

## Valoración económica para la protección socioambiental de la vaquita marina, una especie endémica

Economic valuation for the socio-environmental protection of the vaquita porpoise, an endemic species

José García Gómez\*  
Erika Chávez Nungaray\*

Recibido el 17 de agosto de 2016  
Aceptado el 28 de marzo de 2017

Resumen: las prácticas humanas irrationales sobre el medio ambiente hacen indispensable implementar medidas de protección, como la Reserva de la Biosfera del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado, para preservar el entorno natural y los hábitats, y así favorecer la diversidad biológica. En este trabajo se buscó determinar el soporte económico local, a través de la valoración de la vaquita marina, especie endémica en peligro de extinción que habita en la reserva, y también divulgar el proceso analítico en red, una metodología de valoración poco utilizada en el tema ambiental, que incorpora apropiadamente las interrelaciones en un esquema sistémico. El resultado arrojó que para proteger a la especie se requieren recursos adicionales a los poco más de dos millones setecientos cincuenta mil dólares estadouni-

\* Profesores-investigadores adscritos a la Facultad de Economía y Relaciones Internacionales de la Universidad Autónoma de Baja California. Calzada Universidad #14418, Parque International Industrial Tijuana, C. P. 22390 Tijuana, Baja California, México. Correos electrónicos: [garcia.jose39@uabc.edu.mx](mailto:garcia.jose39@uabc.edu.mx) / [nungarayerika@uabc.edu.mx](mailto:nungarayerika@uabc.edu.mx)

nidenses al año, que es el valor de la vaquita. Para realizar el estudio no se contó con datos más amplios respecto a las actividades productivas en la zona, las implicaciones socioeconómicas de pesca y su impacto en la diversidad biológica. La originalidad y el valor de este trabajo radican en la metodología empleada y la interrelación que provee para el análisis.

**Palabras clave:** vaquita marina; especies endémicas; especies protegidas; proceso analítico en red; protección ambiental; reservas marinas.

**Abstract:** the impact of irrational human practices on the environment makes it indispensable to implement measures, such as the Upper Gulf of California and Colorado River Delta Biosphere Reserve, in order to preserve the natural environment and habitats, and thus to promote biological diversity. The aim of this paper was to determine the local economic support through valuation of the vaquita porpoise, an endangered endemic species that lives in the reserve, as well as to disseminate the analytic network process, a valuation methodology little used in the environmental issue and which appropriately integrates interrelations into a systemic scheme. The result showed that for the purpose of giving protection to the species, resources additional to the little more than two million seven hundred and fifty thousand American dollars a year, which is the vaquita porpoise's value, are needed. In carrying out this study, more comprehensive data concerning productive activities in the area, socio-economic implications of fishing and its impact on biological diversity were not available. This paper's originality and value lie in the methodology used and the interrelation it offers for analysis.

**Key words:** vaquita porpoise; endemic species; protected species; analytic network process; environmental protection; marine reserves.

## Introducción

El antecedente de la propuesta de desarrollo sustentable fue la preocupación por las contingencias ambientales evidentes que estaban ocurriendo en ámbitos y lugares distintos, como la muerte masiva y sin causa aparente de aves en las grandes urbes, de peces y otras especies acuáticas en diversos cuerpos de agua y la desaparición de hábitats que amenazaban la sobrevivencia de animales silvestres. También había otras perturbaciones ambientales menos perceptibles, pero igualmente nocivas y preocupantes, como la deforestación de suelos, y el agotamiento y la contaminación de cuerpos de agua. En general, se observaba gran devastación y contaminación en los suelos, el agua y la atmósfera (United Nations 1987).

En el informe de la Comisión de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo (o Comisión Brundtland) y en su propuesta de modelo de desarrollo se hace énfasis en la necesidad de proteger el ambiente y la diversidad biológica, y también se destaca una desigualdad social inaceptable que se intentaría reducir. Debido a lo anterior, la definición y propuesta de desarrollo sustentable de Gallopín (2003, 23): “Desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer las propias”, establece tres compromisos: a) la justicia intergeneracional y, por ello, la obligación de no comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus necesidades; b) la equidad intrageneracional, se enfoca en la reducción de la desigualdad social, y c) la protección del ambiente y la diversidad biológica.

Sin embargo, a casi 30 años de que la Comisión Brundtland emitiera la propuesta de desarrollo sustentable y se asumiera como objetivo mundial, y a pesar de varias cumbres sobre el tema y el surgimiento de acuerdos internacionales, regionales y locales, de políticas, estrategias y proyectos elaborados y presumiblemente instrumentados, la situación imperante, tanto en el rubro social como en el ambiental, no ha mejorado de manera sustancial (García y Chávez 2016).

Si la humanidad necesita el equivalente a 1.4 planetas cada año para sustentar su desarrollo, en México, con cerca de 2.5 hectáreas productivas per cápita, y con base en las 1.2 disponibles, también per cápita, se necesitaría incrementar en más del doble la superficie

biológicamente productiva (Global FootPrint NetWork 2014). Según estos datos globales y nacionales, se incumple con los compromisos del desarrollo sustentable, aunque su pertinencia es ampliamente aceptada. La mayoría de los gobiernos la han adoptado en numerosos foros internacionales, sobre todo en las conferencias de las Naciones Unidas sobre medio ambiente y desarrollo (cumbres de la Tierra). Sin embargo, con todo lo lógico y atractivo del modelo, no se ha contado con métodos integrales y confiables para evaluar el avance propio o el de otros, para lograr la meta de este paradigma de desarrollo (Redefining Progress 2010).

Con respecto al compromiso de protección al ambiente, en general no se valoran de manera apropiada los recursos naturales, y hay especies que siguen despareciendo y otras han alcanzado riesgos altos de extinción. A lo largo de la historia, la mayoría de las decisiones relacionadas con aspectos ambientales han tenido componentes económicos, y en la actualidad se basan en argumentos determinados por las fuerzas del mercado, pero el deterioro continuo de la naturaleza ha puesto de manifiesto la necesidad de incorporar al factor ambiental en las estrategias de desarrollo, con marcos metodológicos y conceptuales nuevos (Gómez-Bagethun y De Groot 2007; Kumar y Kumar 2008; Jørgensen 2010, citado en Camacho y Ruiz 2012).

