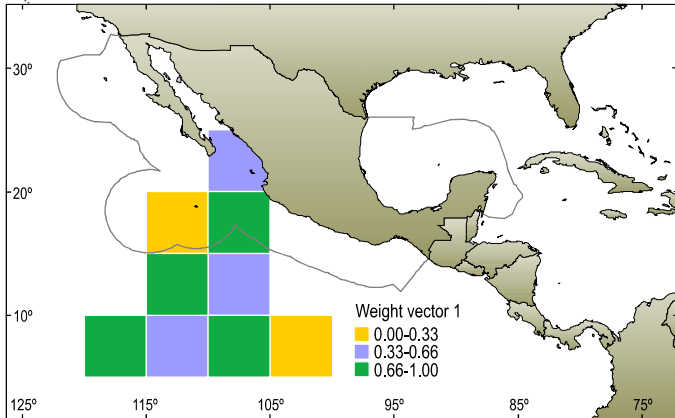


Figura 2. Zonas pesqueras y el valor de función de utilidad para la ponderación 1, trimestre 1 de 2003.

Figure 2. Fishing zones and utility function value for weight vector 1, first trimester of 2003.

Al realizar el mismo análisis sólo para los trimestres 2, 3 y 4 de ese mismo año, se encontró un patrón similar al del primer trimestre en el que la mayoría de las zonas pesqueras resultan clasificadas como conflictivas (tablas 3, 4). Al considerar los resultados de todos los trimestres de 2003 juntos se obtuvieron 25 clasificaciones trimestrales conflictivas, tres excelentes, dos muy buenas, cuatro suficientes y dos muy malas (tabla 4). De manera general para todo el periodo analizado (1998–2003), 64.1% de las zonas pesqueras obtuvieron una clasificación trimestral conflictiva, seguidas por 13.6% clasificadas como muy buenas, y fueron muy pocas las zonas pesqueras clasificadas como buenas o pésimas, y ninguna resultó clasificada como mala.

En el análisis temporal se encontró la misma tendencia: la mayoría de las zonas pesqueras fueron clasificadas como conflictivas. Solamente en tres zonas pesqueras se registraron más de 30 lances por trimestre en más del 65% de los 24 trimestres del periodo analizado (cuatro trimestres  $\times$  seis años). En una de ellas se registraron 19 trimestres, y en las otras dos, 16 en cada una. Para el análisis temporal se seleccionó a la primera de éstas, con centroide en 22.5°N, 107.5°W, localizada en la boca del Golfo de California. La clasificación de los trimestres en base al valor de  $U$  resultó conflictiva para 12 de los 19 trimestres, muy buena para tres, mala para dos, suficiente para uno y excelente para uno (tabla 5).

## Discusión

En principio, este análisis tiene dos limitaciones importantes evidentes. La primera es considerar el trimestre como unidad temporal, en lugar de utilizar unidades como la estación del año (primavera, verano, otoño e invierno) u otras más apropiadas para la pesquería. La segunda es considerar el cuadrante de 5° de latitud  $\times$  5° de longitud como unidad espacial, en lugar de definir las zonas pesqueras en función de la oceanografía, la propia pesquería, la distribución de los organismos

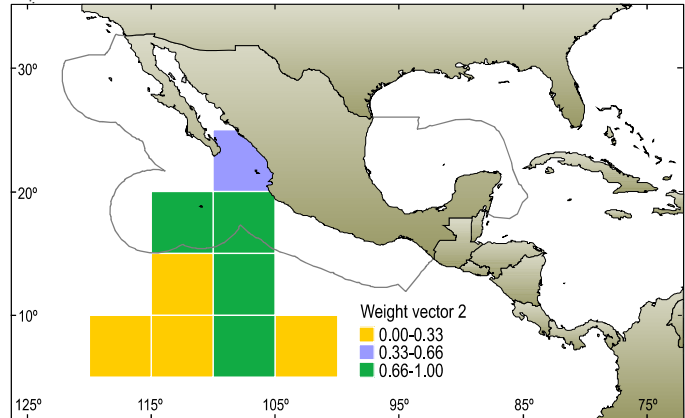


Figura 3. Zonas pesqueras y el valor de función de utilidad para la ponderación 2, trimestre 1 de 2003.

Figure 3. Fishing zones and utility function value for weight vector 2, first trimester of 2003.

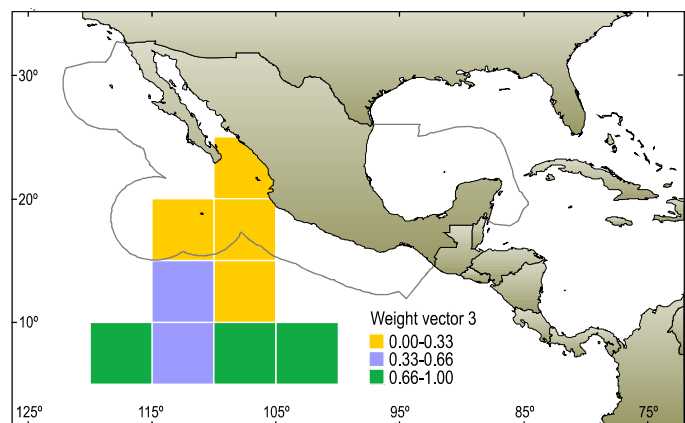


Figura 4. Zonas pesqueras y el valor de función de utilidad para la ponderación 3, trimestre 1 de 2003.

Figure 4. Fishing zones and utility function value for weight vector 3, first trimester of 2003.

