

# De la evaluación ecológica a la socio-ecológica: la vulnerabilidad de los arrecifes de coral ante los factores de estrés asociados al cambio climático

## From ecological to socio-ecological assessment. Vulnerability of coral reefs to stress factors associated with climate change

*Mariana Reyna-Fabián\**, *Alejandro Espinoza\*\**, *Georges Seingier\*\*\**,  
*Leonardo Ortiz-Lozano\*\*\*\** e *Ileana Espejel\*\*\*\*\**

### Resumen

La degradación de los arrecifes de coral ha evidenciado su vulnerabilidad ante los factores de estrés asociados al cambio climático. Se presenta una panorámica de la evolución de los modelos conceptuales y metodológicos para evaluar la vulnerabilidad de los arrecifes de coral ante los factores de estrés asociados al cambio climático, a través de una revisión de las publicaciones científicas especializadas resultantes de estas bases de datos bibliográficas: EBSCOhost, Science Direct, JSTOR, Annual Reviews, Springer Link y PNAS con los términos específicos de búsqueda: arrecife, vulnerabilidad y cambio climático (español e inglés). Se observó una tendencia al aumento en el número de autores, instituciones y países por publicación, siendo Oceanía la región con mayor número de estos trabajos. Los primeros modelos para evaluar la vulnerabilidad climática de estos ecosistemas sólo incorporan sus elementos ecológicos; actualmente la mayoría incorpora sus elementos socio-ecológicos. En México, se encontró este tipo de modelos en reportes, informes, manuales y

---

\* Doctorante en la Universidad Autónoma de Baja California, México. Líneas de interés: manejo y conservación de arrecifes. Correo electrónico: marianabe@yahoo.com

\*\* Doctorado en Ciencias por la Universidad de Bremen, Alemania. Profesor-Investigador de El Colegio de la Frontera Sur, Campeche. Líneas de interés: manejo sustentable de sistemas socioecológicos costeros y planeación pesquera basada en ecosistemas. Correo electrónico: aespinoza@ecosur.mx

\*\*\* Doctorado en Medio Ambiente y Desarrollo por la Universidad Autónoma de Baja California, México. Profesor en la Facultad de Ciencias Marinas de la Universidad Autónoma de Baja California, México. Líneas de interés: sistemas de información geográfica y sus aplicaciones en la gestión sustentable del espacio costero. Correo electrónico: georges@uabc.edu.mx

\*\*\*\* Doctorado en Oceanografía Costera por la Universidad Autónoma de Baja California, México. Investigador en el Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías de la Universidad Veracruzana, México. Líneas de interés: estrategias para el manejo de recursos en zonas costeras. Correo electrónico: ortizleo@gmail.com

\*\*\*\*\* Doctorado en Ecología Botánica por la Universidad Uppsala, Suecia. Profesora-Investigadora en la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Baja California, México. Líneas de interés: ecología y manejo de ecosistemas costeros. Correo electrónico: ileana.espejel@uabc.edu.mx

capítulos de libro; la mayoría presentan modelos metodológicos para evaluar la vulnerabilidad socio-ecológica de estos ecosistemas y están enfocados principalmente a la capacidad de adaptación en las áreas naturales protegidas; también se observa la colaboración entre diversas instituciones gubernamentales, de la sociedad civil —nacionales e internacionales— y académicas.

**Palabras clave:** vulnerabilidad socio-ecológica; modelos conceptuales; modelos metodológicos; evaluación de la vulnerabilidad

## Abstract

The degradation of coral reefs has highlighted their vulnerability to stress factors associated with climate change. An overview of the evolution of conceptual and methodological models is presented to assess the vulnerability of coral reefs to stress factors associated with climate change, through publications resulting from the following bibliographic databases: EBSCOhost, ScienceDirect, JSTOR, Annual Reviews, Springer Link and PNAS with the specific search terms: reef, vulnerability and climate change (Spanish and English). There was a tendency to increase the number of authors, institutions and countries per publication, Oceania being the region with the largest number of these papers. The first models to assess the climate vulnerability of these ecosystems only incorporated their ecological elements, whereas nowadays, most of them include their socio-ecological elements. In Mexico, this type of models was found in reports, manuals and book chapters. Most of them present methodological models to assess the socio-ecological vulnerability of these ecosystems, and focus mainly on the capacity for adaptation in Protected Natural Areas; collaboration between various government and civil society institutions, —both national and international— and academia is also observed.

**Keywords:** socio-ecological vulnerability; conceptual framework; methodological framework; vulnerability assessment;

## Introducción

Los arrecifes de coral se encuentran entre los ecosistemas más diversos y productivos del planeta y al mismo tiempo de los más amenazados a nivel global y que en el ambiente marino pueden sufrir un colapso debido al cambio climático (Mumby y Steneck, 2008). En México, los arrecifes de coral

se ubican en el Sistema Arrecifal Mesoamericano (Mar Caribe), el cual es la segunda barrera arrecifal más grande del mundo; en el Pacífico, a través de diferentes formaciones coralinas (Sarukhán *et al.*, 2009), y en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México (Ortiz-Lozano *et al.*, 2013). En general, los arrecifes del Caribe se encuentran entre los ecosistemas marinos más impactados pues en esta región se ha reportado una pérdida de cobertura de coral de 40-50% (Halpern *et al.*, 2008). En otras regiones de México se reporta una pérdida de cobertura de 50% inicial a casi 20% de cobertura final entre 1970 y 2010 (Jackson *et al.*, 2014).

La degradación de estos ecosistemas y su relación con los factores asociados al cambio climático global incluye: el aumento de la acidificación del océano (Madin *et al.*, 2012; Wilkinson, 2008); el aumento del nivel medio del mar (Cinner *et al.*, 2016); el incremento en la temperatura del agua del mar (Chen *et al.*, 2015) y su relación con el blanqueamiento del coral (Selig *et al.*, 2010); los cambios en las tasas de precipitación pluvial (Pramova *et al.*, 2013); y el aumento en la frecuencia e intervalo de las tormentas tropicales (De'ath *et al.*, 2012).

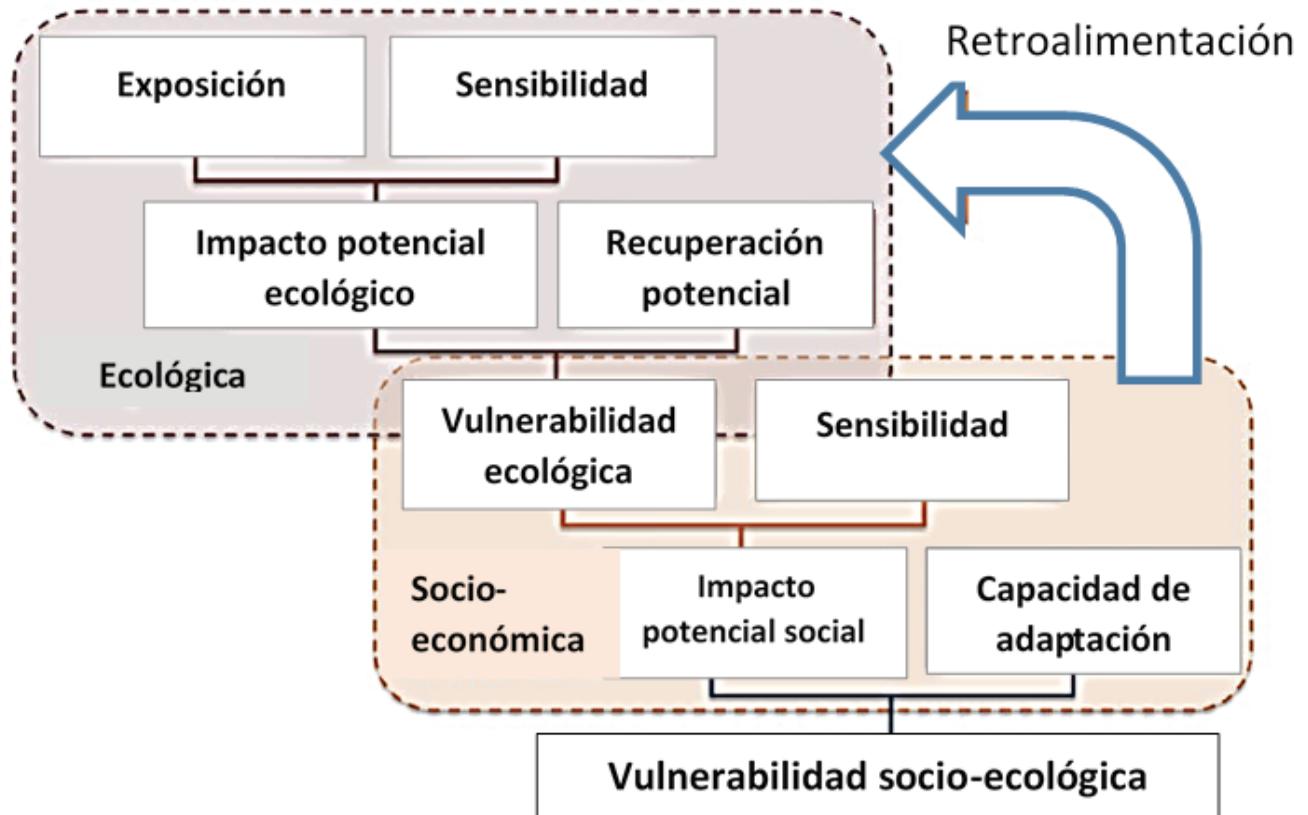
De acuerdo con el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por su acrónimo en inglés) la vulnerabilidad se refiere a la predisposición a que un individuo o sociedad sea afectado negativamente, lo que involucra una variedad de elementos que incluyen, entre otros, la sensibilidad o susceptibilidad al daño, la exposición y la capacidad de adaptación (IPCC, 2014). Por su parte, las evaluaciones de vulnerabilidad “brindan información sobre la naturaleza y las magnitudes de los impactos esperados del cambio climático e informan sobre las decisiones en torno a las formas y urgencias de las actividades y estrategias de adaptación” (Marshall *et al.*, 2009: 9).

En cuanto a los arrecifes de coral, es un gran reto comprender cuál es exactamente la vulnerabilidad de estos ecosistemas ante los factores de estrés asociados al cambio climático (Wachendorf *et al.*, 2007) ya que involucra componentes sociales y ecológicos, así como múltiples interacciones temporales y espaciales (Cinner *et al.*, 2012; Cinner *et al.*, 2016; Marshall *et al.*, 2009). Por ello, el objetivo de este trabajo es presentar una panorámica de la evolución de los modelos conceptuales y metodológicos para evaluar la vulnerabilidad de los arrecifes de coral ante los factores de estrés asociados al cambio climático.

Conceptualmente el modelo más reciente y holístico para evaluar la vulnerabilidad de los arrecifes de coral ante el cambio climático —vulnerabilidad climática— es el de Cinner *et al.* (2013b) mostrado en la Figura 1. Éste evolucionó del modelo de Marshall *et al.* (2009) y presenta dos dimensiones: la dimensión ecológica (recuadro café) y la dimensión socioeconómica (recuadro naranja), reconociendo la retroalimentación de ambas dimensiones (flecha azul). En la dimensión ecológica, la exposición y la sensibilidad crean un impacto potencial ecológico; este impacto, junto

con la recuperación potencial, representan la vulnerabilidad ecológica; ésta, junto con la sensibilidad social, representan el impacto potencial social y éste, junto con la capacidad de adaptación social, determina la vulnerabilidad socio-ecológica.

**Figura 1. Modelo conceptual que muestra la codependencia entre las dimensiones ecológica y socioeconómica de un sistema arrecifal**



Fuente: modificado de Cinner *et al.*, 2013b.

En este trabajo se aborda la vulnerabilidad socio-ecológica como aquella que incorpora la dimensión ecológica —componentes biológicos de los arrecifes— junto con la dimensión social —componentes socioeconómicos de las comunidades humanas dependientes o aledañas a los arrecifes— y que reconoce estas dos dimensiones como interdependientes, además de la complejidad de los procesos y dinámicas que se retroalimentan entre las dos dimensiones. También se define la vulne-

rabilidad ecológica como aquella que aborda sólo los componentes biofísicos de estos sistemas y la vulnerabilidad social la que considera únicamente los componentes socioeconómicos.

Este tipo de modelos conceptuales (Figura 1) permiten visualizar los elementos y su relación de vulnerabilidad. Por su parte, los modelos metodológicos proponen índices e indicadores que sintetizan los múltiples aspectos de la vulnerabilidad para identificar las áreas más susceptibles a los cambios ambientales (Abson *et al.*, 2012). La evaluación de la vulnerabilidad socio-ecológica de estos ecosistemas ante los factores de estrés asociados a este fenómeno es un tema de investigación urgente en general, y se considera relevante a nivel nacional por la importancia de sus arrecifes coralinos.