Las decisiones que involucran el aprovechamiento de los recursos naturales, con un enfoque de sustentabilidad, requieren un orden que permita clasificarlos, jerarquizarlos y compararlos, para facilitar el intercambio potencial de sus beneficios (Wallace 2007, citado en Camacho y Ruiz 2012). Cuando a dichos recursos se les da un valor de cambio competitivo, respecto a actividades económicas, facilita la toma de decisiones y la definición de estrategias de conservación y manejo (Camacho y Ruiz 2012). Los conceptos anteriores fueron expuestos para el caso de servicios ecosistémicos, sin embargo, se entiende que los argumentos son igual de válidos para todos los recursos ambientales, y su valoración resulta fundamental para protegerlos o conservarlos.

Por tanto, este trabajo se enfocó en la determinación del soporte monetario, que pudiera extraerse de la actividad económica en la zona de la Reserva de la Biosfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado (RBAGCDRC), para la protección de la vaquita marina (*Phocoena sinus*). De acuerdo con investigaciones de diversas institucio-

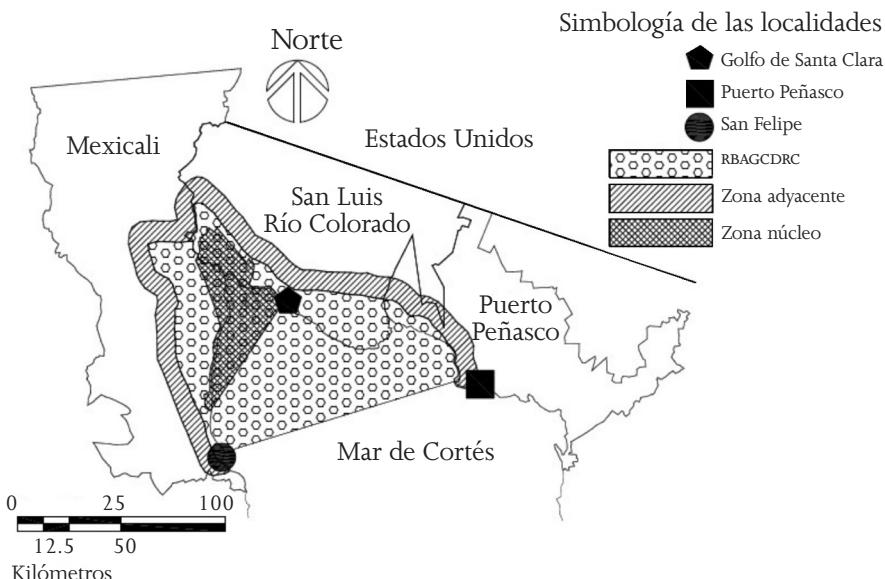
nes, entre ellas las del Comité Internacional para la Recuperación de la Vaquita (CIRVA), la especie está considerada en grave peligro de extinción, y por ello se estableció la Estrategia Integral para la Recuperación de la Vaquita Marina, porque este mamífero marino es el que corre mayor peligro de desaparecer (Jaramillo-Legorreta et al. 2017).

## La vaquita marina y la Reserva de la Biosfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado

La RBAGCDRC se ubica en el extremo noroeste de Sonora (noreste de Baja California), “entre los 113° 00’ y 114° 30’ longitud oeste y los 31° 30’ y 32° 30’ latitud norte” (Vázquez y Ferman 2010, 3). Comprende una superficie de 934 756.25 hectáreas (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, CONANP 2007), “y abarca parte de los municipios de Puerto Peñasco y San Luis Río Colorado, Sonora y

Figura 1

Localización geográfica de la RBAGCDRC



Fuente: Díaz y Ojeda (2013, 66).

Mexicali, Baja California” (Vázquez y Fermán 2010, 3; Díaz y Ojeda 2013, 63). “Está dividida en dos zonas (figura 1). La más grande, denominada de amortiguamiento (o adyacente) comprende 82.5 por ciento de toda la reserva y la zona núcleo, inmersa en la primera constituye 17.5 por ciento de toda la zona” (CONANP 2007, 27; Vázquez y Fermán 2010, 4; Díaz y Ojeda 2013, 63).

Las regulaciones de protección de recursos ambientales sólo pueden ser eficaces si se aceptan y respetan, pero las motivaciones para cumplirlas no siempre son claras (Silber et al. 2014). En ese sentido, es menester considerar los conflictos existentes entre consumidores de los recursos y la gestión o protección de ellos. Sin embargo, en México la constante respecto a la declaración de las reservas territoriales protegidas es una consideración insuficiente o nula de los efectos socioeconómicos sobre los involucrados (Vázquez y Fermán 2010).

Aunque la RBAGCDRC tiene baja densidad poblacional dentro de sus límites –de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI 2001), en el año 2000 albergaba 2 777 habitantes–, en ella sólo se ubica El Golfo de Santa Clara y otros asentamientos ejidales pequeños con menos de 600 habitantes, no obstante, su área de influencia incluye localidades como San Felipe, que para el año 2000 ya tenía, 13 123 pobladores (INEGI 2001), y Puerto Peñasco, donde eran 31 466 (CONANP 2007). Por ello, la declaración, diseño y ejecución de un arreglo institucional adecuado es de gran relevancia para la actividad pesquera ribereña de las comunidades y, por ende, también para su ámbito socioeconómico (Vázquez y Fermán 2010).

Las organizaciones pesqueras que trabajan en la RBAGCDRC incluyen cooperativas y sociedades de producción rurales, unidades comunales, permisionarios y armadores; para 2002 eran siete las registradas en el bajo delta del río Colorado, si se toman en cuenta las de Baja California y Sonora; en San Felipe, Baja California, eran 18 las autorizadas (CONANP 2007). En términos generales, son 2 100 las embarcaciones pequeñas que pescan en la reserva (Rodríguez-Quiroz et al. 2010).