The temporal analysis showed the same trend: most fishing zones were classified as conflictive. Thirty sets or more per trimester were recorded in only three fishing zones in more than 65% of the 24 trimesters of the period analyzed (four trimesters  $\times$  six years); 19 trimesters were recorded in one of them and 16 in each of the other two. For the temporal analysis we selected the first of these fishing zones (22.5°N, 107.5°W), located at the mouth of the Gulf of California. Based on the  $U$  value, 12 of the 19 trimesters were classified as conflictive, three as very good, two as bad, one as sufficient, and one as excellent (table 5).

## Discussion

This analysis has two important limitations. The first is considering the trimester as temporal unit, instead of using units such as seasons (spring, summer, autumn and winter) or



**Tabla 3.** Clasificación de las zonas pesqueras con más de 30 lances, trimestres 2, 3 y 4 de 2003.

**Table 3.** Classification of the fishing zones with more than 30 sets; second, third and fourth trimesters of 2003.

Trimester 2			Trimester 3			Trimester 4		
Lat. °N	Long. °W	Classification	Lat. °N	Long. °W	Classification	Lat. °N	Long. °W	Classification
17.5	107.5	Conflictive	22.5	107.5	Conflictive	22.5	107.5	Conflictive
14.5	112.5	Very good	22.5	112.5	Conflictive	12.5	117.5	Conflictive
7.5	122.5	Conflictive	17.5	112.5	Conflictive	12.5	112.5	Conflictive
12.5	107.5	Conflictive	12.5	112.5	Sufficient	7.5	122.5	Excellent
12.5	102.5	Conflictive	27.5	112.5	Conflictive	22.5	112.5	Conflictive
17.5	102.5	Conflictive	27.5	117.5	Excellent	7.5	102.5	Conflictive
22.5	107.5	Sufficient				7.5	127.5	Conflictive
7.5	117.5	Very good				12.5	127.5	Conflictive
2.5	122.5	Sufficient				12.5	107.5	Sufficient
12.5	112.5	Conflictive						
7.5	87.5	Conflictive						
7.5	127.5	Conflictiva						

**Tabla 4.** Cantidad de zonas pesqueras por clasificación trimestral en función del valor de *U*.

**Table 4.** Number of fishing zones per trimestral classification according to the utility function value.

Year	Excellent	Very good	Good	Sufficient	Bad	Very bad	Extremely bad	Conflictive	General total
1998	6	5		1				22	34
1999	3	3		2		1		24	33
2000	2	4	1	3		1	1	17	29
2001	2	4		2		3		23	34
2002	1	9	1	3		2		16	32
2003	3	2		4		2		25	36
General total	17	27	2	15	0	9	1	127	198
%	8.6	13.6	1.0	7.6	0	4.6	0.5	64.1	100.0

involucrados, criterios políticos u otros. Sin embargo, la razón de dicha consideración fue el ámbito de la toma de decisiones a nivel internacional y la administración práctica de la pesquería (IATTC 2002, 2006), en la que es más fácil definir de esta manera el año y la zona, que en temporadas de duración desigual, con traslape de años fiscales, etc., o regiones con áreas diferentes, límites variables y confusos, etc. Es decir, el objetivo principal era la evaluación multicriterio de zonas pesqueras definidas *a priori*, y no la definición de éstas en base al análisis. Sin embargo, debido a la dinámica y a la naturaleza altamente migratoria de esta pesquería, a futuro sería recomendable evaluar las unidades temporales y espaciales apropiadas para un análisis de este tipo.

De los 211 cuadrantes de 5° × 5° de latitud-longitud definidos para el OPO, solamente en 82 (39%) hubo algún tipo de actividad pesquera en el periodo analizado. Sin embargo, al considerar el límite mínimo de 30 lances para el análisis de las zonas pesqueras, ese número se redujo aún más. Esto significa que, a pesar de que la flota llega a realizar lances pesqueros

others that are more appropriate for the fishery. The second is considering the 5° latitude × 5° longitude quadrant as spatial unit, instead of defining the fishing zones in terms of the oceanography, the fishery itself, the distribution of the organisms involved, political criteria, etc. The reason for this consideration was the decision-making circumstances at international level and the practical management of the fishery (IATTC 2002, 2006), proving easier to define the year and area in this way than in time periods of unequal duration, with overlapping of fiscal years, or different-sized regions, with confusing and variable boundaries, etc. The main objective of this study was to conduct a multicriteria evaluation of fishing zones defined *a priori*, and not to define them based on the analysis. Nevertheless, given the dynamics and highly migratory nature of this fishery, in the future it would be recommendable to evaluate the appropriate temporal and spatial units for an analysis of this type.

Of the 211 quadrants of 5° latitude × 5° longitude defined for the EPO, fishing activity only occurred in 82 (39%) during

hasta cerca de los 150°O, la cantidad de éstos no es muy elevada en comparación con los realizados dentro de la zona económica exclusiva (ZEE) mexicana y zonas aledañas. Por otra parte, los datos analizados sólo representan el 50% de los viajes realizados por la flota mexicana y, a pesar de que ésta es una de las mayores que operan en el OPO, corresponde sólo a una parte de la flota internacional, por lo que sería deseable realizar este análisis con la información de toda esta flota para verificar las tendencias encontradas.

