



Universidad Autónoma de Baja California

Instituto de Investigaciones Oceanológicas

Facultad de Ciencias Marinas

Facultad de Ciencias

Doctorado en Medio Ambiente y Desarrollo

Tesis

Vulnerabilidad socioecológica y percepción social ante estresores ambientales
relacionados a cambio climático, en la comunidad de Cabo Pulmo, B.C.S.

Que para obtener el grado de
DOCTORA EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

Presenta
María de los Ángeles Milanés Salinas

Ensenada, Baja California, enero 2026.

Universidad Autónoma de Baja California
Instituto de Investigaciones Oceanológicas
Facultad de Ciencias Marinas
Facultad de Ciencias
Doctorado en Medio Ambiente y Desarrollo

Tesis

Vulnerabilidad socioecológica y percepción social ante estresores ambientales
relacionados a cambio climático, en la comunidad de Cabo Pulmo, B.C.S.

Que para obtener el grado de
DOCTORA EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

Presenta
María de los Ángeles Milanés Salinas

Aprobada por:



Dr. Carlos Orión Norzagaray López
Codirector



Dr. Georges Seingier
Codirector



Dr. José Alberto Zepeda Domínguez
Sinodal



Dr. Luis Felipe Beltrán Morales
Sinodal



Dra. Guadalupe Gómez Hernández
Sinodal

Agradecimientos

Gracias al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt) por la beca de manutención otorgada durante la realización del doctorado. Al Posgrado en Medio Ambiente y Desarrollo del Instituto de Investigaciones Oceanológicas, de la Facultad de Ciencias Marinas y de la Facultad de Ciencias.

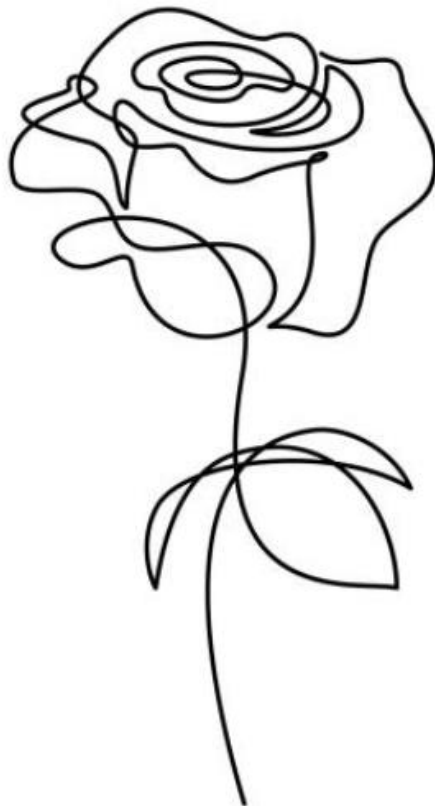
Gracias al proyecto *“Ambientes costeros naturalmente acidificados: una ventana al futuro para evaluar los efectos de la acidificación del océano sobre organismos calcificadores”*, por el apoyo financiero para asistir al congreso de cambio climático, en Mérida. Mi más sincero agradecimiento a mi comité de tesis por su valioso apoyo, dedicación y comentarios al trabajo. En especial quiero agradecer al Dr. Orión Norzagaray y la Dra. Guadalupe Gómez por el apoyo durante el desarrollo del artículo y su constante guía a lo largo del posgrado ¡gracias infinitas por creer en que si podía! Gracias Dr. Georges por las enriquecedoras ideas y correcciones.

Gracias a mi pequeño círculo de amigas Bertha, Denise, Alejandra y Lupita, por respaldarme siempre y estar ahí cuando más lo necesité durante los momentos horribles de la pandemia. Especialmente gracias a la Oc. Alejandra Baez, por todas las batallas ganadas.

Muchas gracias a mi familia por las porras, a mi papá que me enseñó a ser dedicada, a Fran y a mi cuñada Rebeca que me enseñó a ser perseverante; a mis hermanos Pablo (gogo) y Haydee (mini), por darme siempre amor y apoyo en cada momento de mi vida, ambos me enseñaron que nunca dejamos de aprender y que si vamos a hacer algo, debemos hacerlo bien. A mi sobrina Mónica (mi polli), porque tenerla en mi vida es una de las razones para seguir adelante. Un especial agradecimiento a Canek, que me ha sido mi soporte emocional y compañero desde las clases en línea, hasta la pandemia y en cada palabra escrita aquí.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi mamá, Ángela Salinas, te fuiste antes de tiempo pero siempre creíste en mí, me hiciste crecer con tu amor y sin ti no estaría cumpliendo mis sueños. Sé que me cuidas desde el cielo y que estarías muy feliz de verme terminar este trabajo.