Las preguntas de investigación que se plantearon son: 1) ¿cuál es la panorámica de la evolución de los modelos conceptuales y metodológicos para evaluar la vulnerabilidad de los arrecifes ante los factores de estrés asociados al cambio climático?, 2) ¿cuáles son los elementos de la vulnerabilidad climática que incorporan este tipo de modelos?, 3) ¿qué tipos de modelos (conceptuales, metodológicos o ambos) se desarrollan o adoptan para evaluar esta vulnerabilidad climática en estos ecosistemas?, 4) ¿quiénes y cuáles son los principales investigadores y regiones que desarrollan o adaptan estos modelos de vulnerabilidad climática de los arrecifes coralinos? y 5) ¿cuál ha sido la evolución de estos modelos para evaluar la vulnerabilidad climática de los arrecifes coralinos en México?

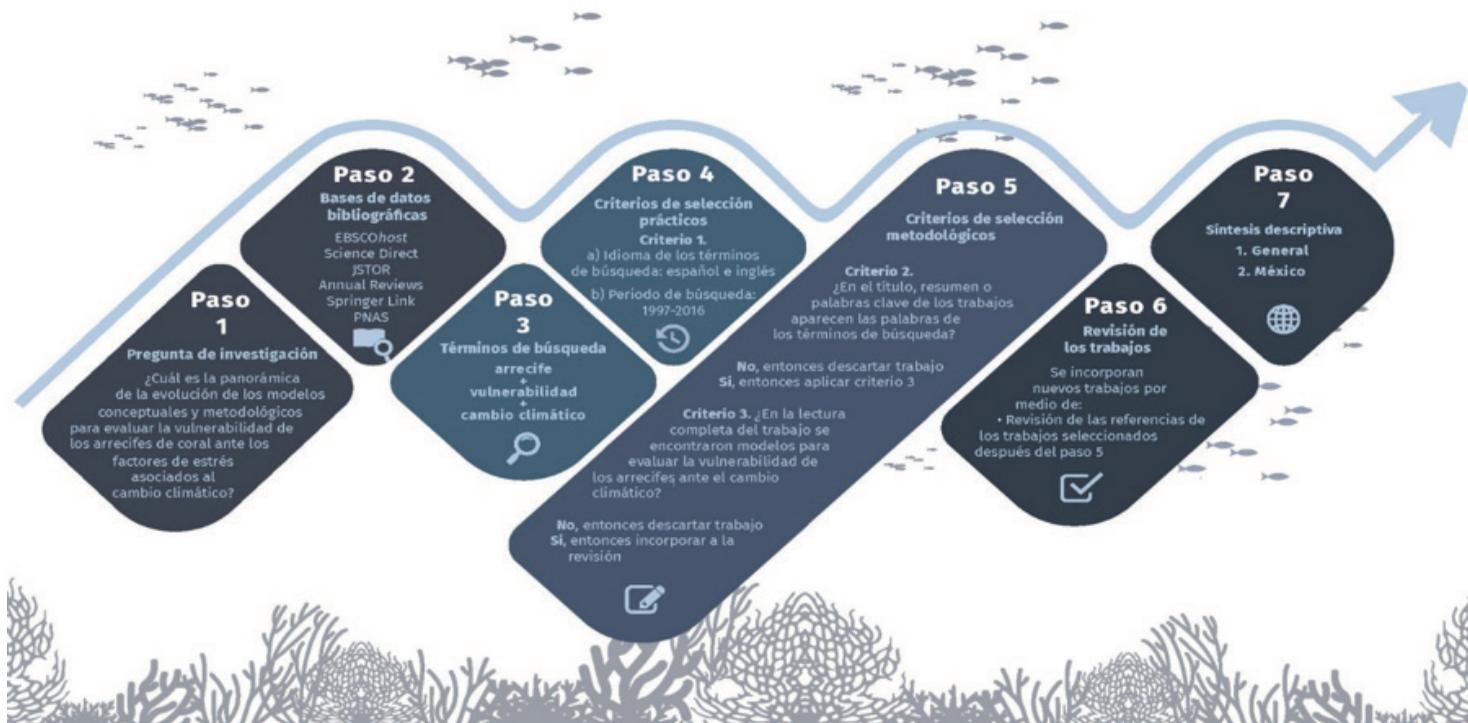
## Métodos

La revisión de la literatura relacionada con los modelos para evaluar la vulnerabilidad climática de los arrecifes se llevó a cabo por medio de la metodología de Fink (2014), quien propone los siguientes siete pasos: Paso 1, seleccionar la pregunta de investigación; Paso 2, seleccionar las bases de datos bibliográficas; Paso 3, seleccionar los términos de búsqueda; Paso 4, aplicar los criterios de selección prácticos; Paso 5, aplicar los criterios de selección metodológicos; Paso 6, realizar la revisión y Paso 7, sintetizar los resultados. En la Figura 2, se observan los pasos de esta metodología seguidos en este trabajo.

En el Paso 2, las bases de datos fueron consultadas en julio de 2016; éstas se seleccionaron, principalmente, debido a su disponibilidad de acceso a través del Consorcio Nacional de Recursos de Información Científica y Tecnológica (Conricyt) del Conacyt en la que diversas instituciones de educación superior y centros de investigación tienen acceso, también por disponibilidad en la red. Para el Paso 3, los términos específicos de búsqueda se definieron con relación a las preguntas de investigación. El Paso 4 describe el criterio de selección práctica (Criterio 1), en a) inglés y español con la finalidad de encontrar trabajos relacionados con el tema en el contexto

internacional y nacional, y b) periodo de tiempo, de 1997 a 2016, para incluir literatura actual. Para el Paso 5, o criterios de selección metodológicos, se aplicaron dos de éstos; el Criterio 2 permitió descartar los trabajos que no especificaran en su título, resumen o palabras clave los términos específicos de búsqueda; en el Criterio 3 se revisó, de manera rápida, todo el texto para poder seleccionar únicamente trabajos que incorporaran modelos conceptuales o metodológicos para evaluar la vulnerabilidad de estos ecosistemas ante los factores de estrés asociados al cambio climático. El Paso 6 incluye la revisión detallada de los trabajos obtenidos por medio de los pasos previos y éste permitió incorporar otros nuevos obtenidos de las referencias de dichos productos. Los trabajos obtenidos hasta este paso se clasificaron en dos tipos de literatura; los publicados en revistas indizadas y aquellos que aparecen en otras fuentes. Finalmente, la síntesis descriptiva de la literatura (Paso 7) consistió en identificar las posibles respuestas a las preguntas de investigación de este trabajo.

**Figura 2. Pasos y criterios aplicados para el análisis de la revisión de la literatura relacionada con la evaluación de la vulnerabilidad de los arrecifes coralinos ante los factores de estrés asociados al cambio climático de acuerdo con Fink, 2014**



Fuente: elaboración propia en base a Fink (2014).

## Resultados y discusión

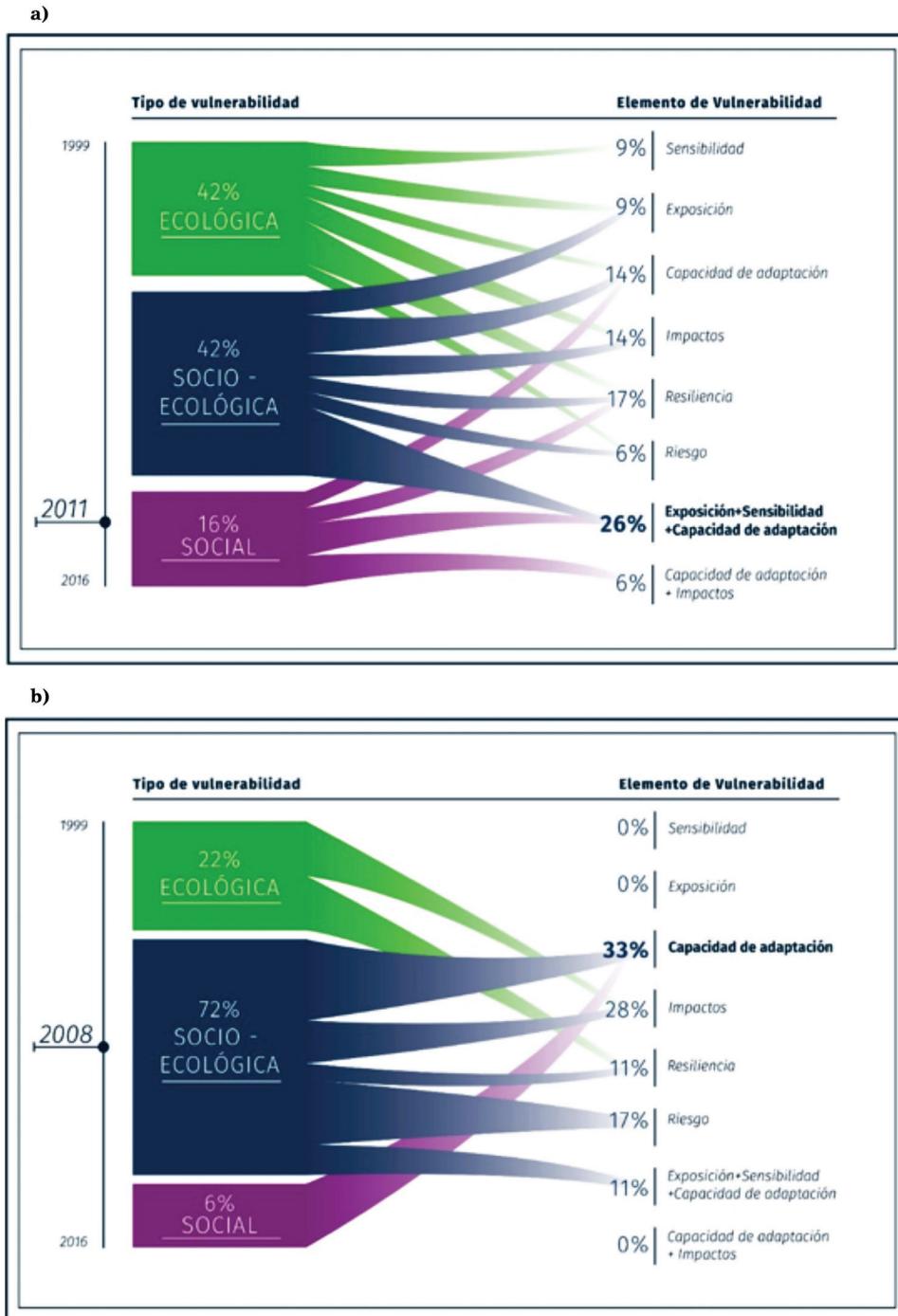
Los trabajos encontrados después del Criterio 1 sumaron 4 395 y se trataba de artículos de investigación y de revisión, reportes, informes, libros, capítulos de libros y notas o comentarios de editores. Después de aplicar el Criterio 2, se redujo esa cantidad a 188 trabajos —incluidos en el recurso electrónico—; posterior a la aplicación del Criterio 3 y Paso 6, se seleccionaron 36 trabajos publicados en revistas indizadas (Anexo I) y 18 publicaciones en otras fuentes a manera de reportes, informes, manuales y capítulos de libros (Anexo II). En total se analizaron 54 publicaciones que cumplieron con los tres criterios de selección. Los trabajos del Anexo I presentan las 27 diferentes revistas indizadas que los publicaron, siendo las revistas con un mayor número de publicaciones: *Regional Environmental Change* (4) y *Global Change Biology* (3). Los objetos de estudio con mayor número de publicaciones fueron los arrecifes como ecosistema (33%), seguidos por los peces arrecifales (22%), los corales (20%) y las comunidades humanas aledañas o dependientes de los arrecifes (13%).

Los trabajos que aparecen en otras fuentes se presentan en el Anexo II y algunos fueron publicados por asociaciones civiles como la World Wildlife Foundation (WWF), el Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (FMCN), The Nature Conservancy (TNC) y el World Resource Institute (WRI); así como por instituciones gubernamentales como la Comisión Nacional de Áreas Protegidas (Conanp), el Instituto Nacional de Ecología (INE), el Parque Marino de la Gran Barrera de Australia del Gobierno de Australia y el Ministerio Federal para el Ambiente, la Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de Alemania, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO), por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal) y por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN). De éstos, los principales objetos de estudio se dirigen a los arrecifes coralinos (61%) y a las áreas naturales protegidas (28%).

## Evolución de los modelos para evaluar la vulnerabilidad climática de los arrecifes de coral

En la Figura 3 se observa el porcentaje de publicaciones relacionadas con los tipos de vulnerabilidad —ecológica, social o socio-ecológica— y el porcentaje del elemento de la vulnerabilidad al que se refieren. En a) se observan los trabajos publicados en revistas indizadas (Anexo I), en donde se observa el mismo porcentaje para los trabajos dirigidos a evaluar la vulnerabilidad ecológica y los de vulnerabilidad socio-ecológica (42%) y 16% de la vulnerabilidad social. En b) a los trabajos publicados en otras fuentes (Anexo II), la mayoría se enfoca a la vulnerabilidad socio-ecológica (72%), seguidos por los de vulnerabilidad ecológica (22%) y 6% por los de vulnerabilidad social.

**Figura 3. Porcentajes de los tipos y elementos de la vulnerabilidad que abordan los trabajos analizados en este trabajo**



Fuente: elaboración propia.