El hecho de que la flota atunera realice una buena parte de sus actividades dentro o alrededor de la ZEE mexicana, es un reflejo de la abundancia del recurso atún en la región, lo que a su vez se debe a la dinámica oceanográfica regional (frentes, surgencias, corrientes, islas, el fenómeno ENSO, etc.), así como a la distancia entre las zonas de pesca, los puertos y los principales mercados (SEPESCA 1987, Neshyba 1987, Ingmanson y Wallace 1995, Gross y Gross 1996, Mann y Lazier 1996, Nihira 1996, Dagorn *et al.* 1997, Hall 1998, IATTC 1998, Torres-Orozco *et al.* 2005, Balance *et al.* 2006).

En particular, la zona localizada en la boca del Golfo de California es extremadamente productiva y rica en recursos naturales (Kahru 2004, Enríquez-Andrade *et al.* 2005, Torres-Orozco *et al.* 2005), por lo que no es de extrañar la abundancia de túnidos y, por ende, la presencia de la flota atunera. En 2003 esa zona pesquera fue la que registró la mayor cantidad de lances por cuadrante de 5° × 5°, 20% en sólo un cuadrante. Sesenta por ciento de los lances de 2003 se realizaron en solamente seis cuadrantes, incluyendo la boca del Golfo de California y las zonas adyacentes al sur y suroeste de ésta. Esta zona, además de ser altamente productiva, se encuentra muy cerca de los dos principales puertos atuneros, Mazatlán (Sinaloa) y Manzanillo (Colima). Así la flota mexicana intenta aprovechar la cercanía a los puertos para reducir su tiempo efectivo en altamar y sus costos de operación, específicamente el costo del combustible, su principal insumo.

Sin embargo, el atún no se encuentra distribuido de manera homogénea en el OPO, y son las agregaciones en tres tipos de cardúmenes y sus señales las que hacen posibles las capturas registradas (IATTC 2006). La presencia de estas agregaciones es la que realmente determina la ubicación geográfica de los lances pesqueros, así como el tipo de éstos. Y es justamente la diferencia entre los tipos de lances, sus características e impactos, así como la proporción entre ellos, lo que genera el conflicto entre los tres objetivos de manejo analizados.

A pesar de que se sabe que los lances sobre objetos flotantes traen aparejada una gran captura incidental (Hall 1996, 1998; IATTC 2006), los otros dos tipos de lances no están exentos de ésta. Un ejemplo de ello lo constituye el cuadrante localizado en la boca del Golfo de California durante 2003, en donde 70% de los lances fueron sobre mamíferos marinos y los restantes fueron sobre brisas. A pesar de que la cantidad total de organismos capturados incidentalmente fue elevada, el índice de captura incidental por lance fue relativamente bajo, debido a la gran cantidad de lances realizados. Los organismos capturados de manera incidental en tal cuadrante incluyeron

the period analyzed; however, when the minimum limit of 30 sets established for the analysis was considered, the number decreased even more. This means that even though the fleet carries out fishing sets close to 150°W, the number of these is low in comparison with those made within the Mexican exclusive economic zone (EEZ) and nearby areas. On the other hand, the data analyzed only represent 50% of the trips made by the Mexican fleet, which despite being one of the largest operating in the EPO, makes up only part of the international fleet. It would therefore be advisable to undertake this analysis using information from all the international fleet to verify the tendencies found.

The fact that the tuna fleet carries out a good part of its activities within or around the Mexican EEZ is an indication of the abundance of the tuna resource in the region, which in turn is due to the regional oceanographic dynamics (fronts, upwelling, currents, islands, ENSO phenomenon, etc.), and to the distance between the fishing zones, ports and main markets (SEPESCA 1987, Neshyba 1987, Ingmanson and Wallace 1995, Gross and Gross 1996, Mann and Lazier 1996, Nihira 1996, Dagorn *et al.* 1997, Hall 1998, IATTC 1998, Torres-Orozco *et al.* 2005, Balance *et al.* 2006).

In particular, the area located at the mouth of the Gulf of California is extremely productive and rich in natural resources (Kahru 2004, Enríquez-Andrade *et al.* 2005, Torres-Orozco *et al.* 2005), and it is not surprising to observe an abundance of tuna and tuna-like species and, consequently, the presence of the tuna fleet. In 2003 this fishing zone had the highest number of sets per 5° × 5° quadrant, 20% in only one quadrant. Moreover, in 2003, 60% of the sets were made in only six quadrants, including the mouth of the Gulf of California and the contiguous zones to the south and southwest of it. This zone, besides being highly productive, is located very close to the main Mexican tuna ports of Mazatlán (Sinaloa) and Manzanillo (Colima). The Mexican fleet thus makes use of the proximity of the ports to reduce its effective time at sea and operating costs, specifically the cost of fuel, its main input.

Tuna species, however, are not homogeneously distributed in the EPO, and it is their three types of school association and their signals that enable the catches recorded (IATTC 2006). The presence of these assemblages is what really determines the geographic location as well as the type of fishing sets, and the conflict among the three management objectives analyzed is generated precisely by the different types of sets, their characteristics and impacts, and their proportion.

Though log sets are associated with high levels of bycatch (Hall 1996, 1998; IATTC 2006), dolphin sets and school sets are not exempt from this. For example, in the quadrant located at the mouth of the Gulf of California, 70% of the sets made in 2003 were dolphin sets and the remainder were school sets. Even though the total number of incidental organisms was high, the bycatch index per set was relatively low because of the large number of sets made. The organisms captured incidentally in this quadrant included billfish, dolphinfish and sharks (blacktip, blue and hammerhead sharks) in dolphin sets,

**Tabla 5.** Función de utilidad ( $U$ ) para las siete ponderaciones y clasificación de los trimestres con más de 30 lances para la zona pesquera (cuadrante) con centroide en 22.5°N, 107.5°O.**Table 5.** Utility function ( $U$ ) for the seven weight vectors and classification of the trimesters with more than 30 sets for the fishing zone (quadrant) whose centroid lies at 22.5°N, 107.5°W.