“La RBAGCDRC fue decretada en 1993 y en 1995 se implementó su respectivo plan de manejo para proteger la Vaquita y otras especies endémicas y/o en peligro de extinción” (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, SEMARNAP 1995, citada en Vázquez

y Fermán 2010, 3) y, presumiblemente, para promover el desarrollo sustentable (Vázquez y Fermán 2010). La vaquita marina es quizá la especie más emblemática de la RBAGCDRC y la que corre más riesgo de desaparecer en la actualidad (Jaramillo-Legorreta et al. 2017), de ahí los esfuerzos y los recursos involucrados en su protección y recuperación.

No obstante lo señalado, el estado actual en la RBAGCDRC dista mucho de avanzar hacia el establecimiento de un desarrollo sustentable. Por ejemplo, la vaquita marina no se ha logrado rescatar del peligro de extinción y, peor aún, la amenaza se ha tornado más grave. Según CIRVA, con base en el monitoreo acústico realizado por expertos en su hábitat natural, para 2016 sólo quedaban 30 ejemplares. Un cálculo anterior, con datos de 2011 a 2013 establecía la existencia de 97 individuos (Excélsior 2015). “El estado actual se define como los resultados de las decisiones que toman los usuarios y autoridades responsables del manejo” (Vázquez 2006, citado en Vázquez y Fermán 2010, 7). Los usuarios se preocupan por producir y obtener un ingreso, mientras que las autoridades deciden sobre su protección y preservación (Vázquez 2006; Vázquez y Fermán 2010, 7). Habría que reflexionar sobre la toma de decisiones en cuanto a qué, cuándo y cuántas especies capturar en la reserva. Dichos autores indican, en su exposición del caso de la vaquita marina y la totoaba, que se entiende que las decisiones son producto de los patrones de interacción de usuarios y autoridades, construidos a partir de los atributos ecosistémicos y la disponibilidad de tecnología y los procesos de toma de decisión (Vázquez y Fermán 2010), en respuesta a diversos factores condicionantes, entre ellos el mercado. Las pesquerías son la articulación de ecosistemas naturales marinos con actividades humanas (McGoodwin 2002).

## Metodología

La propuesta de esta investigación fue exponer el soporte económico que la zona puede aportar a las tareas de protección de la vaquita marina, con fundamento en la valoración económica del mamífero. Para ello se exploraron diversos métodos aplicados a la valoración

económica de bienes o recursos carentes de mercado, como lo son algunos de los ambientales, para definir su idoneidad respecto a las características de la comunidad marina en estudio. Aquí se retomaron los modelos multicriterio, desarrollados por Thomas Saaty (1980) a partir de la década de 1980, puesto que enriquecen la capacidad de reflexión para obtener un valor más justo y aproximado a la realidad. Entre los métodos propuestos por Saaty (2008) están los de ponderación de variables, programación por metas, el proceso analítico jerárquico y el proceso analítico en red (ANP, por sus siglas en inglés), que se ha aplicado a muchos casos de importancia en la valoración atípica y donde la toma de decisiones es determinante para la administración de los objetos de estudio.

La aplicación del ANP se implementó en fecha reciente como una metodología que, en forma gradual, se ha enriquecido con las primeras propuestas de Saaty en 1980, con métodos analíticos jerárquicos generales en gran diversidad de bienes o recursos carentes de mercado, con elementos no cuantificables de forma sencilla, como los inherentes a la valoración de activos agrarios y urbanos (Saaty 2009a), hasta las aplicaciones más recientes de toma de decisiones complejas, como el análisis de costos y riesgos de expansión internacional de un negocio de entretenimiento (Saaty 2009b).

Hay características semejantes que sitúan el escenario de interrelaciones sistémicas y complejas en torno a la búsqueda de protección de la vaquita marina en México. Por ejemplo, es uno de los principales problemas ambientales pendientes en el país, con abordaje nulo desde la perspectiva de la obtención y discusión de su valor económico, a través de la aplicación del método ANP.

## Método teórico: proceso analítico en red

Las ventajas de utilizar el método ANP para calcular el valor económico de la especie marina de estudio es que permite, en primer término, reconocer las interrelaciones dentro y fuera de las jerarquías generadas (Aznar y Guijarro 2012) en un esquema sistémico propio; y, en segundo, obtener dicho esquema, y dejar de lado la noción tradicional de jerarquización rígida, para adoptar el de red o redes, porque se

considera pertinente la aplicación del método en la valoración de la vaquita marina, debido a las interrelaciones de los actores involucrados en su conservación.

La expresión matricial de la red está constituida por componentes, nodos o clusters, y cada uno engloba varios elementos; las relaciones entre componentes, nodos o clusters se identifican como las interdependencias y las relaciones entre elementos dentro de un nodo, que constituyen las retroalimentaciones (Aznar y Guijarro 2012).

La aplicación del ANP consta de los cinco pasos siguientes, expresados en términos teóricos (Saaty 2008, 152-153):

1. Identificación de los elementos de la red:  
alternativas, criterios y construcción de la red

La representación de este paso es la supermatriz de una red, cuya ecuación es la siguiente:

$$\begin{array}{cccc}
 c_1 & c_2 & \dots & c_N \\
 e_{11}e_{12}\dots e_{1n1} & e_{21}e_{22}\dots e_{2n2} & e_{N1}e_{N2}\dots e_{NnN} \\
 \\
 \begin{matrix}
 e_{11} \\
 e_{12} \\
 \vdots \\
 e_{1n1} \\
 C_1 \quad e_{21} \\
 C_2 \quad e_{22} \\
 \vdots \\
 e_{2n2} \\
 C_N \quad e_{N1} \\
 e_{N2} \\
 \vdots \\
 e_{N1N}
 \end{matrix}
 & \begin{matrix}
 e_{11} \\
 e_{12} \\
 \vdots \\
 e_{1n1} \\
 C_1 \quad e_{21} \\
 C_2 \quad e_{22} \\
 \vdots \\
 e_{2n2} \\
 C_N \quad e_{N1} \\
 e_{N2} \\
 \vdots \\
 e_{N1N}
 \end{matrix}
 & \begin{bmatrix}
 W_{11} & W_{12} \dots & W_{1N} \\
 W_{11} & W_{22} \dots & W_{2N} \\
 \vdots & \vdots & \vdots \\
 W_{N1} & W_{N2} \dots & W_{NN}
 \end{bmatrix} & (1)
 \end{array}$$