Nota: En a) se presentan los trabajos publicados en revistas indizadas y en b) los trabajos publicados en otras fuentes (manuales, reportes, informes o capítulos de libro)

## Modelos de vulnerabilidad ecológica

En los primeros años, 1997-2007, los trabajos presentan modelos que evalúan la vulnerabilidad climática únicamente desde la dimensión ecológica. Sin embargo, los trabajos en las revistas indizadas se han publicado en mayor porcentaje desde esta dimensión (42%) en comparación con las publicaciones de otras fuentes (22%). Como ejemplo, Done (1999) hace referencia a la vulnerabilidad de las comunidades de coral presentando un modelo conceptual que muestra las formas en las que dichas comunidades podrían responder a estresores ambientales que incrementarían en los escenarios de cambio climático. Las respuestas hacen referencia a las transformaciones en las comunidades coralinas e incluyen desde los cambios menores o la tolerancia —aclimatación de los organismos a nuevas circunstancias— hasta las transformaciones mayores —cambios de fase o reemplazo de grupos funcionales—. Como se mencionó anteriormente, este tipo de modelos de evaluación de la vulnerabilidad climática no reconoce la interdependencia de las dos dimensiones del sistema ni su complejidad. Algunos trabajos recientes que evalúan este tipo de vulnerabilidad son los de Lawton *et al.* (2012) y Parravicini *et al.* (2014).

## Modelos de vulnerabilidad social

La mayoría de las publicaciones que evalúan la vulnerabilidad desde la dimensión socio-económica se enfocan en la vulnerabilidad de las actividades económicas; destacando las pesquerías y el turismo. Como ejemplo, el trabajo presentado por Marshall *et al.* (2013), dirigido a evaluar la vulnerabilidad de dos actividades económicas importantes para las comunidades asociadas a los arrecifes en la Gran Barrera de Coral en Australia —pesca y turismo— ante los eventos climatológicos extremos asociados al cambio climático. Otros trabajos recientes clasificados dentro de esta perspectiva económica son los de Biggs *et al.* (2015), Holbrook y Johnson (2014) y Tapsuwan y Rongrongmuang (2015). El trabajo de Grasso y colaboradores (2014) presenta un índice de vulnerabilidad social para Samoa construido con la participación de grupos de interés de la comunidad ante eventos asociados al cambio climático. Otro trabajo similar dentro de esta perspectiva de participación social es el de Khan y Vincent (2015).

## Modelos de vulnerabilidad socio-ecológica

A partir del 2008 comienzan los trabajos dirigidos a evaluar la vulnerabilidad socio-ecológica de los arrecifes de coral ante el cambio climático; a partir de este año se observa una constancia anual y la tendencia del uso de este tipo de modelos. El porcentaje de trabajos que se publican en revistas indizadas es menor (42%) al número de estudios de este tipo publicados en otras fuentes (72%)

(Figura 3). Esto podría asociarse al primer trabajo que propone un marco conceptual para evaluar la vulnerabilidad socio-ecológica presentado por Marshall *et al.* (2009); forma parte del Anexo II y reconoce la codependencia de las dimensiones social y ecológica y a su vez está basado en el modelo de vulnerabilidad ante el cambio climático del IPCC (IPCC, 2007). Después de este trabajo, el número de publicaciones de este tipo aumentó considerablemente y ha sido citado por otros publicados en revistas indizadas (Cinner *et al.*, 2012; Cinner *et al.*, 2013a; Cinner *et al.*, 2013b; Hernández-Delgado, 2015; Holbrook y Johnson, 2014; Marshall *et al.*, 2013).

La importancia de estos modelos radica en reconocer los sistemas como sistemas socio-ecológicos (SSE), ante lo cual Ostrom (2009) menciona que los recursos utilizados por el humano están embebidos en SSE complejos. Además, se ha señalado que los modelos conceptuales que integran los SSE permiten alcanzar metas de sustentabilidad que benefician tanto a las sociedades humanas como a la naturaleza, y que integran además información de diversas disciplinas naturales y sociales con el fin de proporcionar un medio teóricamente fundamentado para probar hipótesis sobre las dinámicas y las implicaciones de las interacciones socio-ecológicas (Leslie *et al.*, 2015).

## Elementos para evaluar la vulnerabilidad climática de los arrecifes coralinos

En la Figura 3, en a) se encontró que, la mayoría de los artículos publicados en revistas indizadas, incorporan los tres elementos de la vulnerabilidad: sensibilidad, exposición y capacidad de adaptación (27%), seguidos de los trabajos que abordan sólo la resiliencia (18%), la capacidad de adaptación e impactos (15% cada uno), la sensibilidad y la exposición (9% cada uno), y finalmente la exposición y al riesgo (6% cada uno). En cambio, en b) se observa que la capacidad de adaptación es el elemento más recurrente (33%), seguido por los impactos (28%), el riesgo (17%), los tres elementos —sensibilidad, exposición y capacidad de adaptación— y la resiliencia (11% cada uno).

El primer trabajo cuyo objetivo es evaluar la vulnerabilidad climática con sus tres elementos es nuevamente el de Marshall *et al.*, 2009; su definición de vulnerabilidad utilizada está basada en el IPCC y menciona que “la vulnerabilidad está dada en función del tipo, la magnitud y la tasa de variación climática a la que un sistema está expuesto, así como de la sensibilidad y capacidad de adaptación de dicho sistema” (Marshall *et al.*, 2009: 5). A partir de 2012 se observan numerosas publicaciones en revistas indizadas que evalúan los tres elementos de la vulnerabilidad (por ejemplo, Hughes *et al.*, 2012; Johnson y Welch, 2016; Licuanan *et al.*, 2015).

Sin embargo, en los primeros años (1997-2007) todos los trabajos evalúan la vulnerabilidad climática desde el enfoque de sólo uno de sus elementos —o de sus temas relacionados— y la mayoría están enfocados en mostrar aspectos de la resiliencia ecológica. En un ejemplo, Bellwood *et*

*al.* (2004) analizan la resiliencia de los arrecifes de coral ante los cambios de fase, o de estado, de comunidades coralinas a comunidades de algas filamentosas ante los factores relacionados con las actividades humanas —pesca, exceso de nutrientes y contaminación— y con los efectos del cambio climático, como el blanqueamiento de coral. En esta investigación se encontraron seis trabajos de resiliencia ecológica. Otras dos publicaciones abordan la resiliencia desde la dimensión social (Anthony *et al.*, 2015; Biggs *et al.*, 2015).

Las producciones que incorporan sólo la capacidad de adaptación son abordadas principalmente desde la dimensión social, es decir, evidencian la capacidad de adaptación de las comunidades y de las industrias asociadas a los arrecifes de coral. Por ejemplo, en Bohensky y colaboradores (2010) se muestra la percepción de la capacidad de adaptación y de la política de adaptación en las comunidades pesqueras de Queensland (Australia) por medio de encuestas a pescadores y a sus familias. Otras dos publicaciones se enfocan en este elemento; son las de Evans *et al.* (2013) y Khan y Vincent (2015).

Por otro lado, Doney y sus colaboradores (2012) presentan una revisión de la literatura sobre los impactos del cambio climático en los ecosistemas marinos. En cuanto a los arrecifes resaltan la importancia que tienen los impactos del cambio climático sobre estos ecosistemas debido a que la cuarta parte de todas las especies marinas están asociadas a ellos. Cinner *et al.* (2016) identifican las múltiples vías de impacto dentro de los sistemas socio-ecológicos de los arrecifes de coral que surgen de cuatro fuerzas motrices clave: la temperatura superficial del océano, las tormentas, el aumento del nivel del mar y la acidificación del océano: este modelo conceptual está dirigido a la investigación del impacto del cambio climático en los sistemas socio-ecológicos que ayuda a identificar los diversos impactos que deben ser considerados con el fin de desarrollar una comprensión más completa de los impactos del cambio climático, así como para desarrollar acciones de manejo dirigidas a mitigar estos impactos en los arrecifes de coral y en las comunidades. Se encontraron otros dos trabajos importantes enfocados a los impactos y son los de McLeod *et al.* (2010) y Selkoe *et al.* (2009).

Para el tema de riesgo, hay un trabajo que presenta un modelo conceptual que estima el riesgo de extinción de los peces arrecifales con relación a disturbios del cambio climático —blanqueamiento del coral y mortalidad— y que predice la vulnerabilidad de una población de peces arrecifales, con la extinción de éstos después de un disturbio climático —índice de vulnerabilidad climática— en las Islas Seychelles (Graham *et al.*, 2011). Dos trabajos reportan índices de riesgo para distintas naciones con arrecifes de coral y para el Indo-Pacífico; los principales riesgos y amenazas de los arrecifes a este fenómeno incluyen a los eventos de blanqueamiento de coral masivos y la reducción en las tasas de crecimiento del coral (Burke *et al.*, 2012; Burke *et al.*, 2011).

Finalmente, son muy pocos los trabajos que se enfocan sólo en uno de los elementos de la vulnerabilidad: la sensibilidad (Maina *et al.*, 2008; McClanahan *et al.*, 2014) y la exposición (Hereher, 2016; Maina *et al.*, 2011). Esto puede estar determinado por las palabras clave o términos de búsqueda específicos utilizados al indagar en las bases de datos y no significa que no se publiquen trabajos asociados a estos elementos de la vulnerabilidad y a los arrecifes de coral ante los factores de estrés asociados al cambio climático.

Un trabajo que evalúa la vulnerabilidad climática desde una perspectiva diferente a todas las anteriores es el de Madin *et al.* (2008), quienes desde los componentes mecánicos de los arrecifes utilizaron una ecuación que medía la velocidad máxima del agua que una colonia de coral puede resistir en las Islas Lagartijas de Australia antes de desagregarse durante un disturbio climático intenso, y muestran cómo está vulnerabilidad climática está en función de la forma de la colonia y de la velocidad del agua.

## **Modelos conceptuales y metodológicos para evaluar la vulnerabilidad climática de los arrecifes de coral**

En general, la mayoría de los trabajos presentan un modelo metodológico —con índices o indicadores—, seguido por los modelos conceptuales, pero pocos presentan ambos modelos. Sería interesante desarrollar modelos conceptuales a nivel local que permitieran identificar los elementos de vulnerabilidad climática con sus implicados y las particularidades de estos sistemas socio-ecológicos con la finalidad de establecer medidas de adaptación o mitigación. Por su parte la aplicación de los modelos metodológicos que proponen índices e indicadores sirve para hacer comparaciones de la vulnerabilidad climática de estos sistemas a diversas escalas —local, regional y mundial—.

Un modelo metodológico interesante exhibe un procedimiento que correlaciona las variables físicas presentes cuando sucede un evento de blanqueamiento masivo y de mortalidad en los corales con el fin de predecir qué variables se correlacionan con este evento, éstas incluyen las corrientes superficiales, velocidad del viento, temperatura superficial del océano, radiación UV, radiación fotosintéticamente activa y concentración de clorofila *a* (Maina *et al.*, 2008). En 2011 proponen un modelo metodológico similar para evaluar la exposición de los corales, a nivel global y regional, ante los factores de estrés relacionados a las variables de radiación (SST, anomalías de SST, luz UV y velocidad del viento), las variables que refuerzan el estrés (clorofila *a* y materia total suspendida) y las variables que lo reducen (variabilidad SST y rango mareal); así el estrés por radiación es el factor que mayor influencia tiene sobre los corales (Maina *et al.*, 2011). Otro modelo de este tipo plantea una herramienta para evaluar la vulnerabilidad con la finalidad de identificar los impactos del cambio climático en las áreas costeras y buscar medidas de adaptación ante estos

impactos; está construido mediante preguntas dirigidas a personas no especializadas en el tema para obtener los elementos de la vulnerabilidad para diversos ecosistemas y para los arrecifes de coral (Licuanan *et al.*, 2015).

Cinner *et al.* (2013b) presentan un modelo conceptual para evaluar la vulnerabilidad socio-ecológica ante el impacto del blanqueamiento del coral en pesquerías junto con un modelo metodológico representado por el índice de vulnerabilidad socio-ecológica; este modelo ha sido modificado por Wolff y colaboradores (2015) para añadir un elemento de inequidad entre las emisiones de gases de efecto invernadero por país y sus efectos en los países con arrecifes de coral. Otro trabajo que presenta estos dos tipos de modelos, dirigido a evaluar la vulnerabilidad de los ecosistemas costeros en los trópicos ante el cambio climático, es propuesto como modelo VA-TURF y presenta tres componentes: pesquero, de ecosistemas arrecifales y socio-económico; se aplicó en dos sitios de Filipinas con la participación de la comunidad y personal local para determinar su vulnerabilidad climática y su metodología promueve la participación local en el desarrollo de la evaluación de la vulnerabilidad que les confiere la oportunidad de escalar sus esfuerzos a los niveles de gobierno (Mamauag *et al.*, 2013).