Year	Trimester	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$U_4$	$U_5$	$U_6$	$U_7$	Classification
1998	1	0.948	0.966	0.000	0.638	0.793	0.802	0.319	Conflictive
1998	2	0.699	1.000	0.313	0.671	0.685	0.835	0.492	Conflictive
1998	4	0.638	0.322	0.414	0.458	0.548	0.390	0.436	Sufficient
1999	1	0.930	0.637	0.233	0.600	0.765	0.618	0.416	Conflictive
1999	2	0.301	0.756	0.702	0.586	0.443	0.671	0.644	Conflictive
1999	3	0.596	1.000	0.333	0.643	0.620	0.822	0.488	Conflictive
1999	4	0.397	0.057	0.457	0.303	0.350	0.180	0.380	Bad
2000	2	0.000	0.444	0.436	0.294	0.147	0.369	0.365	Bad
2000	4	0.820	0.596	0.230	0.548	0.684	0.572	0.389	Conflictive
2001	1	0.637	1.000	0.635	0.757	0.697	0.879	0.696	Very good
2001	2	0.901	0.012	0.979	0.631	0.766	0.321	0.805	Conflictive
2001	3	1.000	0.784	0.333	0.706	0.853	0.745	0.519	Conflictive
2002	1	0.863	1.000	1.000	0.954	0.908	0.977	0.977	Excellent
2002	2	0.987	1.000	0.492	0.826	0.906	0.913	0.659	Very good
2002	4	0.368	1.000	0.232	0.534	0.451	0.767	0.383	Conflictive
2003	1	0.690	0.000	0.668	0.453	0.571	0.226	0.561	Conflictive
2003	2	0.566	0.243	0.815	0.542	0.554	0.393	0.678	Conflictive
2003	3	0.927	0.540	0.802	0.756	0.842	0.648	0.779	Very good
2003	4	0.859	0.664	0.217	0.580	0.720	0.622	0.399	Conflictive

picudos, dorados y tiburones (puntas negras, azul y martillo) en los lances sobre mamíferos marinos, y tiburones y rayas en los lances sobre brisas. En particular, en el segundo trimestre de 2003 se registró la captura de poco más de 1000 organismos de diferentes niveles tróficos, de los cuales 513 fueron mantarrayas capturadas en un solo lance sobre brisas. Debido a que el índice de captura incidental otorga a tiburones (y mantarrayas) un peso considerable en la ecuación, el valor se incrementó notablemente. El efecto de un lance como éste queda compensado al considerar la gran cantidad de lances en los que la captura incidental fue mínima, logrando así niveles totales por lance bajos. Sin embargo, lances como éste pueden influir de manera significativa en cuadrantes en los que se realicen relativamente pocos lances totales.

La captura incidental representa un problema para ciertas especies en peligro o con características biológicas particulares (por ejemplo, bajo potencial reproductivo), con un efecto importante en el ecosistema (Alverson *et al.* 1994, Hall 1996), o debido a que existe una interacción entre pesquerías importantes, comerciales o deportivas, con implicaciones políticas y/o económicas importantes. En el caso particular de la pesquería del atún en el OPO, a nivel mundial ha quedado claro que las capturas incidentales son bajas en comparación con otras pesquerías (Alverson *et al.* 1994).

and sharks and rays in school sets. In particular, in the second trimester of 2003, slightly more than 1000 organisms from different trophic levels were caught, of which 513 were manta rays taken in one single school set. As the bycatch index gives sharks (and manta rays) a considerable weight in the equation, the value increased significantly. The effect of such a set is compensated when the large number of sets in which the bycatch was minimum is considered, and low total levels per set are thus obtained; however, sets like this one can have a significant impact in quadrants where the total number of sets made is relatively low.

Bycatch represents a problem when endangered species or certain species with particular biological characteristics (e.g., low reproductive potential) are involved, and can have a significant effect on the ecosystem (Alverson *et al.* 1994, Hall 1996). It also has important political and/or financial implications because of the interaction that exists among both commercial and sport fisheries. In the particular case of the tuna fishery in the EPO, it has been established that the bycatch levels are low in comparison with other fisheries worldwide (Alverson *et al.* 1994).

The spatial and temporal variability shown by our results is partly due to the dynamics of each species, with different cycles of abundance for each of them, whether bycatch,

La variabilidad espacial y temporal en los resultados aquí obtenidos se debe en parte a la dinámica de cada especie, con ciclos de abundancia distintos para cada una de ellas, ya sea captura incidental, delfines o túnidos. Esta dinámica obedece a múltiples factores, uno de los cuales es la dinámica de los procesos oceánicos y meteorológicos de la región tales como surgencias, frentes, huracanes, corrientes, el fenómeno ENSO, variaciones interdecadales, etc.

La principal especie objetivo capturada en el OPO por la flota atunera mexicana es el AAA (IATTC 2006). Un aspecto de la dinámica de esta especie que explica la variabilidad es la presencia de cohortes más grandes de lo normal. Como ejemplo de ello se tiene la captura récord de esta especie en 2003, tras la cual los volúmenes de captura regresaron a niveles previos al paso de esta cohorte e incluso a niveles inferiores (Hoyle y Maunder 2006).