## 2. Análisis de la red de influencias: matriz de dominación interfactorial o de influencias

Visto desde la supermatriz de una red y los detalles de un componente en ésta, se definiría por la matriz siguiente:

$W_{ij}$  componente de la supermatriz

$$W_{ij} = \begin{bmatrix} W_{i1}^{(j_1)} & W_{i1}^{(j_2)} & \dots & W_{i1}^{(jn_j)} \\ W_{i2}^{(j_1)} & W_{i2}^{(j_2)} & \dots & W_{i2}^{(jn_j)} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ W_{in_i}^{(j_1)} & W_{in_i}^{(j_2)} & \dots & W_{in_i}^{(jn_j)} \end{bmatrix} \quad (2)$$

### 3. Cálculo de las prioridades entre elementos: supermatriz original

Según los elementos que se destacan en la ecuación 1, se estiman las prioridades de los elementos conformados en la supermatriz.

#### 4. Cálculo de las prioridades entre clusters: supermatriz ponderada

Cabe señalar que el límite de una supermatriz con jerarquías tendría la composición siguiente:

$$W^k = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ W_{n,n-1}W_{n-1,n-2} & W_{32}^0W_{21} & W_{n,n-1}W_{n-1,n-2} & \dots & W_{32}^0\dots W_{n,n-1}W_{n-1,n-2}W_{n,n-1}^0 \\ \end{bmatrix} \quad (3)$$

Según Saaty (2008, 152-154), el ANP exhibe una muestra jerarquizada de elementos, como se presenta en dicha supermatriz, y una red de ellos. En principio, el autor menciona que una jerarquía se compone de un objetivo, niveles de elementos y las conexiones entre ellos, que están orientadas a tenderse hacia los elementos desde los niveles jerárquicos más bajos.

Sin duda, Saaty (2008) reconoce que una jerarquía es autoritaria en sus conexiones, desde los niveles inferiores hasta los superiores. La bondad que el autor rescata es que esta representación ayuda a describir los compromisos, lo que es importante y preferible, incluso se puede utilizar la imaginación o suposición. Una jerarquía es un caso especial de una red, en ella las conexiones sólo van en una dirección. Saaty (2008) sostiene que una jerarquía se puede ver como se muestra en la ecuación 2, para un componente, donde los niveles corresponden a las agrupaciones en una red, cuyos grupos de elementos están conectados a los de otro grupo (dependencia externa) o en el mismo (dependencia interior). Por ejemplo, una red se ocupa de todas las influencias de la gente y de la naturaleza que pueden incidir en un resultado.

Saaty también enfatiza que el ANP es un modelo de cambio continuo, porque todo lo que sucede incide en lo demás, y lo que se haga ahora puede cambiar la importancia de los criterios que controlan la evolución de los resultados.

Hay dos tipos de influencia: exterior e interior; en la primera se compara la que tienen los elementos en un cluster sobre los de otro grupo, con respecto a un criterio de control. En la segunda se compara la influencia de los elementos de un grupo en cada uno de ellos. Una supermatriz representa la prioridad de influencia de un elemento que se encuentra a la izquierda de la matriz sobre otro en la parte superior de ella, con respecto a un criterio de control particular. Es decir, todo elemento pudiera influir en lo demás, incluso el propio criterio de control con respecto al resto de los elementos de la matriz. Se sabe que el mundo es interdependiente, tanto como las formas de pensar y de actuar. Según Saaty, el modelo ANP es una manera lógica para hacer frente a la dependencia.

## 5. Cálculo de la supermatriz límite

En la ecuación 1 se muestra una supermatriz como un ejemplo ilustrativo de una matriz general. Donde el componente C1 incluye todos los vectores derivados por prioridades para los nodos “principales” o “centrales” en el grupo C1. Enseguida se muestra la potencia  $k$ -ésima de esa supermatriz, que es la misma que la composición jerárquica en la posición ( $k$ , 1).

En las representaciones de Saaty (2008), la entrada (n, 1) de la supermatriz límite se integra según el principio de composición jerárquica, como se muestra en el apartado previo, sobre el cálculo de las prioridades entre los clusters: supermatriz ponderada. Es decir, en el ANP se busca prioritariamente el estado estacionario de una supermatriz límite. Para obtener el límite se debe elevar la matriz a las potencias necesarias, cada una captura todas las transitividades de un orden, que es igual a la potencia. El límite de estas potencias es igual al límite de la suma promedio de todas las potencias de la matriz. Todos los órdenes de transitividades son capturados por estas potencias de la matriz. El resultado del ANP es no lineal y bastante complejo. El límite puede no converger a menos que la matriz sea estocástica en su columna, esto es, que cada una de dichas columnas sumen uno. Si esto ocurre, entonces es un hecho que el eigenvalor principal de una matriz supuesta se encuentra entre sus sumas de columnas más grandes y más pequeñas, se sabe que el eigenvalor principal de una matriz estocástica es igual a uno. Pero para la supermatriz ya se sabe que se cumplen las condiciones señaladas en las ecuaciones mostradas a continuación (Saaty 2008, 152-154):

$\lambda_{max}(T)=1$  el cual sigue de:

$$\max \sum_{j=1}^n a_{ij} \geq \sum_{j=1}^n a_{ij} \frac{w_j}{w_i} = \lambda_{max} \text{ para } \max w_i \quad (4)$$

$$\min \sum_{j=1}^n a_{ij} \leq \sum_{j=1}^n a_{ij} \frac{w_j}{w_i} = \lambda_{max} \text{ para } \min w_i$$