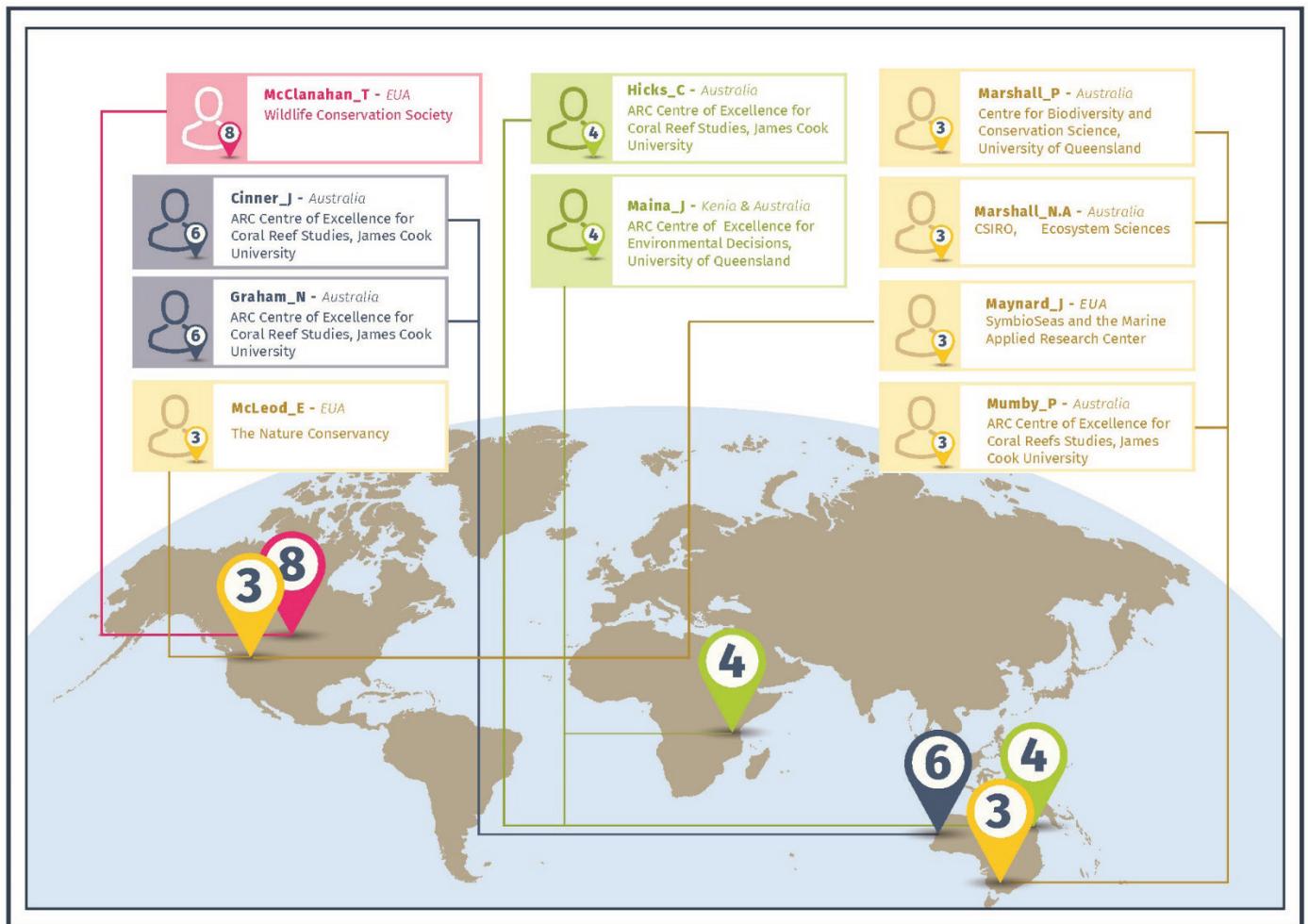
## Investigadores y regiones destacadas

Las investigaciones en cambio climático requieren de equipos multi o interdisciplinarios, por lo que las publicaciones son de multiautores. Esto es evidente en los resultados de esta investigación ya que se encontró que se ha incrementado el número de colaboradores e instituciones en los artículos de revistas indizadas (Anexo 1); por ejemplo, del 1999 al 2007 el número de colaboradores máximo fue de cuatro (Bellwood *et al.*, 2004) y a partir del 2010 se observa una mayor participación de autores, instituciones y países. Por ejemplo, el trabajo de Anthony *et al.* (2015) tiene 29 colaboradores de siete países (Australia, Estados Unidos de América, Fiji, Polinesia Francesa, Suecia, Kenia y Tailandia) y 21 instituciones de investigación, educación, gobierno y organizaciones de la sociedad civil. En el estudio de Cinner *et al.* (2016) participaron 25 colaboradores de seis países (Australia, Estados Unidos de América, Canadá, Islas Salomón, Francia y Reino Unido) de institutos relacionados con Ciencias de la Atmósfera, Biología, Oceanografía, Geografía, y Sustentabilidad.

En la Figura 4 se observan los autores con mayor número de publicaciones relacionados con este tema, el país y el sitio de adscripción de cada uno, así como el número de trabajos publicados. Los autores con mayor número de publicaciones en revistas indizadas se encuentran en Australia, excepto tres de ellos que están en Estados Unidos de América. El autor con mayor nú-

mero de trabajos es McClanahan, adscrito a la asociación civil Sociedad para la Conservación de la Vida Silvestre en los Estados Unidos de América (ocho trabajos), seguido de los investigadores Cinner y Graham, con seis trabajos cada uno y ambos adscritos al Centro de Excelencia de Estudios de Arrecifes de Coral de la Universidad James Cook en Queensland, Australia. En cuanto a las zonas de estudio de las publicaciones en revistas indizadas, la mayoría de ellas se dirigen a Australia, la Gran Barrera de Coral, y Oceanía (30%); le sigue la región del Indo-Pacífico, con 22% y 7% para la región del Caribe.

**Figura 4. Principales investigadores que publican en revistas indizadas acerca de los modelos para evaluar la vulnerabilidad de los arrecifes de coral ante el cambio climático**



Fuente: elaboración propia.

**Cuadro 1. Estudios con modelos conceptuales o metodológicos para evaluar la vulnerabilidad de los arrecifes de coral en México ante el cambio climático**

Tipo de vulnerabilidad	Autor, año	Elemento de la vulnerabilidad	Tipo de modelo	Objeto de estudio	Colaboradores	Tipo de trabajo	Idioma
Ecológica	INE, UNAM y Semarnat, 2008	Impactos	Metodológico	Coral	55	Informe	Español
	Blanchon <i>et al.</i> , 2010	Impactos	Metodológico	Arrecifes de coral	4	Capítulo de libro	Español
	Ponce-Vélez <i>et al.</i> , 2011	Impactos	Metodológico	Arrecifes de coral	3	Capítulo de libro	Español
Socio-ecológica	Padilla <i>et al.</i> , 2010	Riesgo	Conceptual	Arrecifes de coral	3	Capítulo de libro	Español
	Martínez <i>et al.</i> , 2011	Riesgo	Metodológico	Peces arrecifales	3	Artículo en revista indizada	Inglés
	March <i>et al.</i> , 2011	Capacidad de adaptación	Metodológico	ANP	33	Reporte	Español
	Conap-FMCN-TNC, 2011	Capacidad de adaptación	Metodológico	ANP	38	Reporte	Español
	Cepal, 2012	Impactos	Metodológico	Arrecifes de coral	22	Reporte	Español
Social	Conap-GIZ, 2014	Capacidad de adaptación	Metodológico	ANP	No aparece	Manual	Español

Fuente: elaboración propia.

## Contexto mexicano en los modelos para evaluar la vulnerabilidad de los arrecifes de coral ante el cambio climático

En el Cuadro 1 se observa que las publicaciones con modelos para evaluar la vulnerabilidad climática de los arrecifes en México datan del año 2008, y se presentaron en forma de reportes, informes, manuales, capítulos de libro y un artículo publicado en una revista indizada (resaltado en gris). Al igual que los trabajos a nivel mundial, se observa que la mayoría presentan modelos para evaluar la vulnerabilidad socio-ecológica; esto es de gran importancia pues se sigue la tendencia de reconocer las dos dimensiones de la vulnerabilidad como interdependientes y que se retroalimentan. Tres trabajos abordan la vulnerabilidad desde la perspectiva ecológica (Blanchon *et al.* 2010; INE, UNAM y Semarnat, 2008; Ponce-Vélez *et al.*, 2011), mientras que sólo uno evalúa la dimensión socio-económica (Conanp y GIZ, 2014).

En el mismo Cuadro 1 se muestra la colaboración entre instituciones gubernamentales, sobre todo de la Conanp, con las Organizaciones de la Sociedad Civil (OSC) nacionales (FMCN, Fundación Carlos Slim y CEGAM) e internacionales (WWF, TNC y GIZ), incluyendo la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal). En general, la mayoría cuenta con una amplia colaboración entre autores, contabilizando un máximo de 55 (p. ej., INE, UNAM y Semarnat, 2008). Algunos de los autores que publican en estos trabajos pertenecen a instituciones educativas y/o de investigación nacionales como el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (UNAM), Universidad Autónoma de Campeche (UAC) y El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR). Sin embargo, la mayoría de los autores pertenecen a instituciones gubernamentales (Conanp y Semarnat) y a las OSC.

Una gran cantidad de trabajos incorporan la capacidad de adaptación (40%). El interés por este tema podría explicarse porque esas publicaciones tienen como objeto de estudio a las ANP. Uno de los ejemplos más recientes para estas áreas (Conanp, CEGAM, WWF y Fundación Carlos Slim, 2015) se presenta como una herramienta para conocer la vulnerabilidad socio-ecológica de éstas ante el cambio climático. Otro trabajo presenta los resultados obtenidos en el proyecto “Desarrollo de Programas Piloto de Adaptación al Cambio Climático en Áreas Naturales Protegidas del Sureste de México” (March *et al.*, 2011) e identifica los manglares y los arrecifes de coral entre los ecosistemas más amenazados ante los efectos del cambio climático. En ese mismo año, se presenta el reporte Programa de Adaptación al Cambio Climático en Áreas Naturales Protegidas del complejo del Caribe de México (Conanp, FMCN y TNC, 2011), el cual identifica estrategias de conservación para el complejo de áreas protegidas del Caribe de México e incluye áreas con arrecifes coralinos, por ejemplo el Parque Nacional Arrecifes de Xcalak.

Hay trabajos que tienen como objeto de estudio las ANP con modelos metodológicos para evaluar la vulnerabilidad desde la capacidad de adaptación; esto podría estar relacionado con que

estas áreas están administradas por la Conap, quien ha tomado la política de adaptación ante el cambio climático global como eje de desarrollo institucional (Semarnat e INECC, 2012); otro motivo podría ser que el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012 incluye como estrategia la evaluación de los impactos, la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático en diferentes sectores socioeconómicos y sistemas ecológicos (Graizbord *et al.*, 2009). Incluso se ha desarrollado una alianza, entre la Conanp y algunas OSC que busca recopilar herramientas técnicas, disponibles en línea y de acceso libre, que apoyen en la toma de decisiones y en la implementación de acciones en campo para la adaptación de los ecosistemas y las comunidades al cambio climático, siendo algunas de estas herramientas aplicables para determinar la vulnerabilidad de los arrecifes (March *et al.*, 2013).

Sin desalentar el esfuerzo que se está realizando para evaluar la vulnerabilidad en las ANP, hay que considerar que no todos los arrecifes se encuentran bajo esta categoría de manejo. Además, estos modelos metodológicos son muy generales, por lo que sería importante presentar un marco conceptual y metodológico particular para estos ecosistemas arrecifales a nivel nacional. Con respecto a las ANP ante el cambio climático, Bezaury-Creel (2010: 689-690) mencionan:

Sin afán de desestimar los posibles beneficios que las áreas naturales protegidas costeras y marinas pueden representar en la mitigación del cambio climático global, sólo si somos capaces de lograr que estos espacios continúen proporcionando bienes y servicios directos a los mexicanos y que el valor de estos sea socialmente reconocido, especialmente aquellos relacionados con la capacitación ecosistémica al cambio climático para los asentamientos humanos costeros, se logrará que estas áreas sean vigentes en el siglo XXII.

En cuanto a los trabajos enfocados a los impactos (40%), la mayoría de estos evalúan la vulnerabilidad desde la dimensión ecológica. Por ejemplo, Ponce-Vélez y colaboradores (2011) estiman el grado de vulnerabilidad de algunos ecosistemas costeros, incluyendo los arrecifes, a través de las metodologías propuestas por el IPCC para Veracruz, Tabasco, Campeche y Quintana Roo. Asimismo Veracruz y Tabasco presentaron un grado de vulnerabilidad e impacto ambiental alto, mientras que Campeche y Quintana Roo se clasificaron con una afectación media ante los cambios climáticos y los fenómenos hidrometeorológicos extremos.

Al igual que los trabajos a nivel internacional, la mayoría de los de México presentan un modelo metodológico (88%) principalmente aplicado en las mismas ANP, por lo que se puede asumir que en estas áreas se realizan ejercicios prácticos para identificar la vulnerabilidad de estos ecosistemas. Sólo un trabajo presenta un modelo conceptual (Padilla *et al.*, 2010) que muestra la estrategia de acción para la atención de la problemática ambiental que a nivel local, regional y glo-

bal está afectando a los arrecifes de coral, así como las estrategias de conservación para fortalecer la resiliencia de estos ecosistemas.