Aunque en el análisis se consideró el rendimiento de todas las especies de túnidos, la flota mexicana captura principalmente AAA, seguido de barrilete y, en mucho menor cantidad, atún aleta azul. En general, los lances sobre delfines capturan principalmente AAA y muy poco barrilete, y es en los lances sobre objetos flotantes en los que la flota mexicana obtiene la mayor proporción de barrilete de sus capturas. Finalmente, los lances sobre brisas tienen proporciones de captura intermedias. Sin embargo, esta generalización depende de la abundancia relativa temporal y espacial de cada especie, así como de muchos otros factores incluyendo la decisión de realizar los diferentes tipos de lance en una proporción específica dependiendo de las condiciones del mercado. El atún aleta azul es capturado únicamente frente a la costa del Pacífico de la Península de Baja California y prácticamente sólo por algunas embarcaciones que se enfocan a esta especie para su engorda.

Desde el punto de vista de la eficiencia, la captura de túnidos por lance en ciertos cuadrantes muestra que, a pesar de haberse realizado una gran cantidad de lances y, por lo tanto, haber acumulado un porcentaje alto de la captura total, hay otros cuadrantes con menor número de lances pero con una tasa de captura de túnidos por lance mucho mayor. Por ejemplo, en el cuadrante con coordenadas 100–110°O, 15–25°N se registró una captura de túnidos de 29,904 toneladas métricas en 2003, 39% de la captura total de dicho año. Sin embargo, no fue el cuadrante con la mayor captura de túnidos por lance. El motivo de la gran cantidad de esfuerzo pesquero en este cuadrante se debió, posiblemente, a la presencia de las señales previas al lance y a la cercanía de la zona a los principales puertos pesqueros.

Al considerar los tres objetivos de manejo de la pesquería en este proceso formal matemático, el resultado es que las negociaciones entre objetivos en conflicto son necesarias en una gran cantidad de cuadrantes o zonas pesqueras, ya que aproximadamente 65% de los cuadrantes trimestrales fueron clasificados como conflictivos (64% en el análisis temporal). Sin embargo, el hecho de que el porcentaje de cuadrantes trimestrales clasificados como excelentes, muy buenos y buenos en conjunto (aprox. 22%) fuera mucho mayor que el porcentaje

dolphins or tunas. This dynamics is driven by multiple factors, among them the oceanic and meteorological processes that occur in the region, such as upwelling, fronts, hurricanes, currents, ENSO phenomenon, interdecadal variations, etc.

The main target species caught in the EPO by the Mexican tuna fleet is YFT (IATTC 2006). One aspect of the dynamics of this species that explains the variability is the presence of larger than usual cohorts. For example, after the highest catch recorded in 2003, the catch volumes returned to previous and even lower levels after the passing of this cohort (Hoyle and Maunder 2006).

This analysis considered the yield of all tuna species, though the Mexican fleet catches mainly YFT, followed by skipjack tuna and, to a much lesser extent, by bluefin tuna. Dolphin sets generally catch mostly YFT and very little skipjack tuna, and it is through log sets that the Mexican fleet catches most of the latter, school logs taking intermediate catch proportions. This generalization, however, depends on the temporal and spatial relative abundance of each species, as well as on other factors including the decision to carry out different types of sets in a specific proportion based on the market conditions. Bluefin tuna is only caught off the Pacific coast of the Baja California Peninsula and for the most part by vessels that target this species for farming purposes.

From the point of view of efficiency, tuna catch per set in some quadrants shows that, despite the large number of sets made and consequently the high percentage of total catch accumulated, there are other quadrants with fewer sets but with a much higher tuna catch rate per set. For example, in the quadrant with coordinates 100–110°W, 15–25°N, a tuna catch of 29,904 mt was recorded in 2003, representing 39% of that year's total catch. Even so, it was not the quadrant with the highest tuna catch per set. The reason for the high fishing effort in this quadrant is likely due to the presence of signals prior to the set and to the proximity of the zone to the main ports.

When the three fishery management objectives are considered in this formal mathematical process, the results show that negotiations among conflicting objectives are necessary in a large number of quadrants or fishing zones, since approximately 65% of the trimestral quadrants were classified as conflictive (64% in the temporal analysis). The fact, however, that the combined percentage of trimestral quadrants classified as excellent, very good and good (approximately 22%) was much higher than the combined percentage of those classified as extremely bad, very bad and bad (approximately 5%), indicates that, in general, there are more possibilities of any trimestral quadrant, as long as it is not conflictive, being satisfactory for most decision makers.

Given the international nature of the fishery, there are different perceptions regarding the relative importance of each management objective. The weight vectors used are to a certain extent adapted to the actual preferences of the current situation. It would therefore be very useful to have knowledge of these preferences (Nijkamp *et al.* 1990, Munda *et al.* 1994, Enríquez-Andrade and Vaca-Rodríguez 2004), in order to

de cuadrantes clasificados como pésimos, muy malos y malos en conjunto (aprox. 5%), habla de que, en general, hay más posibilidades de que cualquier cuadrante trimestral, siempre y cuando no sea conflictivo, resulte satisfactorio para la mayoría de los encargados de la toma de decisiones.