Por tanto, para una columna de una matriz estocástica se tiene:

$$1 = \min \sum_{j=1}^n a_{ij} \leq \lambda_{max} \sum_{j=1}^n a_{ij} = 1 \quad (5)$$

El mismo tipo de argumento aplica para una matriz que tiene columna estocástica. Ahora, de acuerdo con el teorema de J. J. Sylvester, citado en Saaty (2008), cuando los eigenvalores de una matriz W son distintos, toda una función  $f(W)$  (la expansión de las potencias en serie de  $f(W)$ ) convergen para todos los valores finitos de  $x$  donde  $x$ , reemplazada por W, brinda la siguiente ecuación:

$$f(W) = \sum_{i=1}^n f(\lambda_i) Z(\lambda_i), \quad Z(\lambda_i) = \frac{\pi_{j \neq i}(\lambda_j, I - A)}{\pi_{j \neq i}(\lambda_j - \lambda_i)}, \quad \sum_{i=1}^n Z(\lambda_i) = I, \quad Z(\lambda_i) Z(\lambda_j) = 0, \quad Z^2(\lambda_i) = Z(\lambda_i) \quad (6)$$

donde  $I$  y  $0$  son la identidad y la matriz nula respectivamente.

Una expresión similar está disponible cuando algunos o todos los eigenvalores tienen multiplicidades. Se puede ver que sí, dado lo que se necesita para este caso,  $f(W) = W^k$  por tanto  $f(\lambda_i) = \lambda_i^k$  y mientras  $k \rightarrow \infty$  los únicos términos que dan un valor finito distinto de cero son aquéllos para los cuales el módulo de  $\lambda_i$  es igual a 1. Lo anterior se asegura si  $W$  es estocástica, debido a que su mayor eigenvalor es igual a 1. Las prioridades de las alternativas (o algún conjunto de elementos de un componente) se obtienen para normalizar los valores correspondientes en las columnas apropiadas de la matriz límite. Cuando  $W$  tiene ceros y está reducible (su gráfica no está fuertemente ligada, por lo que no hay trayectoria de algún punto a otros), el límite puede ciclarse, y en dicho caso se toma el promedio superior de esos límites diferentes.

Conforme a lo señalado en los cinco pasos, a continuación se presenta el proceso de valoración. Se parte de la construcción de la red, según los elementos del sistema que competen al hábitat de la vaquita marina. Esto es, la actividad pesquera que se obtiene en la zona del alto golfo de California.

## Aplicación empírica del ANP: valoración y resultados

En este apartado se describen los pasos de la aplicación del modelo ANP.

### Identificación de los elementos de la red de la zona de estudio

En este punto se identificaron los elementos de la red, que conforman la producción pesquera en la zona de estudio, en este caso las 11 especies que se tomaron en cuenta para la valoración económica, y forman parte de la red por estar interrelacionadas; en conjunto sumaron

un valor de mercado de 28 150 588 dólares estadounidenses.<sup>1</sup> Sin embargo, para hacer más asequible el análisis, la producción pesquera se agrupó en cuatro bloques, aunque la información de las especies más importantes económicamente, como el camarón y la curvina, se registró de forma individual (véase figura 2).

Figura 2

Elementos de la red

Especie	Valor en dólares*	%
Camarón	13 906 180.7	49.40
Curvina	2 127 662.1	7.56
Lisa, sierra, tiburón y lenguado (escamas)	6 458 315.8	22.94
Mantarraya, jaiba, almeja, caracol y pulpo (otros)	5 658 429.3	20.10
Total	28 150 588	100

Fuente: elaboración propia, con datos de la Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca, CONAPESCA (2013).

\*Véase nota al pie 1.

Las variables consideradas fueron la disponibilidad del recurso pesquero (EV1), la tecnología para el aprovechamiento del recurso (EV2) y el mercado pesquero (EV3).

Construcción de la matriz de dominación interfactorial  
o de influencias

Aquí se señalan las influencias que los elementos de la red tienen entre sí; el 1 significa que los elementos que confluyen en el nodo tienen influencia entre sí, y el 0 indica la ausencia de ésta (véase figura 3).

<sup>1</sup> Esta cantidad, como las del resto del artículo, se calcularon con la paridad establecida por el Banco de México, de 18.70 pesos mexicanos por dólar estadounidense, del 2 de mayo de 2017.

Figura 3

Matriz de dominación interfactorial

EV				Bienes					
		EV1	EV2	EV3	Camarón	Curvina	Lisa, sierra, tiburón y lenguado	Mantarraya, jaiba, almeja, caracol y pulpo	Vaquita
EV	EV1	0	1	1	1	1	1	1	1
	EV2	1	0	1	1	1	1	1	1
	EV3	1	1	0	1	1	1	1	1
Recurso	Camarón	1	1	1	0	0	0	0	0
	Curvina	1	1	1	0	0	0	0	0
	Escarnas	1	1	1	0	0	0	0	0
	Otros	1	1	1	0	0	0	0	0
	Vaquita	1	1	1	0	0	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

### Cálculo de las prioridades entre elementos

Las prioridades son factores importantes en el cálculo de los elementos de la red, que son: influencias, interdependencias y dominaciones. En la figura 4 se expresa que la variable 1 (disponibilidad del recurso) tiene una influencia tres veces mayor que la 2 (tecnología) sobre la 3 (mercado).

Figura 4

Influencia de EV1 y EV2 sobre EV3

	EV1	EV2	Vector propio
EV1	1	3	0.75
EV2	0.33	1	0.25
CR indeterminado (0/0)			

Fuente: elaboración propia.