El trabajo publicado por la Cepal (2012) presenta una metodología muy detallada para la construcción de dos índices de vulnerabilidad climática de la costa —índice de vulnerabilidad ecológica e índice de vulnerabilidad socioeconómica—. Incluye una sección relacionada con la vulnerabilidad de los arrecifes de coral; sin embargo, el cálculo de la vulnerabilidad climática de estos ecosistemas está basado en la recopilación y síntesis de otros trabajos, en los cuales los detalles de sus resultados son a nivel mundial y por lo tanto generales; este tipo de metodología podría ser útil para evaluar los arrecifes tanto a gran escala como a nivel nacional.

Con este método de búsqueda aplicado en este trabajo, sólo se encontró un artículo publicado en una revista indizada (Martínez *et al.*, 2011), resaltado en el Cuadro 1, el cual presenta un modelo metodológico para evaluar la vulnerabilidad socio-ecológica de diversos ecosistemas marinos ante el cambio climático adaptado para el Golfo de México. Entre los ecosistemas evaluados se incluyen los arrecifes de coral junto con las especies de importancia pesquera. También se señalan los impactos que afectarían por dicho fenómeno a la producción pesquera en México; precisamente hacia ellos se tendrán que dirigir las estrategias de adaptación y mitigación.

También se encontraron trabajos con modelos para evaluar la vulnerabilidad climática en zonas costeras en México y, aunque no son específicos para los arrecifes de coral, en ellos se resaltan modelos metodológicos para evaluar esta vulnerabilidad sirviendo como casos de estudio para estos sistemas socio-ecológicos. El trabajo presentado por Núñez *et al.* (2016), estima la vulnerabilidad costera de Tabasco, ante el potencial incremento del nivel del mar, mediante el uso del índice de vulnerabilidad costera; otro trabajo similar para Tabasco, junto con Campeche, es el presentado por Ramos-Reyes *et al.* (2016). Ortiz y Méndez (1999) presentan un trabajo para el Golfo de México y el Mar Caribe, el cual está dirigido a evaluar la vulnerabilidad de la costa, desde el impacto ante el aumento del nivel del mar. Otros trabajos de este tipo son presentados por Yáñez-Arancibia y Day (2010) y Buenfil (2009).

Algunos trabajos nacionales, que también presentan una panorámica de este tipo, son los presentados por Azuz-Adeth y colaboradores (2010) y Ruíz-Ramírez (2016); el primero presenta una revisión sobre el estado del arte en la construcción e implementación de diferentes indicadores e índices propuestos para el desarrollo sustentable y la gestión ambiental, proponiendo algunos indicadores para la gestión costera y marina que consideren los impactos del cambio climático en México. El segundo, muestra una revisión y descripción de cuatro herramientas de análisis para la vulnerabilidad costera ante el aumento del nivel del mar para el caribe mexicano, la metodología común del IPCC, el análisis multicriterio y los modelos DIVA y CATSIM.

Vale la pena mencionar que se encontraron diversos trabajos que evalúan la salud de los arrecifes, sobre todo para el Arrecife Mesoamericano, por medio de índices e indicadores que también son utilizados en las evaluaciones de vulnerabilidad climática de estos ecosistemas; por ejemplo el trabajo presentado por Healthy Reefs Initiative (2008) detalla con gran precisión el método y uso de los indicadores para evaluar la vulnerabilidad climática de los arrecifes del Caribe; o el presentado por Mcfield y Kramer (2007), quienes muestran un modelo conceptual de salud del Arrecife Mesoamericano, en el cual la estructura y función del ecosistema, el bienestar social y la gobernanza y los factores de cambio —cambio climático global— determinan esta salud.

Otro trabajo es el de Arrivillaga y Windevoxhel (2008), en el cual se evalúa el mismo sistema arrecifal (Mesoamericano) y se proponen estrategias para aunar los principales retos, minimizar o abatir las amenazas a los elementos de conservación, garantizar el mejoramiento de la viabilidad de los elementos de conservación y promover el uso sostenible y conservación de los recursos de biodiversidad para promover el logro de las aspiraciones y el desarrollo económico y social, así como la conservación en la región. Estos trabajos a nivel regional son importantes para México, ya que el Banco Interamericano de Desarrollo (2010) menciona que la región mesoamericana es altamente vulnerable al cambio climático.

En general, Balvanera *et al.* (2016) afirman que el conocimiento relacionado con las condiciones climáticas —actuales y futuras— para los arrecifes de coral en México se encuentra en claro desarrollo con aportaciones conceptuales, metodológicas y de datos. En relación a esto se reconoce que, considerando las bases de datos y los motores de búsqueda seleccionados, quedan fuera trabajos de colegas enfocados a la vulnerabilidad climática de estos ecosistemas en México y que no son citados aquí. Análisis futuros podrían incluir los trabajos que tienen que ver con la sensibilidad de los arrecifes o sus componentes ante los factores de estrés climático que se presentan en Álvarez-Filip y Gil (2006), Álvarez-Filip *et al.* (2009), Carricart-Ganivet *et al.* (2012), Carriquiry *et al.* (2001) y Reyes-Bonilla *et al.* (2002). Otros ejemplos de trabajos que versan sobre la capacidad de adaptación son Ayala-Bocos y Reyes-Bonilla (2008), Calderón-Aguilera y Reyes-Bonilla (2006), Fernández-Rivera *et al.* (2018), Medellín-Maldonado *et al.* (2016), Tortolero-Langarica *et al.* (2017) y Walther-Mendoza *et al.* (2016).

## Conclusiones

En la mayoría de los trabajos revisados se observa una tendencia a la presentación de modelos dirigidos a evaluar la vulnerabilidad climática de los arrecifes de coral desde la dimensión socio-ecológica. En México se observa cómo se visualiza esta misma tendencia, hecho de gran relevancia

puesto que se reconoce la codependencia de los arrecifes coralinos con las comunidades humanas asociadas o dependientes de estos ecosistemas.

En general, la mayoría de los trabajos presentan un modelo metodológico en el que incorporan la sensibilidad, la exposición y la capacidad de adaptación. Es importante señalar que los modelos conceptuales de la literatura publicada en otros medios, y no en revistas indizadas, han sido utilizados en éstas mismas, e incluso han marcado un punto de partida en la propuesta de este tipo de modelos como el de Marshall *et al.* (2009). A nivel nacional, la mayoría de los modelos presentados también son metodológicos, dirigidos principalmente a evaluar el impacto y la capacidad de adaptación, ésta última dirigida a las áreas naturales protegidas.

Se observa una tendencia al aumento en el número de colaboradores y de instituciones — gubernamentales, académicas y de la sociedad civil— en los trabajos nacionales e internacionales analizados en el periodo. La región con mayor número de producción de escritos es Oceanía (Gran Barrera de Coral). Los países con un mayor número de investigadores que publican este tipo de modelos son Australia y Estados Unidos; en estos países los trabajos presentados a manera de reportes y capítulos de libros muchas veces se publican en revistas indizadas. En México, la mayoría de trabajos se materializan en forma de reportes, informes, manuales y capítulos de libros.

Considerando las bases de datos y los motores de búsqueda seleccionados, quedan fuera importantes investigaciones de colegas que trabajan en los arrecifes en México, por lo que es importante hacer un ejercicio de reflexión acerca del tipo de literatura que se publica a nivel nacional, ¿cuáles son las posibles causas para que estos modelos no terminen en publicaciones de revistas indizadas?, ¿es realmente necesario publicar en revistas internacionales si un gran número de trabajos tienen como público meta a los tomadores de decisiones o manejadores de ANP? También sería necesario revisar los criterios hegemónicos de búsqueda que desarrollan muchos buscadores, los preferidos por el Sistema de Investigación Nacional, en lugar de valorar las formas de comunicación del conocimiento nacional.

## Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para cursar el programa de doctorado del primer autor. Al Proyecto PNUD-INECC-00086487 “Caracterización y regionalización de las zonas costeras de México en condiciones actuales y con cambio climático”. A Ixchel True Orozco por el diseño de las imágenes.

## Referencias

- Abson, David J.; Dougill, Andrew J., y Stringer, Lindsay C. (2012). "Spatial Mapping of Socio-ecological Vulnerability to Environmental Change in Southern Africa", (documento de trabajo). Recuperado de <https://www.see.leeds.ac.uk/fileadmin/Documents/research/sri/workingpapers/SRIPs-32.pdf> (Última consulta el 15 de marzo de 2016).
- Álvarez-Filip, Lorenzo y Gil, I. (2006). "Effects of Hurricanes Emily and Wilma on Coral Reefs in Cozumel, Mexico". *Coral Reefs*, 25(4), pp. 583.
- Álvarez-Filip, Lorenzo; Millet-Encalada, Marinés, y Reyes-Bonilla, Héctor (2009). "Impact of Hurricanes Emily and Wilma on the Coral Community of Cozumel Island, Mexico". *Bulletin of Marine Science*, 84(3), pp. 295-306.
- Anthony, Kenneth R.N.; Marshall, Paul A.; Abdulla, Ameer; Beeden, Roger; Bergh, Chris; Black, Ryan; Eakin, C. Mark; Game, Edward T.; Gooch, Margaret; Graham, Nicholas A. J.; Green, Alison; Heron, Scott F.; Hooidonk, Ruben V.; Knowland, Cheryl; Mangubhai, Sangeeta; Marshall, Nadine; Maynard, Jeffrey A.; Mccinnity, Peter; Mcleod, Elizabeth; Mumby, Peter J.; Nyström, Magnus; Obura, David; Oliver, Jamie; Possingham, Hugh P.; Pressey, Robert L.; Rowlands, Gwilym P.; Tamelander, Jerker; Wachenfeld, David, y Wear, Stephanie (2015). "Operationalizing Resilience for Adaptive Coral Reef Management under Global Environmental Change". *Global Change Biology*, 21(1), pp. 48-61.
- Anthony, Kenneth R.N.; Maynard, Jeffrey A.; Diaz-Pulido, Guillermo; Mumby, Peter J.; Marshall, Paul A.; Cao, Long, y Hoegh-Guldberg, Ove (2011). "Ocean Acidification and Warming Will Lower Coral Reef Resilience". *Global Change Biology*, 17(5), pp. 1798-1808.
- Arrivillaga, A., y Windevoxhel, N. (2008). "Evaluación Ecorregional del Arrecife Mesoamericano: Plan de Conservación Marina". Recuperado de <https://www.cbd.int/doc/meetings/mar/rwebsa-wcar-01/other/rwebsa-wcar-01-guatemala-02-es.pdf> (Última consulta el 22 de noviembre de 2017).
- Ayala-Bocos, Arturo y Reyes-Bonilla, Héctor (2008). "Analysis of Reef Fish Abundance in the Gulf of California, and Projection of Changes by Global Warming". *11th International Coral Reef Symposium*, Ft. Lauderdale, Florida.
- Azuz-Adeath, Isaac; Espejel, Ileana; Rivera-Arriaga, Evelia; Fermán, José Luis, y Seingier, Georges (2010). "Referentes internacionales sobre indicadores e índices. Historia y estado del arte". En Alfonso V. Botello, Susana Villanueva, Jorge Gutiérrez, y José. Luis Rojas (eds.), *Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático*. México: Gobierno del Estado de Tabasco/Semarnat-INE/ UNAM-ICMYL, Universidad Autónoma de Campeche, pp. 845-872.
- Balvanera, Patricia; Arias-González, Jesús Ernesto; Rodríguez-Estrella, Ricardo; Almeida-Leñero, Lucía y Schmitter-Soto, Juan J. (2016). *Una mirada al conocimiento de los ecosistemas de México*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México, 441 pp.
- Bellwood, David R.; Hughes, Terence Patrick; Folke, Carl, y Nyström, Magnus (2004). "Confronting the Coral Reef Crisis". *Nature*, 429(6994), pp. 827-833.
- Bezaury-Creel, Juan E. (2010). "Las Áreas Naturales Protegidas costeras y marinas de México ante el cambio climático". En Alfonso V. Botello, Susana Villanueva, Jorge Gutiérrez, y José