Debido a la naturaleza internacional de la pesquería existen diferentes percepciones de la importancia relativa de cada objetivo de manejo. Las ponderaciones utilizadas se ajustan en cierta medida a las preferencias reales de los múltiples encargados de la toma de decisiones en la problemática actual. Sin embargo, sería de gran utilidad poder contar con las preferencias reales (Nijkamp *et al.* 1990, Munda *et al.* 1994, Enríquez-Andrade y Vaca-Rodríguez 2004), para así calcular con mayor precisión las tasas de intercambio o negociación espaciotemporales entre los diferentes objetivos de manejo (Vaca-Rodríguez y Enríquez-Andrade 2006). De hecho, debido a la gran variabilidad espaciotemporal, las preferencias reales deberían estar diferenciadas en espacio y tiempo (Strager y Rosenberger 2006) para realmente ser útiles en el proceso de toma de decisiones.

Los diferentes valores de la función de utilidad para cada zona pesquera o cuadrante representan tasas de negociación entre los encargados de la toma de decisiones. Vaca-Rodríguez y Enríquez-Andrade (2006) encontraron que las tasas de intercambio obtenidas con un modelo multiobjetivo para esta misma pesquería no fueron lineales. Por otra parte, en este trabajo se encontró que las tasas de intercambio (valores de la función de utilidad) son variables en espacio y tiempo. Desde el punto de vista de la toma de decisiones, es importante señalar que la negociación entre los diferentes actores de la pesquería (conceptualizados como diferentes ponderaciones) no sólo depende del valor real del objetivo de manejo, sino de la zona y temporada, por lo cual la cantidad de posibilidades de negociación se incrementa y, con ello, su complejidad.

La mejor aplicación de los valores de la función de utilidad (como los dados en la tabla 2), es su uso como elementos de negociación para los encargados de toma de decisiones. Además, estos valores de utilidad evidencian la gran variabilidad por lance de la captura de túnidos, de la mortalidad de delfines y del índice de captura incidental. Los encargados de la toma de decisiones podrán ubicar su preferencia con respecto a los objetivos de manejo, seleccionar la zona pesquera que en un momento dado sea favorable a sus intereses, y darse cuenta de que al trimestre o año siguiente, la situación puede cambiar significativamente.

Es posible que en un cuadrante dado en un trimestre en particular no se realicen lances sobre mamíferos marinos y, por lo tanto, no se registre mortalidad de delfines. Esta zona sería favorable para la ponderación con mayor peso sobre este objetivo. Sin embargo, la ausencia de estos lances pudiera deberse a muchos factores, que van desde los oceanográficos hasta los de estrategia comercial y de exportación, que no necesariamente se repetirán respecto a la misma zona en el futuro.

Un ejemplo de las diversas condiciones de las zonas se encuentra en los cuadrantes localizados frente a las costas del

calcular con mayor precisión los tradeoffs espaciotemporales entre los diferentes objetivos de manejo (Vaca-Rodríguez y Enríquez-Andrade 2006). En fact, given the high spatiotemporal variability, the actual preferences should be differentiated in space and time (Strager and Rosenberger 2006) to be really useful in the decision-making process.

The different utility function values for each fishing zone or quadrant represent negotiation rates among the decision makers. Vaca-Rodríguez and Enríquez-Andrade (2006) obtained nonlinear tradeoffs for this same fishery using a multiobjective model. In the present study, the tradeoffs (utility function values) were found to be variable in time and space. From the decision-making viewpoint, it is important to indicate that the negotiation among the different actors of the fishery (conceptualized as different weights) depends not only on the true value of the management objective, but also on the area and season, the amount of negotiation possibilities thus increasing and so too the complexity.

The best application of the utility function values (such as those given in table 2) is their use as elements of negotiation for decision makers. Moreover, these values indicate the large variability per set in tuna yield, dolphin mortality and bycatch index. Decision makers will be able to locate their preference regarding the management objectives, select the fishing zone that at a certain moment will best suit their interests, and recognize that after one trimester or the following year the situation could change significantly.

It is possible for dolphin sets not to occur in a given quadrant in a certain trimester and, therefore, dolphin mortality would not be recorded. This zone would be favourable in the evaluation assigning this objective the highest weight; however, the absence of these sets could be due to several factors, ranging from oceanographic conditions to commercial and export strategies, that would not necessarily reoccur in the same zone in the future.

An example of the diverse conditions of fishing zones can be found in the quadrants located off the Pacific coast of the Baja California Peninsula. In these quadrants, the main target species is bluefin tuna, caught in school sets. This type of set does not show the same level of bycatch as in the Gulf of California and, given its characteristics that do not involve the entanglement of dolphins, it does not pose a risk to these marine mammals. One quadrant in this region had high utility values for all or nearly all the weight vectors for 2003. These conditions, however, are not comparable with other fishing zones in which the same fleet operates. In that particular zone the YFT catch was low, and if the analysis would have only considered YFT instead of tuna yield in general, the same favourable classification would not have been obtained.

An important aspect to consider is the lack of homogeneity in the management measures of the objectives considered. For example, dolphin mortality is controlled by international regulations (IATTC 2006). If a vessel exceeds the dolphin mortality limit set each year, in addition to being subject to administrative penalties, it redirects the fishing effort from

Pacífico de la Península de Baja California. En estos cuadrantes se realiza la pesca de túnidos enfocada principalmente al atún aleta azul, en lances sobre brisas. Estos tipos de lances en esa zona no registran el mismo nivel de captura incidental como en el Golfo de California y, por sus características que no involucran a el encierro de delfines, no representan daño alguno para éstos. Un cuadrante en esta región obtuvo valores de utilidad altos para todas o casi todas las ponderaciones en 2003. Sin embargo, estas condiciones no son comparables con otras zonas pesqueras en las que opera la misma flota. En esa zona la captura de AAA es baja y, si el análisis hubiera considerado solamente la captura de AAA, en lugar de la captura de túnidos en general, no se hubiera obtenido la misma clasificación favorable.