Figura 5

## Influencia de variables

En el valor de camarón				
	EV1	EV2	EV3	Vector propio
EV1	1	2	3	0.5396
EV2	0.5	1	2	0.2970
EV3	0.3333	0.5	1	0.1634
CR = 2.91 < 5 %				
En el valor de curvina				
	EV1	EV2	EV3	Vector propio
EV1	1	1	4	0.4934
EV2	1	1	1	0.3108
EV3	0.25	1	1	0.1958
CR = 3.55 < 5 %				
En el valor de escamas				
	EV1	EV2	EV3	Vector propio
EV1	1	2	3	0.5171
EV2	0.5	1	4	0.3586
EV3	0.3333	0.25	1	0.1243
CR = 3.21 < 5 %				
En el valor de otros				
	EV1	EV2	EV3	Vector propio
EV1	1	1	5	0.4443
EV2	1	1	6	0.4721
EV3	0.2	0.1667	1	0.0836
CR = 2.90 < 5 %				
En el valor de la vaquita				
	EV1	EV2	EV3	Vector propio
EV1	1	0.25	0.3333	0.1243
EV2	4	1	0.5	0.3586
EV3	3	2	1	0.5171
CR = 3.20 < 5 %				

Fuente: elaboración propia.

Figura 6

## Dominancia de los productos

Sobre la disponibilidad de los recursos					
	Camarón	Curvina	Escamas	Otros	Vaquita
Camarón	1	7	2	2.5	2
Curvina	0.1429	1	0.3333	0.4	3
Escamas	0.5	3	1	0.875	2
Otros	0.4	2.5	1.1429	1	4
Vaquita	0.5	0.3333	0.5	0.25	1
CR = 0.12 < 9 %					
De los productos sobre tecnología					
	Camarón	Curvina	Escamas	Otros	Vaquita
Camarón	1	1	2	4	4
Curvina	1	1	1	1	3
Escamas	0.5	1	1	6	3
Otros	0.25	1	0.1667	1	0
Vaquita	0.25	0.3333	0.3333	0	1
CR = 0.04 < 9 %					
De los productos sobre mercado					
	Camarón	Curvina	Escamas	Otros	Vaquita
Camarón	1.00	1.00	3.00	4.00	0.50
Curvina	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Escamas	0.33	1.00	1.00	3.00	0.50
Otros	0.25	1.00	0.33	1.00	1.00
Vaquita	2.00	1.00	2.00	1.00	1.00
CR = 0.14 < 9 %					

Fuente: elaboración propia.

El vector propio indica la ponderación de las alternativas en función de cada criterio (Aznar y Guijarro 2012). El cálculo del vector propio de la matriz anterior y de las subsecuentes se lleva cabo con el método de la potencia y en hoja de cálculo de Excel, de acuerdo con el proceso planteado por Aznar y Guijarro (2012): multiplicación de la matriz por sí misma, sumatoria de las filas de la matriz producto y normalización por la suma de las sumatorias anteriores (de las filas). El proceso se repite hasta que el vector columna normalizado coincide con los cuatro primeros decimales, con el vector columna normalizado anterior.

De la misma manera, la subjetividad innata del decisor se puede medir mediante el ratio de consistencia (RC) de la matriz, y compararse con los valores máximos señalados por Aznar y Guijarro (2012). Los porcentajes máximos del ratio de consistencia son: n = 3, RC máximo = 5; n= 4, RC máximo 9 y n=0 5 o mayor, RC máximo = 10. Su cálculo también sigue el procedimiento indicado por los autores señalados: a) normalización de la matriz original por columnas; b) obtención del vector de prioridades globales (promedio aritmético de valores en filas de la matriz normalizada); c) obtención del vector fila total (producto de la matriz original por vector de prioridades globales); d) obtención del cociente del vector fila total entre el vector de prioridades globales; e) cálculo de  $\lambda$  máxima (promedio de cociente anterior); f) obtención de  $CI = \lambda$  máxima – n / n - 1 y g)  $CR = CI /$ consistencia aleatoria, que toma valores predeterminados de acuerdo con el tamaño de matriz original. Se aplican razonamientos similares y cálculos respecto a las variables, recursos o componentes de la red (véase figura 5).

#### Cálculo de dominancias entre componentes de la red

En el cálculo de las dominancias de los productos pesqueros respecto a las variables consideradas, los vectores propios de las matrices siguientes no se incluyeron en las tablas respectivas, sino que se trasladaron a la supermatriz original (véase figura 6).

#### Supermatriz original, supermatriz ponderada y supermatriz límite

Los coeficientes o valores calculados para las dependencias, influencias y dominancias sirven de base para la construcción de la supermatriz original, no obstante, si la suma de todas las columnas de dicha supermatriz es diferente de 1, no es una matriz estocástica, en razón de ello se realizó una ponderación nueva respecto a las variables involucradas (véase figura 7). El cálculo de la supermatriz límite se lleva a cabo con la multiplicación reiterada por sí misma de la supermatriz ponderada y los productos subsecuentes, hasta que todas las columnas de la matriz producto sean iguales.

Figura 7

Supermatriz original

	EV1	EV2	EV3	Camarón	Curvina	Escamas	Otros	Vaquita
EV1	0.0000	0.0000	0.2000	0.5396	0.4934	0.5171	0.4443	0.1243
EV2	0.0000	0.0000	0.8000	0.2970	0.3108	0.3586	0.4721	0.3586
EV3	0.7500	0.2000	0.0000	0.1634	0.1958	0.1243	0.0836	0.5171
Camarón	0.4023	0.3454	0.2786	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Curvina	0.1028	0.2243	0.1780	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Escamas	0.1926	0.2784	0.1652	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Otros	0.2168	0.0888	0.1212	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Vaquita	0.0854	0.0631	0.2570	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Suma	1.7500	1.2000	2.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

Supermatriz ponderada

	EV1	EV2	EV3	Camarón	Curvina	Escamas	Otros	Vaquita
EV1	0	0	0.16	0.5396	0.4934	0.5171	0.4443	0.1243
EV2	0	0	0.64	0.2970	0.3108	0.3586	0.4721	0.3586
EV3	0.75	0.2	0	0.1634	0.1958	0.1243	0.0836	0.5171
Camarón	0.1006	0.2763	0.0557	0	0	0	0	0
Curvina	0.0257	0.1795	0.0356	0	0	0	0	0
Escamas	0.0481	0.2227	0.0330	0	0	0	0	0
Otros	0.0542	0.0710	0.0242	0	0	0	0	0
Vaquita	0.0214	0.0505	0.0514	0	0	0	0	0
Suma	1	1	1	1	1	1	1	1