- Luis Rojas Galaviz (eds.), *Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático*. México: Gobierno del Estado de Tabasco. Semarnat-INE/UNAM-ICMYL/Universidad Autónoma de Campeche, pp. 689-736.
- Biggs, Duan; Hicks, Christina C.; Cinner, Joshua E., y Hall, C. Michael (2015). "Marine Tourism in the Face of Global Change: The Resilience of Enterprises to Crises in Thailand and Australia". *Ocean and Coastal Management*, 105, pp. 65-74.
- Blanchon, Paul; Iglesias-Prieto, Roberto; Jordan Dahlgren, Eric, y Richards, S. (2010). "Mitigación, adaptación y costos en los Arrecifes de coral y cambio climático: vulnerabilidad de la zona costera de Quintana Roo". En Alfonso V. Botello, Susana Villanueva, Jorge Gutiérrez, y José. Luis Rojas Galaviz (eds.), *Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático*. México: Gobierno del Estado de Tabasco/Semarnat-INE/UNAM-ICMYL/Universidad Autónoma de Campeche, pp. 229-248.
- Bohensky, Erin; Stone-Jovicich, Samantha; Larson, Silva, y Marshall, Nadine (2010). "Adaptive Capacity in Theory and Reality: Implications for Governance in the Great Barrier Reef Region". En Derek Armitage y Ryan Plummer (eds.), *Adaptive Capacity and Environmental Governance*. Alemania: Springer, pp. 23-41.
- Buenfil Friedman, Jacinto (2009). *Adaptación a los impactos del cambio climático en los humedales costeros del Golfo de México*. México: INE- Semarnat, 375 pp.
- Burke, Laretta; Reyta, Kathleen; Spalding, Mark, y Perry, Allison (2011). "Reefs at Risk Revisited". Recuperado de [http://pdf.wri.org/reefs\\_at\\_risk\\_revisited.pdf](http://pdf.wri.org/reefs_at_risk_revisited.pdf) (Última consulta el 20 de abril de 2016).
- Burke, Laretta; Reyta, Kathleen; Spalding, Mark, y Perry, Allison (2012). "Reefs at Risk: Revisited in the Coral Triangle". Recuperado de [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(79\)90136-9](https://doi.org/10.1016/0022-0981(79)90136-9) (Última consulta el 22 de marzo de 2016).
- Calderón-Aguilera, Luis Eduardo y Reyes-Bonilla, Héctor (2006). "Can Local Oceanographic Conditions in the Mexican Pacific Buffer the El Niño-Southern Oscillation Effects on Coral Reefs?". *Proceedings of 10th International Coral Reef Symposium*, Okinawa, Japón.
- Carricart-Ganivet, Juan P.; Cabañillas-Terán, Nancy; Cruz-Ortega, Israel, y Blanchon, Paul (2012). "Sensitivity of Calcification to Thermal Stress Varies among Genera of Massive Reef-Building Corals". *PLoS ONE*, 7(3), e32859.
- Carriquiry, José D.; Cupul-Magaña, Amílcar L.; Rodríguez-Zaragoza, Fabián, y Medina-Rosas, Pedro (2001). "Coral Bleaching and Mortality in the Mexican Pacific during the 1997–98 El Niño and Prediction from a Remote Sensing Approach". *Bulletin of Marine Science*, 69(1), pp. 237-249.
- Chen, Ping-Yu; Chen, Chi-Chung; Chu, LanFen, y McCarl, Bruce (2015). "Evaluating the Economic Damage of Climate Change on Global Coral Reefs". *Global Environmental Change*, 30, pp. 12-20.
- Cinner, Joshua E.; McClanahan, Tim; Graham, Nick; Daw, Tim R.; Maina, Joseph; Stead, Selina; Wamukota, Andrew; Brown, Katrina, y Bodin, Örjan (2012). "Vulnerability of Coastal Com-

munities to Key Impacts of Climate Change on Coral Reef Fisheries”. *Global Environmental Change*, 22(1), pp. 12-20.

- Cinner, Joshua E.; Huchery, Cindy; Darling, Emily S.; Humphries, Austin T.; Graham, Nicholas; Hicks, Christina C.; Marshall, Nadine, y McClanahan, Tim R. (2013a). “Evaluating Social and Ecological Vulnerability of Coral Reef Fisheries to Climate Change”. *PLoS ONE*, 8(9), e74321-e74321.
- Cinner, Joshua; McClanahan, Tim; Wamukota, Andrew; Darling, Emily; Humphries, Austin; Hicks, Christina; Huchery, Cindy; Marshall, Nadine; Hempson, Tessa; Graham, Nick; Bodin, Örjan; Daw, Tim, y Allison, Eddie (2013b). “Social-Ecological Vulnerability of Coral Reef Fisheries to Climatic shocks”. Recuperado de [www.fao.org/3/a-ap972e.pdf](http://www.fao.org/3/a-ap972e.pdf) (Última consulta el 20 de febrero de 2016).
- Cinner, Joshua Eli; Pratchett, Morgan Stuart; Graham, Nicholas Anthony James; Messmer, Vanessa; Menezes, Mariana; Bezerra Fuentes, Prata; Ainsworth, Tracy; Ban, Natalie; Bay, Line Kolind; Blythe, Jessica; Dissard, Delphine; Dunn, Simon; Evans, Louisa; Fabinyi, Michael; Fidelman, Pedro; Figueiredo, Joana; Frisch, Ashley John; Fulton, Christopher John; Hicks, Christina Chemtai; Lukoschek, Vimoksalehi; Mallela, Jennie; Moya, Aurelie; Penin, Lucie; Rummer, Jodie Lynn; Walker, Stefan, y Williamson, David Hall (2016). “A Framework for Understanding Climate Change Impacts on Coral Reef Social-Ecological Eystems”. *Regional Environmental Change*, 16(4), pp. 1133-1146.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal) (2012). “Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe Vulnerabilidad y exposición”. Recuperado de [http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3982/1/S2012024\\_es.pdf](http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3982/1/S2012024_es.pdf) (Última consulta el 20 de noviembre de 2017).
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp), y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) (2014). “Herramienta para el análisis de vulnerabilidad social a los impactos climáticos a nivel local en Áreas Naturales Protegidas. México”. Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61191/Herramienta\\_Vulnerabilidad\\_Social\\_completa.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61191/Herramienta_Vulnerabilidad_Social_completa.pdf) (Última consulta el 15 de marzo de 2016).
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp), Alianza WWF-Fundación Carlos Slim, y Centro de Especialistas en Gestión Ambiental (CEGAM) (2015). “Herramienta para el diagnóstico rápido de vulnerabilidad al cambio climático en áreas naturales protegidas. México.” Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/248689/Diagnostico\\_rapido\\_vulnerabilidad\\_cc.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/248689/Diagnostico_rapido_vulnerabilidad_cc.pdf) (Última consulta el 15 de marzo de 2016).
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp); Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (FMCN), y The Nature Conservancy (TNC) (2011). “Programa de adaptación al cambio climático en áreas naturales protegidas del complejo del Caribe de México”. Recuperado de [http://cambioclimatico.conanp.gob.mx/documentos/re\\_caribe\\_de\\_mexico.pdf](http://cambioclimatico.conanp.gob.mx/documentos/re_caribe_de_mexico.pdf) (Última consulta el 15 de febrero de 2016).

- De'ath, Glenn; Fabricius, Katharina E.; Sweatman, Hugh, y Puotinen, Marji (2012). "The 27-Year Decline of Coral Cover on the Great Barrier Reef and its Causes". *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(44), pp. 17995-17999.
- Done, Terence J. (1999). "Coral Community Adaptability to Environmental Change at the Scales of Regions, Reefs and Reef Zones". *American Zoologist*, 39, pp. 66-79.
- Doney, Scott C.; Ruckelshaus, Mary; Duffy, Emmett J.; Barry, James P.; Chan, Francis; English, Chad A.; Galindo, Heather M.; Grebmeier, Jacqueline M.; Hollowed, Anne B.; Knowlton, Nancy; Polovina, Jeffrey; Rabalais, Nancy N.; Sydeman, William J.; Talley, Lynne D. (2012). "Climate Change Impacts on Marine Ecosystems". *Annual Review of Marine Science*, 4, pp. 11-37.
- Evans, Louisa S.; Hicks, Christina C.; Fidelman, Pedro; Tobin, Renae C., y Perry, Allison L. (2013). "Future Scenarios as a Research Tool: Investigating Climate Change Impacts, Adaptation Options and Outcomes for the Great Barrier Reef, Australia". *Human Ecology*, 41(6), pp. 841-857.
- Fernández-Rivera Melo, Francisco J.; Reyes-Bonilla, Héctor; Martínez-Castillo, Violeta, y Pérez-Alarcón, Fernanda (2018). "Northernmost Occurrence of *Zanclus Cornutus* (Zanclidae) in the Eastern Pacific (Northern Gulf of California, Mexico)". *Thalassas: An International Journal of Marine Sciences*, pp. 6-9.
- Fink, Arlene (2014). *Conducting Research Literature Reviews: from the Internet to Paper*. EUA: The Langley Research Institute, 257 pp.
- Graham, Nicholas A.J.; Chabanet, Pascale; Evans, Richard D.; Jennings, Simon; Letourneur, Yves; MacNeil, M. Aaron; McClanahan, Tim R.; Öhman, Marcus C.; Polunin, Nicholas V.C., y Wilson, Shaun K. (2011). "Extinction Vulnerability of Coral Reef Fishes". *Ecology Letters*, 14(4), pp. 341-348.
- Graizbord, Boris; Nava, Emelina; Martínez, Anabel; Ramírez, Jaime, y Lemus Raúl(2009). "Marco general de políticas de adaptación al cambio climático". En Jacinto Buenfil Friedman (ed.). *Adaptación a los impactos del cambio climático en los humedales costeros del Golfo de México*. México: INE-Semarnat, pp. 79-102.
- Grasso, Marco; Moneo, Marta, y Arena, Marco (2014). "Assessing Social Vulnerability to Climate Change in Samoa". *Regional Environmental Change*, 14(4), pp. 1329-1341.
- Halpern, Benjamin S.; Walbridge, Shaun; Selkoe, Kimberly A.; Kappel, Carrie V.; Micheli, Fiorenza; D'Agrosa, Caterina; Bruno, John F.; Casey, Kenneth S.; Colin, Ebert; Fox, Helen E.; Fujita, Rod; Heinemann, Dennis; Lenihan, Hunter S.; Madin, Elizabeth M.P.; Perry, Matthew T.; Selig, Elizabeth R.; Spalding, Mark; Steneck, Robert, y Watson, Reg (2008). "A Global Map of Human Impact on Marine Ecosystems". *Science*, 319, pp. 948-952.
- Healthy Reefs Initiative (2008). "Libreta de calificaciones correspondientes al Sistema Arrecifal Mesoamericano. Una evaluación de la salud del ecosistema". Recuperado de <http://www.healthyreefs.org/cms/wp-content/uploads/2012/12/Reporte-2008.pdf> (Última consulta el 19 de noviembre de 2017).
- Hereher, Momahed E. (2016). "Vulnerability Assessment of the Saudi Arabian Red Sea Coast to Climate Change". *Environmental Earth Sciences*, 75(1), pp. 1-13.

- Hernández-Delgado, Edwin A. (2015). "The Emerging Threats of Climate Change on Tropical Coastal Ecosystem Services, Public Health, Local Economies and Livelihood Sustainability of Small Islands: Cumulative Impacts and Synergies". *Marine Pollution Bulletin*, 101(1), pp. 5-28.
- Hoegh-Guldberg, Ove, y Hoegh-Guldberg, Hans (2004). "The Implications of Climate Change for Australia's Great Barrier Reef". Recuperado de [http://awsassets.wwf.org.au/downloads/mo020\\_implications\\_of\\_climate\\_change\\_for\\_gbr\\_21feb04.pdf](http://awsassets.wwf.org.au/downloads/mo020_implications_of_climate_change_for_gbr_21feb04.pdf) (Última consulta el 30 marzo de 2016).
- Holbrook, Neil J., y Johnson, Johanna E. (2014). "Climate Change Impacts and Adaptation of Commercial Marine Fisheries in Australia: A Review of the Science". *Climatic Change*, 124(4), pp. 703-715.
- Hughes, Sara; Yau, Annie; Max, Lisa; Petrovic, Nada; Davenport, Frank; Marshall, Michael; McClanahan, Timothy R.; Allison, Edward H., y Cinner, Joshua E. (2012). "A Framework to Assess National Level Vulnerability from the Perspective of Food Security: The Case of Coral Reef Fisheries". *Environmental Science & Policy*, 23, pp. 95-108.
- Instituto Nacional de Ecología (INE), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) (2008). "Evaluación regional de la vulnerabilidad actual y futura de la zona costera mexicana y los deltas más impactados ante el incremento del nivel del mar debido al cambio climático y fenómenos hidrometeorológicos extremos". Recuperado de [http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/e2008\\_ev\\_regional\\_zcm.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/e2008_ev_regional_zcm.pdf) (Última consulta el 25 de febrero de 2016).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007). "Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability: Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel". Cambridge, UK, 976 pp.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2014). "Anexo II: Glosario". En Katharine J. Mach; Serge Planton, y Christoph von Stechow (eds.), *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Equipo principal de redacción, Rajendra K. Pachauri y Leo Meyer (eds.)]. Ginebra, Suiza: IPCC, pp. 127-141.
- Jackson, Jeremy; Donovan, Mary; Cramer, Katie, y Lam, Vivian (2014). *Status and Trends of Caribbean Coral Reefs: 1970-2012*. Gland, Suiza: Global Coral Reef Monitoring Network, IUCN, 304 pp.
- Johnson, Johanna E., y Marshall, Paul A. (2007). *Climate Change and the Great Barrier Reef: A Vulnerability Assessment*. Australia: Climate Change and the Great Barrier Reef/Great Barrier Marine Park Authority/Australian Greenhouse Office, 801 pp.
- Johnson, Johanna E., y Welch, David J. (2016). "Climate Change Implications for Torres Strait Fisheries: Assessing Vulnerability to Inform Adaptation". *Climatic Change*, 135(3-4), pp. 611-624.
- Khan, Ahmed, y Vincent, Amelie (2015). "Assessing Climate Change Readiness in Seychelles: Implications for Ecosystem-Based Adaptation Mainstreaming and Marine Spatial Planning". *Regional Environmental Change*, 15(4), pp. 721-733.