Te amo mamita y te extraño.

ÍNDICE GENERAL

Contenido

Resumen.....	12
Capítulo 1. Introducción general.....	14
<i>1.1 Cambio climático y arrecifes de coral.</i>	<i>14</i>
<i>1.2 Servicios ecosistémicos de los arrecifes y principales estresores.</i>	<i>15</i>
<i>1.1.3 Sistema socioecológico arrecifal y vulnerabilidad.</i>	<i>20</i>
<i>1.1.4 Percepción social del riesgo al cambio climático y comportamiento proambiental </i>	<i>21</i>
<i>1.1.5 Sistema socioecológico del Parque Nacional Cabo Pulmo.</i>	<i>23</i>
1.2 Preguntas de investigación	26
1.3 Objetivo general.....	26
1.3.1. <i>Objetivos específicos</i>	26
1.4 Metodología general.....	27
1.5 Referencias.....	29
Capítulo 2. Construcción de un modelo para evaluar el grado de vulnerabilidad socio ecológica de la comunidad costera en Cabo Pulmo, a cambios causados por estresores relacionados al cambio climático.....	35
2.1 Introducción	35
2.2 Métodos.....	37
<i>2.2.1 Generalidades del modelo de vulnerabilidad</i>	<i>37</i>
<i>2.2.2 Indicador de exposición</i>	<i>39</i>
<i>2.2.3 Variables socioeconómicas</i>	<i>43</i>
<i>2.2.4 Indicador de sensibilidad social</i>	<i>44</i>
<i>2.2.5 Indicador de capacidad adaptativa</i>	<i>45</i>
2.3 Resultados y discusión	48
2.3.1 <i>Indicador de exposición</i>	48
2.3.2 <i>Indicador de sensibilidad social</i>	53
2.3.3 <i>Indicador de capacidad adaptativa</i>	55
2.3.4 <i>Modelo de vulnerabilidad</i>	61
2.4 Conclusiones	62
2.5 Anexos.....	64

2.6 Referencias.....	73
Capítulo 3. Drivers of pro-environmental behaviors and risk perception to climate change in small coastal communities: An insight from the Mexican Pacific.	77
Resumen.....	77
Introduction.....	80
Materials and methods	82
Study area	82
Sociodemographic context.....	82
Survey design and implementation.....	83
Data analysis.....	85
Results	87
Discussion	91
Predicting pro-environmental behaviors in a small community	91
Risk perception in the context of climate change	91
Perceived threats to the coral reef.....	94
The K factor is the key	95
Conclusions	96
CRediT authorship contribution statement	97
Declaration of competing interest	97
Acknowledgments	97
Supplementary Material.....	98
References.....	108
Capítulo 4. Discusión y conclusiones generales.....	116
4.1 Vulnerabilidad socioecológica y percepción social.....	116
4.2 Escenarios de vulnerabilidad socioecológica.....	118
<i>Escenario 1: "El peor de los escenarios socioecológicos"</i>	118
<i>Escenario 2: "Diversificar para adaptar"</i>	120
<i>Escenario 3: "Cabo Pulmo bajo el escenario ideal"</i>	122
4.3 Recomendaciones generales	124
4.4 Anexos.....	127
4.5 Referencias.....	131