Supermatriz límite

Disponibilidad	0.1843	0.1843	0.1843	0.1843	0.1843	0.1843	0.1843	0.1843
Tecnología	0.2626	0.2626	0.2626	0.2626	0.2626	0.2626	0.2626	0.2626
Mercado	0.2475	0.2475	0.2475	0.2475	0.2475	0.2475	0.2475	0.2475
Camarón	0.1049	0.1049	0.1049	0.1049	0.1049	0.1049	0.1049	0.1049
Curvina	0.0607	0.0607	0.0607	0.0607	0.0607	0.0607	0.0607	0.0607
Escamas	0.0755	0.0755	0.0755	0.0755	0.0755	0.0755	0.0755	0.0755
Otros	0.0346	0.0346	0.0346	0.0346	0.0346	0.0346	0.0346	0.0346
Vaquita	0.0299	0.0299	0.0299	0.0299	0.0299	0.0299	0.0299	0.0299

Fuente: elaboración propia.

## Cálculo del valor económico de la vaquita marina (resultados)

Como paso previo para calcular el valor de la vaquita marina se obtienen los valores normalizados de los productos pesqueros considerados, junto con el de la vaquita, que son la base para la valoración económica de la especie (véase figura 8).

Figura 8

Ponderación y valor de los recursos

	Ponderación	Normalización	Valor en dólares
Camarón	0.1049	0.3432	13 906 180.7
Curvina	0.0607	0.1985	2 127 662.1
Escamas	0.0755	0.2471	6 458 315.8
Otros	0.0346	0.1133	5 658 429.3
Vaquita	0.0299	0.0979	
Subtotal	0.3056	1.0000	

Fuente: elaboración propia.

Con base en los valores normalizados referidos se calcula el ratio, el cual se multiplicará por el coeficiente de normalización de la vaquita, y el producto será el valor buscado: la valoración económica de la vaquita marina.

$$\text{Ratio} = (13 906 180.7 + 2 127 662.1 + 6 458 315.8 + 5 658 429.3) \\ / (0.3432 + 0.1985 + 0.2471 + 0.1133 + 0.0979)$$

$$\text{Ratio} = 28 150 588.$$

$$\text{Valor de la vaquita} = \text{ratio} * \text{normalización de vaquita} = 28 150 588 * 0.0979 = \$2 755 942.56.$$

## Conclusiones

El desafío principal de la investigación fue que había pocos datos, sobre todo para mostrar con mayor profundidad la interrelación es-

trecha entre la actividad pesquera, que propicia el abatimiento de la población de la vaquita marina, y las condiciones socioeconómicas de la comunidad con influencia en la reserva. No obstante lo señalado, este trabajo es valioso y novedoso por la forma de abordar uno de los problemas ambientales más complejos del país, a partir de una metodología empleada por primera vez en este caso cuya urgencia es latente, debido a la posibilidad de extinción de la especie.

El método ANP se considera pertinente para la valoración de recursos ambientales o servicios ecosistémicos, porque la interrelación en la red de influencias es estrecha. En este tipo de circunstancias resulta relevante la aplicación de dicha metodología, debido a la trascendencia de los vínculos entre los recursos o los servicios ecosistémicos y una comunidad humana que ejerce una fuerte presión sobre ellos. Respecto al objetivo principal del trabajo: la determinación del soporte económico local para la protección de la vaquita marina, se concluye que el mismo es de 2 755 942.56 dólares. No obstante es claro que la efectiva protección de la especie requiere una inversión mayor. Sin embargo, la priorización en la toma de decisiones presupuestales para estos fines ha variado en los últimos años. De hecho, la inyección de inversión a la zona de influencia ha sido históricamente insuficiente para preservar la especie, dado el número de ejemplares existentes, con excepción del monto asignado en 2015 y 2016. En 2010 se ejerció un presupuesto superior al valor anual obtenido para la vaquita; se aplicaron 3 795 721.9 dólares, mientras que a través del programa de acción para su conservación, en 2011 y 2012, se inyectaron 1 680 596.1 y 1 495 757.2 respectivamente (CONEVAL 2013); 61 y 54.3 por ciento de su valor anual.

Nunca se habían destinado tantos recursos para la protección de la vaquita marina, como los asignados durante 2015 y 2016: 57 860 962.5 dólares, en el marco de la Estrategia Integral para la Recuperación de la Vaquita Marina (Sexenio 2015); 21 veces el valor anual estimado de la especie. A pesar de ello, el soporte socioeconómico local se percibe como insuficiente debido a que los esfuerzos de protección hasta la fecha han sido infructuosos; ahora más que nunca la especie está en peligro, su población es reducida (alrededor de 30 individuos, de acuerdo con el reporte de la CIRVA (2016). Esto pone en evidencia que se necesitan más recursos para apoyar las tareas de vigilancia, y

proyectos que logren la conversión de actividades productivas en la zona en pro de la vaquita y en la mente de la población involucrada, aunado a que se requiere la inyección de recursos monetarios internacionales para su conservación. La actividad económica en la zona, mayoritariamente pesquera, no genera los fondos suficientes para instrumentar y sostener el programa de protección apropiado; se necesitan recursos, y que se les dé seguimiento formal a los resultados de desarrollo socioambiental, coherentes con la protección de la especie, que es urgente, y con las circunstancias socioeconómicas de las familias, que encuentran en la disposición de productos pesqueros una forma de sobrevivencia.