Un aspecto importante a considerar es que no existe una homogeneidad en las medidas de manejo de los objetivos considerados. En particular, la mortalidad de delfines se encuentra limitada por las regulaciones internacionales (IATTC 2006). Si una embarcación excede el límite de mortalidad de delfines asignado cada año, además de estar sujeta a penalidades administrativas, la embarcación traslada el esfuerzo sobre mamíferos marinos a lances sobre brisas u objetos flotantes. Sin embargo, no existe ninguna regulación similar para el resto de los organismos capturados de manera incidental.

Con respecto a la regulación de la captura de túnidos, en el período analizado se manejaron diferentes vedas espaciales y/o temporales cada año (IATTC 2006, <http://www.iattc.org/ResolutionsActiveSPN.htm>), pero la mayoría fueron prohibiciones espaciales o temporales para ciertos tipos de lances (en particular lances sobre objetos flotantes) para proteger la captura de juveniles de atún patudo, o vedas totales una vez alcanzada la cuota máxima de AAA. Generalmente la veda comprendió, para la flota mexicana, el mes de diciembre (trimestre 4). Por otra parte, se han realizado esfuerzos importantes para regular y controlar la capacidad de la flota y el esfuerzo pesquero total; sin embargo, el efecto que pudieran tener estas regulaciones sería la reducción de la captura total de túnidos, o la reducción en el índice de captura incidental total, pero no en la captura de túnidos por lance ni en el índice de captura incidental por lance. Estos últimos dependen más bien de la variabilidad natural de los recursos y de las condiciones oceanográficas.

En general los tipos de lance realizados influyen directamente en los objetivos de manejo de la pesquería (Vaca-Rodríguez y Enríquez-Andrade 2006). Como las preferencias de los encargados de la toma de decisiones (ponderaciones) inciden directamente en la clasificación de las zonas pesqueras, no es de extrañar que de manera espacial y temporal, sean los tipos de lance, su distribución y variabilidad los que, al final, determinen en gran medida la clasificación de una zona pesquera. Afortunadamente, el tipo de lance es una unidad idónea de manejo y administración de la pesquería, a través de la cual se puede incidir directamente en sus objetivos de manejo. Sin embargo, un elemento a investigar en el futuro es la variabilidad espacial y temporal de cada uno de los elementos de la pesquería, es decir, la mortalidad de delfines, la captura incidental de diferentes grupos importantes (tiburones y rayas,

dolphin sets to school or log sets. Similar guidelines, however, do not exist for the rest of the organisms that are incidentally captured.

With regard to the resolutions for the capture of tuna or tuna-like species, different spatial and/or temporal closures were managed every year during the period analyzed (IATTC 2006, <http://www.iattc.org/ResolutionsActiveSPN.htm>), but most were spatial and temporal prohibitions for certain types of sets (in particular log sets), in order to protect the catch of juvenile bigeye tuna, or total closures once the maximum quota of YFT had been reached. For the Mexican fleet, the closed season generally included December (fourth trimester). On the other hand, important efforts have been made to regulate and control the fleet's capacity and total fishing effort; however, the possible impact of these regulations would be a reduction in the total tuna yield or in the total bycatch index, but not in the tuna catch per set or in the bycatch index per set. These last two depend on the natural variability of the resources rather than on the oceanographic conditions.

In general, the types of sets made influence the fishery management objectives (Vaca-Rodríguez and Enríquez-Andrade 2006). Since the decision-makers' preferences (weights) directly affect the classification of the fishing zones, not surprisingly this classification is in the end determined, in space and time, by the set types, their distribution and variability. Fortunately, set type is a suitable fishery management unit, through which the management objectives can be directly impacted. Nevertheless, a factor that must be considered in future studies is the spatial and temporal variability of each one of the fishery's elements: dolphin mortality, bycatch of several important groups (e.g., sharks and rays, billfish, dolphinfish, etc.), and capture of different tuna species. Proper decision making requires support elements like the analyses shown herein, as well as knowledge of the possible causes of the variability of a fishery as dynamic as this one.

## **Acknowledgements**

The authors thank PROMEP for financial support of this project and PNAAPD for the use of the database.

English translation by Christine Harris.

---

picudos, dorados, etc.), así como la captura de las diferentes especies de túnidos. Para una toma de decisiones apropiada es necesario contar con elementos como los análisis aquí mostrados, además de la información de las posibles causas de la variabilidad de una pesquería tan dinámica como ésta.

## **Agradecimientos**

Los autores agradecen a PROMEP por el apoyo económico para la realización de este proyecto y al PNAAPD y su personal por el uso de su base de datos.