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I-1. Bienes y servicios ecosistémicos de los arrecifes de coral reportados por Moberg y Folke (1999).....	17
Tabla II-1. Niveles de advertencia de blanqueamiento de coral (NOAA, 2025). Los colores de cada categoría son los establecidos por la NOAA de acuerdo con el patrón de calor observado en los productos (Hotspot y DHW) satelitales yendo de sin afectación a mayor afectación (verde= sin afectación; púrpura= máxima alerta de blanqueamiento).....	41
Tabla II-2. Indicadores de sensibilidad social usados en el modelo. Se muestra su descripción, tipo de variable y sus límites.....	45
Tabla II-3. Indicadores de capacidad adaptativa socioeconómica usados en el modelo. Se muestra el acrónimo del indicador, una breve descripción, así como el tipo de variable y para algunos casos, los límites calculados. Adaptado de McClanahan <i>et al.</i> (2008) y Cinner <i>et al.</i> (2013). Más detalle de los indicadores en el anexo 2.....	46
Tabla II-4. Se muestra el número de alertas diarias por categoría de CRW_BAA y porcentaje de alerta por tipo de categoría para cada año de estudio. También se muestra el total de alertas acumulado por categoría de alerta. Localidad arrecifal de Cabo Pulmo. Los años con evento ENSO se muestran con un asterisco.....	49
Tabla II-5. Porcentaje de exposición acumulada estimadas (Ea_t) y días analizados de CRW_BAA por año para la zona arrecifal de Cabo Pulmo, Huatulco e Islas Marietas. Se muestran en negritas los valores de exposición más altos en el periodo del 2015 al 2024. Los años con presencia de eventos ENSO se muestran con un asterisco.....	50
Tabla II-6. Valores de Ea_t ponderada en tres localidades arrecifales: Cabo Pulmo, Huatulco e Islas Marietas. Se muestran los valores máximos, mínimos y mediana.....	52
Tabla II-7. Valores del cálculo de la proporción o relación lineal para la exposición a estrés por blanqueamiento de los arrecifes de Cabo Pulmo y Huatulco, con base en sus Ea_t ponderada.....	52
Tabla II-8. Valores de referencia para cada término de la ecuación 3 y valores estimados en la evaluación de este trabajo (observados).....	54
Tabla II-9. Eigenvalores y porcentaje de la variación explicada por los diferentes componentes principales.....	56
Tabla II-10. Cargas factoriales absolutas, pesos y pesos normalizados de cada indicador de capacidad adaptativa. Las cargas factoriales superiores a 0.4 (en negritas) en cualquier componente principal se consideran, en general, como una contribución sustancial a dicho componente.....	56
Tabla II-11. Valores promedio normalizados de los indicadores de capacidad adaptativa, peso normalizado y capacidad adaptativa total y desglosada (indicador).....	57
Tabla II-12. Organizaciones pertenecientes al grupo Cabo Pulmo Vivo, líneas de trabajo y rol en la comunidad.....	58
Tabla II-13. Valor de la vulnerabilidad socioecológica estimado. Se muestran también los valores de los indicadores del modelo de vulnerabilidad.....	61
Table 1. Socio-demographic composition of the participants in Cabo Pulmo. Frequency (%) by variable and categories are shown.....	86
Table 2. Threats to the coral reef in Cabo Pulmo recognized by respondents; the type of threat is shown. Percentages are based in 68 opinions.....	90

Tabla IV-1. Valores estimados de vulnerabilidad socioecológica y sus indicadores de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa para el escenario 1.....	119
Tabla IV-2. Valores estimados de vulnerabilidad socioecológica y sus indicadores de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa para el escenario 2.....	121
Tabla IV-3. Valores estimados de vulnerabilidad socioecológica y sus indicadores de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa para el escenario 3.....	122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I-1. Serie de fotografías tomadas en diversos sitios de la Gran Barrera de Coral que son análogos a los estados de los arrecifes que se prevén con el rápido aumento del CO ₂ atmosférico. A) arrecifes de coral con estructuras saludables de corales formadores de arrecifes y algas coralinas rojas que son capaces de construir y mantener la estructura tridimensional del arrecife. Esta estructura proporciona un hábitat para aproximadamente un millón de especies y, en última instancia, proporciona alimento, medios de vida y protección costera a cientos de millones de personas en todo el mundo. B) Conforme las concentraciones atmosféricas de CO ₂ superan los umbrales de estrés térmico y acumulación de arrecifes (~450 ppm), es probable que los corales sean superados por otros organismos bentónicos, como las algas marinas y los corales blandos. Es posible que los arrecifes no muestren una acumulación neta de carbonato cálcico en este punto y que los hábitats disponibles para las especies de arrecifes de coral disminuyan drásticamente. C) Por encima de 450 ppm, es probable que los corales y otros organismos calcificadores sean escasos en los arrecifes de coral, lo que provocaría que estos comenzaran a desmoronarse y desaparecer (Adaptado de Hoegh-Guldberg <i>et al.</i> , 2011).....	15
Figura I-2. Mapa global de las presiones humanas sobre los arrecifes de coral tropicales (tomada de Andrello <i>et al.</i> , 2022). La línea discontinua muestra la mediana global, y los diagramas de caja muestran los cuartiles 25, 50 (mediana) y 75; los valores de presión (eje x) se distribuyen desde 0 (valor más bajo en la capa de datos) hasta 1 (valor más alto en la capa de datos). La mediana global de la presión turística es cero porque más de la mitad de las celdas de arrecife tienen cero turismo y los percentiles están empatados en cero.....	20
Figura I-3. Zonificación del Parque Nacional Cabo Pulmo. Tomada del Programa de Conservación y Manejo Parque Nacional Cabo Pulmo.....	25
Figura I-4. Esquema de la metodología general realizada en esta investigación. Los subíndices indican si se trata de aspectos ecológicos (ecol) o aspectos sociales (soc)...	28
Figura II-1. Diagrama de indicadores de vulnerabilidad socioecológica usados en este trabajo. Fuentes: exposición del arrecife: https://coralreefwatch.noaa.gov ; sensibilidad y capacidad adaptativa: datos propios obtenidos de encuestas aplicadas in situ y de la Comisión de Fomento de las Actividades de las Organizaciones de la Sociedad Civil, https://cabopulmovivo.org/integrantes/ y https://niparaja.org/conservacion-marina/	38