- Lawton, Rebecca J.; Pratchett, Morgan S., y Berumen, Michael L. (2012). "The Use of Specialisation Indices to Predict Vulnerability of Coral-Feeding Butterflyfishes to Environmental Change". *Oikos*, 121(2), pp. 191-200.
- Leslie, Heather M.; Basurto, Xavier; Nenadovic, Mateja; Sievanen, Leila; Cavanaugh, Kyle C.; Cota-Nieto, Juan José; Erisman, Brad E.; Finkbeiner, Elena; Hinojosa-Arango, Gustavo; Moreno-Báez, Marcia; Nagavarapu, Sriniketh; Reddy, Sheila M.W.; Sánchez-Rodríguez, Alexandra; Siegel, Katherine; Ulibarria-Valenzuela, José Juan; Weaver, Amy Hudson, y Aburto-Oropeza, Octavio (2015). "Operationalizing the Social-Ecological Systems Framework to Assess Sustainability". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(19), pp. 5979-5984.
- Licuanan, Wilfredo Y.; Samson, Maricar S.; Mamauag, Samuel S.; David, Laura T.; Borja-del Rosario, Roselle; Quibilan, Miledel Christine C.; Siringan, Fernando P.; Sta. Maria, Ma Yvaine Y.; España, Norievill B.; Villanoy, Cesar L.; Geronimo, Rollan C.; Cabrera, Olivia C.; Martínez, Renmar Jun S., y Aliño, Porfirio M. (2015). "I-C-SEA Change: A Participatory Tool for Rapid Assessment of Vulnerability of Tropical Coastal Communities to Climate Change Impacts". *Ambio*, 44(8), pp. 718-736.
- Madin, Joshua S.; Hughes, Terry P., y Connolly, Sean R. (2012). "Calcification, Storm Damage and Population Resilience of Tabular Corals under Climate Change". *PLoS ONE*, 7(10), e46637.
- Madin, Joshua S.; O'Donnell, Michael J., y Connolly, Sean R. (2008). "Climate-Mediated Mechanical Changes to Post-Disturbance Coral Assemblages". *Biology Letters*, 4(5), pp. 490-493.
- Maina, Joseph; McClanahan, Tim R.; Venus, Valentijn; Ateweberhan, Mebrahtu, y Madin, Joshua (2011). "Global Gradients of Coral Exposure to Environmental Stresses and Implications for Local Management". *PLoS ONE*, 6(8), e23064.
- Maina, Joseph; Venus, Valentijn; McClanahan, Timothy R., y Ateweberhan, Mebrahtu (2008). "Modelling Susceptibility of Coral Reefs to Environmental Stress Using Remote Sensing Data and GIS Models". *Ecological Modelling*, 212(3), pp. 180-199.
- Mamauag, Samuel S.; Aliño, Porfirio M.; Martínez, Renmar Jun. S.; Muallil, Richard N.; Doctor, Maria Victoria A.; Dizon, Emerlinda C.; Geronimo, Roland C.; Panga, Fleurdeliz M., y Cabral, Reniel B. (2013). "A Framework for Vulnerability Assessment of Coastal Fisheries Ecosystems to Climate Change-Tool for Understanding Resilience of Fisheries (VA-TURF)". *Fisheries Research*, 147, pp. 381-393.
- March, Ignacio J.; Cabral, Hernando; Echeverría, Yven; Bellot, Mariana, y Frausto, Juan Manuel (2011). "Adaptación al Cambio Climático en Áreas Protegidas del Caribe de México", (reporte). Recuperado de <http://www.marfund.org/sp/learnmore/whatsgoing/Adaptacion ANP Caribe Mexico Final.pdf> (Última consulta el 18 de marzo de 2017).
- March, Ignacio J.; Buenfil, Jacinto; Ulrich, Silvia; von Bertrab, Alejandro, y Núñez, Miriam T. (2013). "Herramientas disponibles en línea de utilidad para evaluar los impactos del cambio climático y apoyar el diseño de medidas de adaptación y mitigación". Alianza México Resiliente: áreas protegidas, respuestas naturales al cambio climático. Recuperado de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/251117/Herramientas-para-ladaptacion.pdf> (Última consulta el 18 de noviembre de 2017).

- Marshall, N.A.; Marshall, Paul.; Tamelander, Jerker; Obura, David O.; Malleret-King, Delphine, y Cinner, Joshua (2009). "A Framework for Social Adaptation to Climate Change. Sustaining Tropical Coastal Communities and Industries". Gland, Suiza: IUCN, 36 pp.
- Marshall, Nadine A.; Tobin, Renae C.; Marshall, Paul A.; Gooch, Margaret, y Hobday, Alistair J. (2013). "Social Vulnerability of Marine Resource Users to Extreme Weather Events". *Ecosystems*, 16(5), pp. 797-809.
- Martínez, Arroyo A.; Manzanilla, Nain S., e Hidalgo, Zavala J. (2011). "Vulnerability to Climate Change of Marine and Coastal Fisheries in México". *Atmósfera*, 24(1), pp. 103-123.
- Maynard, Jeffrey A.; McKagan, Steven; Raymundo, Laurie; Johnson, Steven; Ahmadi, Gabby N.; Johnston, Lyza; Houk, Peter; Williams, Gareth J.; Kendall, Matt; Heron, Scott F.; Ivan Hooi-donk, Ruben; Mcleod, Elizabeth; Tracey, Dieter., y Serge, Planes (2015). "Assessing Relative Resilience Potential of Coral Reefs to Inform Management". *Biological Conservation*, 192, pp. 109-119.
- McClanahan, Timothy R.; Graham, Nicholas A.J., y Darling, Emily S. (2014). "Coral Reefs in a Crystal Ball: Predicting the Future From the Vulnerability of Corals and Reef Fishes to Multiple Stressors". *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 7, pp. 59-64.
- Mcfield, Melanie, y Kramer, Patricia (2007). "Healthy Reefs for Healthy People: A Guide to Indicators of Reef Health and Social Well-being in the Mesoamerican Reef Region". Recuperado de [http://www.rareplanet.org/sites/rareplanet.org/files/McFieldKramer\\_2007\\_HealthyReefForHealthyPeople.pdf](http://www.rareplanet.org/sites/rareplanet.org/files/McFieldKramer_2007_HealthyReefForHealthyPeople.pdf) (Última consulta el 19 de noviembre de 2017).
- McLeod, Elizabeth; Moffitt, Russell; Timmermann, Axel; Salm, Rodney; Menviel, Laurie; Palmer, Michael J.; Selig, Elizabeth R.; Casey, Kenneth S., y Bruno, John F. (2010). "Warming Seas in the Coral Triangle: Coral Reef Vulnerability and Management Implications". *Coastal Management*, 38(5), pp. 518-539.
- Medellín-Maldonado, Francisco; Cabral-Tena, Rafael Andrés; López-Pérez, Andrés; Calderón-Aguilera, Luis E.; Norzagaray-López, C. Orión; Chapa-Balcorta, Cecilia y Zepeta-Vilchis, Ronald C. (2016). "Calcificación de las principales especies de corales constructoras de arrecifes en la costa del Pacífico del sur de México". *Ciencias Marinas*, 42(3), 209-225.
- Mumby, Peter J., y Steneck, Robert S. (2008). "Coral Reef Management and Conservation in Light of Rapidly Evolving Ecological Paradigms". *Trends in Ecology and Evolution*, 23(10), pp. 555-563.
- Núñez Gómez, Juan Carlos; Ramos Reyes, Rodimiro; Barba Macías, Everardo; Espinoza Tenorio, Alejandro, y Gama Campillo, Lilia María (2016). "Índice de vulnerabilidad costera del litoral tabasqueño, México». *Investigaciones Geográficas*, 91, pp. 70-85.
- Obura, David O. (2005). "Resilience and Climate Change: Lessons from Coral Reefs and Bleaching in the Western Indian Ocean". *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 63(3), pp. 353-372.
- Ortiz-Lozano, Leonardo; Pérez-España, Horacio; Granados-Barba, Alejandro; González-Gándara, Carlos, Gutiérrez-Velázquez, Ana, y Martos, Javier (2013). "The Reef Corridor of the Southwest Gulf of Mexico: Challenges for its management and conservation". *Ocean & Coastal Management*, 86, pp. 22-32.

- Ortiz Pérez, Mario Arturo, y Méndez Linares, Ana Patricia (1999). “Escenarios de vulnerabilidad por ascenso del nivel del mar en la costa mexicana del Golfo de México y el Mar Caribe”. *Investigaciones Geográficas Boletín*, 39, pp.68-81.
- Ostrom, Elinor (2009). “A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems”. *Science*, 325, pp. 419-422.
- Padilla, Souza C.; Alafita-Vázquez, H., y Andreu-Montalvo, E. (2010). “Factores de riesgo para los arrecifes coralinos y sus mecanismos de respuesta ante los efectos del cambio climático global”. En Evelia Rivera-Arriaga; Isaac Azuz-Adeath; Leticia Alpuche Gual, y Guillermo Jorge Villalobos-Zapata (eds.), *Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino*. Universidad Autónoma de Campeche/CETYS-Universidad/Gobierno del Estado de Campeche, pp. 181-204.
- Parravicini, Valeriano; Villéger, Sébastien; McClanahan, Tim R.; Arias-González, Jesus Ernesto; Bellwood, David R.; Belmaker, Jonathan; Chabanet, Pascale; Floeter, Sergio R.; Friedlander, Alan M.; Guilhaumon, François; Vigliola, Laurent; Kulbicki, Michel, y Mouillot, David (2014). “Global Mismatch between Species Richness and Vulnerability of Reef Fish Assemblages”. *Ecology Letters*, 17, pp. 1107-1110.
- Ponce-Vélez, Guadalupe; Villanueva-Fragoso, Susana y García-Ruelas, Claudia (2011). “Vulnerabilidad de la zona costera. Ecosistemas costeros del Golfo y Caribe Mexicanos”. En Alfonso V. Botello; Susana Villanueva-Fragoso; Jorge Gutiérrez, y José Luis Rojas Galaviz (eds.), *Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático*. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa/UNAM-ICMYL/Universidad Autónoma de Campeche, pp. 37-72.
- Pramova, Emilia; Chazarin, Florie; Locatelli, Bruno, y Hoppe, Michael (2013). “Climate Change Impact Chains in Coastal Areas (ICCA) Final Study Report”. Recuperado de <http://hal.cirad.fr/cirad-01104468/document> (Última consulta el 25 de julio de 2016).
- Ramos-Reyes, Rodimiro; Zavala-Cruz, Joel; Gama-Campillo, Lilia María; Pech-Pool, Daniel, y Ortiz-Pérez, Mario Arturo (2016). “Indicadores geomorfológicos para evaluar la vulnerabilidad por inundación ante el ascenso del nivel del mar debido al cambio climático en la costa de Tabasco y Campeche, México”. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 68(3), pp. 581-598.
- Reyes-Bonilla, Héctor; Carriquiry, José; Leyte-Morales, Gerardo Esteban, y Cupul-Magaña, Amilcar L. (2002). “Effects of the El Niño-Southern Oscillation and the Anti-El Niño Event (1997-1999) on Coral Reefs of the Western coast of Mexico”. *Coral Reefs*, 21, pp. 368-372.
- Ruíz-Ramírez, Jennifer Denisse (2016). “Herramientas actuales de análisis para la vulnerabilidad costera ante el aumento del nivel del mar: revisión para el caribe mexicano”. *Caos Conciencia*, 10(1), pp. 29-46.
- Sarukhán, José; Koleff, Patricia; Carabias, Julia; Soberón, Jorge; Dirzo, Rodolfo; Llorente-Bousquets, Jorge; Halffter, Gonzalo; González, Renée; March, Ignacio; Mohar, Alejandro; Anta, Salvador, y de la Maza, Javier (2009). *Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 97 pp.