## Bibliografía

- Aznar, Jerónimo y Francisco Guijarro. 2012. Nuevos métodos de valoración. Modelos multicriterio. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Camacho, Vera y Arturo Ruiz. 2012. Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos. *BioCiencias* 1 (4): 3-15.
- CIRVA. 2016. Eight meeting of the Comité Internacional para la Recuperación de la Vaquita (IRVA-8). South West Fisheries Science Center. <http://www.greenpeace.org/mexico/Global/mexico/image/2016/campanas/CIRVA%208%20Report%20Final.pdf> (10 de marzo de 2017).
- CONANP. 2007. Programa de Conservación y Manejo Reserva de la Biosfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado. [http://www.conanp.gob.mx/que\\_hacemos/pdf/programas\\_manejo/Final\\_AltoGolfo.pdf](http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/Final_AltoGolfo.pdf) (10 de marzo de 2017).
- CONAPESCA. 2013. Producción pesquera 2006-2013. <https://datos.gob.mx/busca/dataset/produccion-pesquera> (16 de marzo de 2015).
- CONAPESCA. s/f. <http://www.conapesca.gob.mx/wb/cona/consulta> (12 de mayo de 2015).

CONEVAL. 2013. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Ficha de monitoreo 2013. [http://www.coneval.gob.mx/Informes/Evaluacion/Ficha\\_Monitoreo\\_Evaluacion\\_2013/SEMARNAT/16\\_U009.pdf](http://www.coneval.gob.mx/Informes/Evaluacion/Ficha_Monitoreo_Evaluacion_2013/SEMARNAT/16_U009.pdf) (17 de mayo de 2015).

Díaz, Daniela A. y Lina Ojeda. 2013. La Reserva de la Biosfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado: planeación territorial. *región y sociedad* xxv (58): 57-85.

Excélsior. 2015. Se extingue la vaquita marina, sólo quedan 50 ejemplares. 22 de junio. <http://www.excelsior.com.mx/nacional/2015/06/22/1030837> (25 de julio de 2015).

Gallopin, Gilberto. 2003. Sostenibilidad y desarrollo sostenible: un enfoque sistémico. Serie medio ambiente y desarrollo, no. 64. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos. Proyecto NET/00/063 “Evaluación del desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe”. CEPAL/gobierno de los Países Bajos. Santiago de Chile.

García, José y Erika Chávez. 2016. Desarrollo sustentable a 25 años, medido a través de sus compromisos ambientales y sociales. *Equidad & Desarrollo* 26. Ediciones Unisalle. Colombia.

Global FootPrint NetWork. 2014. Huella mundial. [http://www.footprintnetwork.org/es/index.php/GFN/page/world\\_footprint/](http://www.footprintnetwork.org/es/index.php/GFN/page/world_footprint/) (16 de julio de 2014).

Gómez-Baggethun, E. y R. De Groot. 2007. Capital natural y funciones de los ecosistemas: explorando las bases ecológicas de la economía. *Ecosistemas* 16 (3): 4-14.

INEGI. 2001. XII Censo general de población y vivienda. Resultados preliminares. <http://www.inegi.gob.mx> (14 de febrero de 2015).

Jaramillo-Legorreta, A., G. Cárdenas-Hinojosa, E. Nieto-García, L. Rojas-Bracho, J. Ver Hoef, J. Moore, N. Tregenza, J. Barlow, T. Ge-

- rrodette, L. Thomas y B. Taylor. 2017. Passive acoustic monitoring of the decline of Mexico's critically. *Conservation Biology* 31 (1): 183-191. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/cobi.12789/full> (10 de marzo de 2017).
- Kumar, M. y P. Kumar. 2008. Valuation of the ecosystem services: a psycho-cultural perspective. *Ecological Economics* 64: 808-819.
- McGoodwin, James. 2002. Better yet, a global perspective? Reflections and commentary on John Kurien's essay. *Maritime Studies* 1 (1): 31-38.
- Sexenio. 2015. Peña Nieto impulsa protección de vaquita marina. 16 de abril. <http://www.sexenio.com.mx/articulo.php?id=61033> (5 de junio de 2015).
- Rodríguez-Quiroz, Gerardo, E. Alberto Aragón-Noriega, Wenceslao Valenzuela-Quiñónez y Héctor M. Esparza-Leal. 2010. Artisanal fisheries in the conservation zones of the upper gulf of California. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 45 (1): 89-98. doi: 10.4067/S0718-19572010000100008 (13 de marzo de 2017).
- Redefining Progress. 2010. La huella ecológica: sustentabilidad del concepto a hechos concretos. <http://www.redefiningprogress.org> (12 de agosto de 2014).
- Saaty, Thomas. 2009a. Theory and applications of the analytic network process. Decision making with benefits, opportunities, cost and risks. Pittsburgh: RWS Publications.
- Saaty, Thomas. 2009b. Applications of analytic network process in entertainment. *Iranian Journal of Operations Research* 1 (2): 41-55.
- Saaty, Thomas. 2008. The analytic hierarchy and analytic network measurement processes: applications to decisions under risk. *European Journal of Pure and Applied Mathematics* 1(1): 122-196.

Saaty, Thomas. 1980. The analytic hierarchy process. Nueva York: McGrawHill.

Silber, Gregory, Jeffrey Adams y Christopher Fonnesbeck. 2014. Compliance with vessel speed restriction to protect North Atlantic right whales. PeerJ2:e399; doi 10.7717/peerj.399. <https://peerj.com/articles/399/> (13 de marzo de 2017).

United Nations. 1987. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf> (10 de febrero de 2012).

Vázquez León, C. 2006. Desarrollo, sustentabilidad y pobreza. Perspectivas de índole socioeconómica en comunidades dedicadas a la pesca ribereña. En *Pesca, acuacultura e investigación en México*, compilado por Patricia Guzmán A. y Dilo F. Fuentes, 171-189. México: Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria.

Vázquez, C. y José L. Fermán. 2010. Evaluación del impacto socioeconómico de la Reserva de la Biosfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado en la actividad pesquera ribereña de San Felipe, Baja California, México. *región y sociedad* 22 (47): 31-51. doi: 10.22198/rys.2010.47.a444.