Figura II-2. Sitios de extracción de datos del indicador de exposición CRW_BAA para las localidades coralinas de Cabo Pulmo (B.C.S), Huatulco (Oax.) e Islas Marietas (Nay.). Elaboración propia.....	43
Figura II-3. Exposición anual acumulada (Ea_t) para las localidades arrecifales de Cabo Pulmo, Huatulco e Islas Marietas en los últimos 10 años. Los años con presencia de eventos ENSO se marcaron con un asterisco. Elaboración propia.....	51
Figura II-4. Gráficas de pastel mostrando el porcentaje de los diferentes indicadores de sensibilidad social para la comunidad de Cabo Pulmo. En a) se muestra si el encuestado tiene otra opción laboral además de la que realiza en el parque (ingresos externos), en b) si considera que su trabajo actual le asegurará un futuro (predilección de la ocupación actual) y en c) si ha laborado en más de un sitio en los últimos 5 años (estabilidad laboral).....	53
Figura II-5. Vulnerabilidad socioecológica de la comunidad residente en Cabo Pulmo (círculo gris). El tamaño del círculo hace referencia al valor de la exposición (medio). Los colores de la flecha de tendencia marcan el aumento del valor de la vulnerabilidad de acuerdo con la disminución de la capacidad adaptativa y al aumento de la sensibilidad social. Los valores de capacidad adaptativa están invertidos en el eje Y para demostrar su efecto en la vulnerabilidad.....	61
Fig. 1. Study site. A) The Cabo Pulmo National Park (red rectangle) and B) a picture of the community inside the park, including a portion of the coral reef (source: the authors via https://ovl.oceandatalab.com). (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.).....	81
Fig. 2. Conceptual (black lines) and observed (blue lines) models to assess pro-environmental behavior (PEB) at Cabo Pulmo. Lines indicate interaction between variables and correspond to significant correlations (r_s , $p < 0.05$). The direction of the black arrows indicates the mechanism suggested between variables. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.).....	89
Fig. 3. Social network based on significant correlations between sociodemographic, predictor, and model variables (color of node). The size of the nodes (variables) indicates the number of connections. Solid (dashed) lines represent positive (negative) correlations. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.).....	89
Fig. 4. Identified threats according to the type of activity conducted in Cabo Pulmo. Direct (blue) and indirect (orange) activities. Percentages are based on 68 opinions. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.).....	90
Fig. 5. Review of publications related to risk perception and/or pro-environmental behavior. The percentage of publications that aligned with our study outcomes is shown (yellow = not fit; blue = fit).....	92
Figura IV-1. Escenario 1: "El peor de los escenarios socioecológicos". Este escenario considera una escala temporal de largo plazo, en el cual la exposición arrecifal es alta, la sensibilidad social aumenta y algunas variables de la capacidad adaptativa disminuyen	

dado el aumento de la sensibilidad. Se muestran los cuadrantes (C1 al C4). En la tabla IV-1 se muestran los valores estimados.....	120
Figura IV-2. Escenario 2: "Diversificar para adaptar". Este escenario considera una escala temporal de mediano plazo, en el cual la exposición arrecifal es alta, la sensibilidad social disminuye y algunas variables de la capacidad adaptativa se ven mejoradas debido a la disminución de la sensibilidad. Se muestran los cuadrantes (C1 al C4). En la tabla IV-2 se muestran los valores estimados.....	121
Figura IV-3. Escenario 3: "Cabo Pulmo bajo el escenario ideal". Este escenario considera una escala temporal de corto plazo, en el cual la exposición arrecifal es intermedia (la actual encontrada en este trabajo), la sensibilidad social disminuye y algunas variables de la capacidad adaptativa aumentan debido a la disminución de la sensibilidad. Se muestran los cuadrantes (C1 al C4).....	123