## Referencias

- Alverson DL, Freeberg MH, Pope JG, Murawski SA. 1994. A global assessment of fisheries bycatch and discards. FAO Fish. Tech. Pap. No. 339, Rome, 233 pp.
- Balance LT, Pitman RL, Fiedler PC. 2006. Oceanographic influences on seabirds and cetaceans of the eastern tropical Pacific: A review. *Prog. Oceanogr.* 69(2–4): 360–390.
- Chankong V, Haimes Y. 1983. *Multiobjective Decision Making. Theory and Methodology.* North-Holland series in System Science and Engineering, North-Holland. New York, USA.
- Cohon JL, Marks DH. 1975. A review and evaluation of multi-objective programming techniques. *Water Resour. Res.* II: 208–220.
- Dagorn L, Petit M, Stretta JM. 1997. Simulation of large-scale tropical tuna movements in relation with daily remote sensing data: The artificial life approach. *Biosystems* 44: 167–180.
- Enríquez-Andrade R, Anaya-Reyna G, Barrera-Guevara JC, Carvajal-Moreno MA, Martínez-Delgado ME, Vaca-Rodríguez JG, Valdés-Casillas C. 2005. An analysis of critical areas for biodiversity conservation in the Gulf of California region. *Ocean Coast. Manage.* 48: 31–50.
- Enríquez-Andrade RR, Vaca-Rodríguez JG. 2004. Evaluating ecological tradeoffs in fisheries management: A study case for the yellowfin tuna fishery in the Eastern Pacific Ocean. *Ecol. Econ.* 48: 303–315.
- Evans GW. 1984. An overview of techniques for solving multi-objective mathematical programs. *Manage. Sci.* 30: 1268–1282.
- Gross MG, Gross E. 1996. *Oceanography: A view of earth.* 7th ed. Prentice Hall, 472 pp.
- Hall MA. 1996. On bycatches. *Rev. Fish. Biol. Fish.* 6: 319–352.
- Hall MA. 1998. An ecological view of the tuna-dolphin problem: Impacts and trade-offs. *Rev. Fish. Biol. Fish.* 8: 1–34.
- Hiddink JG, Hutton T, Jennings S, Kaiser MJ. 2006. Predicting the effects of area closures and fishing effort restrictions on the production, biomass, and species richness of benthic invertebrate communities. *ICES J. Mar. Sci.* 63(5): 822–830.
- Hoyle SD, Maunder MN. 2006. Status of yellowfin tuna in the Eastern Pacific Ocean in 2004 and outlook for 2005. Inter-American Tropical Tuna Commission, 102 pp. (<http://www.iattc.org/StockAssessmentReport6SPN.htm>).
- IATTC. 1998. Annual Report of the Inter-American Tropical Tuna Commission (1996 data). La Jolla, California, 306 pp.
- IATTC. 2002. Annual Report of the Inter-American Tropical Tuna Commission (2001 data). La Jolla, California, 148 pp.
- IATTC. 2006. Annual Report of the Inter-American Tropical Tuna Commission Informe (2004 data). La Jolla, California, 96 pp.
- Ingmanson DE, Wallace WJ. 1995. *Oceanography: An introduction.* 5th ed. Wadsworth Publishing Co., 495 pp.
- Joseph J. 1994. The tuna-dolphin controversy in the Eastern Pacific Ocean: Biological, economic, and political impacts. *Ocean Develop. Inter. Law*, 25: 1–30.
- Kahru M, Marinone SG, Lluch-Cota SE, Parés-Sierra A, Mitchell BG. 2004. Ocean-color variability in the Gulf of California: Scales from days to ENSO. *Deep-Sea Res (II Top. Stud. Oceanogr.)* 51(1–3): 139–146.
- Lai YJ, Hwang CL. 1994. *Fuzzy Multiple Objective Decision Making.* Springer-Verlag, Heidelberg, 450 pp.
- Mann KH, Lazier JRN. 1996. *Dynamics of Marine Ecosystems. Biological-physical Interactions in the Oceans.* 2nd ed. Blackwell Science, 394 pp.
- Munda G, Nikamp P, Rietveld P. 1994. Qualitative multicriteria evaluation for environmental management. *Ecol. Econ.* 10: 97–112.
- Neshyba S. 1987. *Oceanography: Perspectives on a Fluid Earth.* John Wiley, 506 pp.
- Nihira A. 1996. Studies on the behavioral ecology and physiology of migratory fish schools of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) in the oceanic frontal area. *Bull. Tohoku Nat. Fish. Res. Inst.* 58: 137–233.
- Nijkamp P, Rietveld P, Voogd H. 1990. *Multicriteria Evaluation in Physical Planning. Contributions to Economic Analysis.* North Holland, 291 pp.
- Pan M, Leung P, Pooley SG. 2001. A decision support model for fisheries management in Hawaii: A multilevel and multiobjective programming approach. *N. Am. J. Fish. Manage.* 21: 293–309.
- Roy B. 1968. Classèment et choix en présence de points de vue multiples (la méthode ELECTRE). *RIRO* 2: 57–75.
- SEPESCA. 1987. *Pesquerías Mexicanas. Estrategias para su Administración.* 1ª ed. México, DF, 1061 pp.
- Strager MP, Rosenberger RS. 2006. Incorporating stakeholder preferences for land conservation: Weights and measures in spatial MCA. *Ecol. Econ.* 57(4): 627–639.
- Torres-Orozco E, Trasviña A, Muhlia-Melo A, Ortega-García S. 2005. Dinámica de mesoescala y captura de atún aleta amarilla en el Pacífico mexicano. *Cienc. Mar.* 31: 671–683.
- Vaca-Rodríguez JG, Enríquez-Andrade RR. 2002. Análisis multicriterio de estratos de veda para reducir la captura incidental en lances sobre objetos flotantes de la flota atunera mexicana. *Cienc. Mar.* 28: 257–271.
- Vaca-Rodríguez JG, Enríquez-Andrade RR. 2006. Analysis of the eastern Pacific yellowfin tuna fishery based on multiple management objectives. *Ecol. Model.* 191: 275–290.
- Zionts S. 1992. Some thoughts on research in multiple criteria decision making. *Comput. Oper. Res.* 19: 567–570.

*Recibido en marzo de 2007;  
aceptado en septiembre de 2007.*