- Selig, Elizabeth R.; Casey, Kenneth S., y Bruno, John F. (2010). "New Insights into Global Patterns of Ocean Temperature Anomalies: Implications for Coral Reef Health and Management". *Global Ecology and Biogeography*, 19(3), pp. 397-411.
- Selkoe, Kimberly A.; Halpern, Benjamin S.; Ebert, C.M.; Franklin, E.C.; Selig, Elizabeth R.; Casey, Kenneth S.; Bruno, John, y Toonen, Robert J. (2009). "A Map of Human Impacts to a 'Pristine' Coral Reef Ecosystem, the Papahānaumokuākea Marine National Monument". *Coral Reefs*, 28(3), pp. 635-650.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) (2012). *México quinta comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático*, México: Grupo Comunicare, S.C., 399 pp.
- Tapsuwan, Sorada, y Rongrongmuang, Wansiri (2015). "Climate Change Perception of the Dive Tourism Industry in Koh Tao Island, Thailand". *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 11, pp. 58-63.
- Tortolero-Langarica, José de Jesús; Rodríguez-Troncoso, Alma; Cupul-Magaña, Amílcar L., y Carriart-Ganivet, Juan P. (2017). "Calcification and Growth Rate Recovery of the Reef-building Pocillopora Species in the Northeast Tropical Pacific Following an ENSO Disturbance". *PeerJ*, 5, e3191.
- Wachenfeld, David; Johnson, Johanna; Skeat, Andrew; Kenchington, Richard; Marshall, Paul, e Innes, James (2007). "Introduction to the Great Barrier Reef and Climate Change". En Johanna E. Johnson, y Paul A. Marshall (eds.), *Climate Change and the Great Barrier Reef*. Australia: Great Barrier Marine Park Authority/Australian Greenhouse Office, pp. 2-13.
- Walther-Mendoza, Mariana; Reyes-Bonilla, Héctor; Lajeunesse, Todd C., y López-Pérez, Andrés (2016). "Distribución y diversidad de dinoflagelados simbióticos en corales pétreos de la costa de Oaxaca, Pacífico de México". *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(2), 417-426.
- Wilkinson, Clive (2008). *Status of Coral Reefs of the World: 2008*. Townsville, Australia: Global Coral Reef Monitoring Network/Reef and Rainforest Research Centre, 298 pp.
- Wolff, Nicholas H.; Donner, Simon D.; Cao, Long; Iglesias-Prieto, Roberto; Sale, Peter F., y Mumby, Peter J. (2015). "Global Inequities between Polluters and the Polluted: Climate Change Impacts on Coral Reefs". *Global Change Biology*, 21(11), pp. 3982–3994.
- Yáñez-Arancibia, Alejandro, y Day, John W. (2010). "La Zona Costera frente al Cambio Climático: Vulnerabilidad de un Sistema Biocomplejo e Implicaciones en Manejo Costero". En Alejandro Yáñez-Arancibia (eds.) *Impactos del Cambio Climático sobre la Zona Costera*. México: Instituto de Ecología A. C. (INECOL)/Texas Sea Grant Program/Instituto Nacional de Ecología (INE-Semarnat), pp. 12-35.

Recibido: 10 octubre 2017

Aceptado: 13 abril 2018

## Anexo 1. Publicaciones en revistas indizadas utilizadas en este trabajo (por orden cronológico de publicación)

Autor, año	Nombre revista	Tipo vulnerabilidad, elemento de vulnerabilidad/ tipo modelo	Dimensión geográfica	Objeto de estudio	Colaboradores
Done T.J., 1999	<i>American Zoologist</i>	Ecológica, capacidad de adaptación/Conceptual		Corales y algas	1
Bellwood <i>et al.</i> , 2004	<i>Nature</i>	Ecológica, resiliencia/ Metodológico	Australia y el Caribe	Peces y corales	4
Obura D., 2005	<i>Estuarine, Coastal and Shelf Science</i>	Ecológica, resiliencia/ Conceptual	Océano Índico	Corales, zooxantelas y algas	1
Madin <i>et al.</i> , 2008	<i>Biology Letters</i>	Ecológica, vulnerabilidad mecánica/Metodológico	Australia (Islas Lagartijas)	Colonias de coral	3
Maina <i>et al.</i> , 2008	<i>Ecological Modelling</i>	Ecológica, sensibilidad/ Metodológico	Océano Índico	Comunidades coralinas	4
Selkoe <i>et al.</i> , 2009	<i>Coral Reefs</i>	Ecológica, impactos/ Metodológico	Monumento Marino Nacional Papahanaumokuakea	Arrecifes coralinos	8
McLeod <i>et al.</i> , 2010	<i>Coastal Management</i>	Ecológica, impactos/ Metodológico	Triángulo de Coral, Indo-Pacífico	Arrecifes coralinos	9
Graham <i>et al.</i> , 2011	<i>Ecology Letters</i>	Ecológica, riesgo/Conceptual	Islas Seychelles	Peces arrecifales	10
Martínez <i>et al.</i> , 2011	<i>Atmósfera</i>	Socio-ecológica, riesgo/ Metodológico	Golfo de México	Peces arrecifales con importancia económica	3
Anthony <i>et al.</i> , 2011	<i>Global Change Biology</i>	Ecológica, resiliencia/ Conceptual		Peces arrecifales y comunidades bentónicas	7
Maina <i>et al.</i> , 2011	<i>PLoS ONE</i>	Ecológica, exposición/ Metodológico		Corales	5
Lawton <i>et al.</i> , 2012	<i>Oikos</i>	Ecológica, especialización ecológica/Metodológico	Islas Lagartijas, Australia	Peces coralívoros y corales	3
Cinner <i>et al.</i> , 2012	<i>Global Environmental Change</i>	Socio-ecológica, sensibilidad, exposición y capacidad de adaptación/Metodológico	Océano Índico	Arrecifes coralinos	9

Hughes <i>et al.</i> , 2012	<i>Environmetal Science and Policy</i>	Social, sensibilidad, exposición y capacidad de adaptación/Metodológico	Mundial	Peces arrecifales con importancia económica	9
Doney <i>et al.</i> , 2012	<i>Annual Review of Marine Science</i>	Ecológica, impactos/ Conceptual	Mundial	Arrecifes coralinos	14
Cinner <i>et al.</i> , 2013a	<i>PLoS ONE</i>	Socio-ecológica, sensibilidad, exposición y capacidad de adaptación/Metodológico	Kenia	Arrecifes coralinos	8
Marshall <i>et al.</i> , 2013	<i>Ecosystems</i>	Social, sensibilidad y capacidad de adaptación/ Metodológico	Gran Barrera de Australia	Arrecifes coralinos	5
Mamauag <i>et al.</i> , 2013	<i>Fisheries Research</i>	Socio-ecológica, sensibilidad, exposición y capacidad de adaptación/Conceptual y metodológico	Filipinas	Arrecifes coralinos	9
Evans <i>et al.</i> , 2013	<i>Human Ecology</i>	Socio-ecológica, capacidad de adaptación/Metodológico	Gran Barrera de Australia	Arrecifes coralinos	5
Parravicini <i>et al.</i> , 2014	<i>Ecology Letters</i>	Ecológica, sensibilidad y exposición/Metodológico	Mundial	Peces arrecifales	13
McClanahan <i>et al.</i> , 2014	<i>Environmental Sustainability</i>	Ecológica, sensibilidad/ Metodológico	Mundial	Corales y peces	3
Spalding <i>et al.</i> , 2014	<i>Ocean &amp; Coastal Management Journal</i>	Socio-ecológica, capacidad de adaptación/Conceptual		Arrecifes coralinos	7
Grasso <i>et al.</i> , 2014	<i>Regional Environmental Change</i>	Social, capacidad de adaptación e impactos/ Metodológico	Samoa	Comunidades costeras	3
Holbrook y Johnson, 2014	<i>Climatic Change</i>	Social, capacidad de adaptación e impactos/ Conceptual	Australia	Pesquerías	2
Maynard <i>et al.</i> , 2015	<i>Biological Conservation</i>	Ecológica, resiliencia/ Metodológico	Islas Marianas	Macroalgas, corales, peces herbívoros	14
Anthony <i>et al.</i> , 2015	<i>Global Change Biology</i>	Socio-ecológica, resiliencia/ Conceptual y metodológico	Caribe e Indo-Pacífico	Arrecifes coralinos	29
Licuanan <i>et al.</i> , 2015	<i>Ambio</i>	Socio-ecológica, sensibilidad, exposición y capacidad de adaptación/Metodológico	Indo-Pacífico	Comunidades costeras	14

Biggs <i>et al.</i> , 2015	<i>Ocean &amp; Coastal Management</i>	Social, resiliencia/ Metodológico	Tailandia y Australia	Empresas turismo	4
Hernández-Delgado, 2015	<i>Marine Pollution Bulletin</i>	Socio-ecológica, impactos/ Conceptual		Arrecifes coralinos	1
Tapsuwan y Rongrongmuang, 2015	<i>Journal of Outdoor Recreation and Tourism</i>	Social, capacidad de adaptación/ Metodológico	Tailandia	Industria, buzos, hospitales	2
Khan y Vincent, 2015	<i>Regional Environmental Change</i>	Socio-ecológica, capacidad de adaptación/ Metodológico	Islas Seychelles	Islas	2
Wolff <i>et al.</i> , 2015	<i>Global Change Biology</i>	Socio-ecológica, sensibilidad, exposición y capacidad de adaptación	Mundial	Arrecifes de coral	6
Maina <i>et al.</i> , 2015	<i>Regional Environmental Change</i>	Socio-ecológica, exposición y capacidad de adaptación/ Metodológico	Papua Nueva Guinea	Arrecifes coralinos y comunidades humanas	7
Cinner <i>et al.</i> , 2016	<i>Regional Environmental Change</i>	Socio-ecológica, impactos/ Conceptual		Arrecifes coralinos	25
Hereher, 2016	<i>Environmental Earth Sciences</i>	Socio-ecológica, exposición/ Metodológico	Mar Rojo de Arabia Saudita	Arrecifes coralinos	1
Johnson y Welch, 2016	<i>Climatic Change</i>	Socio-ecológica, sensibilidad, exposición y capacidad de adaptación/ Metodológico	Estrecho Torres	Peces con importancia económica	2

**Anexo 2. Publicaciones que no aparecen en revistas  
indizadas analizadas en este trabajo  
(por orden cronológico de publicación)**

Autor, año	Tipo de trabajo, editorial	Tipo de vulnerabilidad, elemento/ Tipo de modelo	Dimensión geográfica	Objetos de estudio	Colaboradores
Hoegh-Guldberg O. y Hoegh-Guldberg H., 2004	Reporte, WWF	Ecológica, resiliencia/Metodológico	Gran Barrera de Australia	Arrecifes de coral	2
Johnson y Marshall, 2007	Libro, Gobierno de Australia	Ecológica, resiliencia/Conceptual	Gran Barrera de Australia	Arrecifes de coral	10
INE, UNAM y Semarnat, 2008	Informe, INE	Socio-ecológica, impactos/ Metodológico	México	Corales	55
Padilla <i>et al.</i> , 2010	Capítulo libro, Universidad Autónoma de Campeche, CETYS-Universidad	Socio-ecológica, riesgo/ Conceptual	México	Arrecifes de coral	3
Marshall N. A. <i>et al.</i> , 2009	Libro, IUCN	Socio-ecológica, sensibilidad, exposición y capacidad de adaptación/Conceptual y metodológico		Arrecifes de coral	6
Blanchon <i>et al.</i> , 2010	Capítulo libro, Semarnat-INE, UNAM-ICML, Universidad Autónoma de Campeche	Ecológica, impactos/Metodológico	Quintana Roo (México)	Arrecifes de coral	4
Bohensky <i>et al.</i> , 2010	Capítulo libro, Springer	Socio-ecológica, capacidad de adaptación/Metodológico	Gran Barrera de Australia	Arrecifes de coral	4
March <i>et al.</i> , 2011	REPORTE, Conanp, TNC, FMCN	Socio-ecológica, capacidad de adaptación/Metodológico	México	ANP	33
Conanp-FMCN-TNC, 2011	Reporte, Conanp-FMCN-TNC	Socio-ecológica, capacidad de adaptación/Metodológico	México	ANP	38
Burke <i>et al.</i> , 2011	Reporte, WRI	Socio-ecológica, riesgo/Metodológico	Mundial	Arrecifes de coral	12

Ponce-Vélez <i>et al.</i> , 2011	Capítulo de libro, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, UNAM-ICMYL, Universidad Autónoma de Campeche	Ecológica, impactos/Metodológico	México	Arrecifes de coral	3
Cepal, 2012	Reporte, Naciones Unidas	Socio-ecológica, impactos/ Metodológico	Costa de América Latina y Caribe	Arrecifes de coral	22
Burke <i>et al.</i> , 2012	Reporte, WRI	Socio-ecológica, riesgo/ Metodológico	Indo-Pacífico	Arrecifes de coral	9
Cinner <i>et al.</i> , 2013b	Informe, FAO	Socio-ecológica, sensibilidad, exposición y riesgo/ Conceptual y metodológico	Kenia	Peces arrecifales	14
Pramova <i>et al.</i> , 2013	Reporte, República Federal de Alemania	Socio-ecológica, impactos/ Conceptual	Indonesia y Filipinas	Arrecifes de coral	
Conanp-Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, 2014	Manual, Conanp- Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit	Social, capacidad de adaptación/ Metodológico		ANP	12
Conanp-CEGAM-Alianza WWF-Fundación Carlos Slim, 2015	Manual, Conanp-CEGAM-Alianza WWF-Fundación Carlos Slim	Socio-ecológica, capacidad de adaptación, resiliencia, vulnerabilidad y riesgo/ Conceptual	México	ANP	11
Belokurov <i>et al.</i> , 2016	Manual, WWF	Socio-ecológica, capacidad de adaptación/ Conceptual		Áreas Marinas y Costeras Protegidas	16