Resumen

Con el avance del cambio climático global y sus repercusiones sobre los sistemas socioecológicos, la necesidad de evaluar las interacciones entre éstos va en aumento. La evaluación de la vulnerabilidad socioecológica al cambio climático permite analizar estas interacciones entre la comunidad y el ecosistema del que depende, principalmente en zonas costeras, además, conocer la percepción del cambio climático de las comunidades puede ser una herramienta para desarrollar estrategias que minimicen sus efectos negativos. En este trabajo se evaluó la vulnerabilidad socioecológica de la comunidad que reside en el Parque Nacional Cabo Pulmo, así como la percepción del riesgo al cambio climático y la relación con su comportamiento proambiental. Para la vulnerabilidad, se construyó bajo el contexto local, un modelo de indicadores que analiza: 1) exposición ecológica del arrecife de coral a estrés por blanqueamiento 2) la sensibilidad social (cuatro variables de dependencia a las actividades relacionadas con el arrecife: hogares que dependen de una ocupación relacionada con los servicios ecoturísticos, hogares que dependen de ocupaciones no relacionadas a los servicios ecoturísticos y la preferencia de una actividad económica sobre la otra) y 3) la capacidad adaptativa social (diez indicadores de capacidad adaptativa del modelo: capacidad de agencia humana, capacidad de cambio, movilidad ocupacional, multiplicidad ocupacional, estilo de vida material, tecnología, infraestructura, confianza, acceso al crédito y deudas; un indicador externo: capital social). Para la percepción social también se construyó un modelo que evalúa por medio de indicadores de percepción del riesgo al cambio climático, las razones de comportamiento proambiental en la comunidad. Se usaron cinco variables predictoras del indicador de percepción del riesgo al cambio climático: 1) certeza en la creencia del cambio climático, 2) exposición residencial percibida, 3) experiencia directa con eventos de clima extremo, 4) conocimiento sobre el cambio climático y 5) conexión con la naturaleza, el indicador de eficacia personal de la comunidad sobre el cambio climático y el indicador de comportamiento proambiental. Para obtener las variables sociales de ambos modelos, se utilizaron datos de 47 encuestas realizadas a residentes económicamente activos de la comunidad. Por otro lado, se obtuvo la exposición a blanqueamiento del arrecife por medio del indicador de Área de Alerta de Blanqueamiento de coral reportado por el Coral Reef Watch de la NOAA. Se obtuvo un valor de vulnerabilidad socioecológica para la comunidad de Cabo Pulmo de 0.44 (en una escala de 0 a 1), que representa un valor intermedio-alto, ya que el ecosistema del que depende (arrecife) es uno de los principales afectados por el cambio climático. Adicionalmente, se

analizaron tres escenarios hipotéticos donde las variables de vulnerabilidad representan cambios (mejoras o decline) en su evaluación a corto, mediano y largo plazo. El primer escenario hipotético se desarrolla a largo plazo, donde las nuevas generaciones se han responsabilizado del negocio familiar, continúan con la dependencia a las actividades económicas actuales y el cambio climático sigue su avance, lo cual se refleja como un aumento de ~50% en el indicador de vulnerabilidad (de 0.44 a 0.86). El segundo escenario hipotético se desarrolla a mediano plazo, donde el cambio climático sigue su avance impactando al arrecife pero se propone una estrategia de diversificación laboral y disminución de la dependencia de las actividades laborales actuales, lo cual resulta en una disminución de la vulnerabilidad a 0.4. El tercer escenario se desarrolla a corto plazo, donde se considera la exposición arrecifal actual (evaluada en este trabajo) pero se mejoran dos aspectos importantes: 1) se disminuye la dependencia sobre los ingresos económicos relacionados con solo actividades en el parque, y 2) mejorando la percepción social del riesgo al cambio climático, así se lograría reducir la vulnerabilidad socioecológica en un 27%, de 0.44 a 0.12. De acuerdo con los escenarios hipotéticos propuestos, el tercer escenario hipotético resultó ser el ideal para disminuir la vulnerabilidad de la comunidad, ya que incorpora estrategias a corto plazo donde se disminuye la dependencia del arrecife y se diversifican las actividades económicas de la comunidad. Respecto a la percepción social, los resultados indican que la comunidad tiene una definición vaga del cambio climático, asociando sus impactos principalmente con el aumento de la temperatura, probablemente influenciada por los medios de información informales. Las percepciones en las comunidades pequeñas pueden ser muy variables y estar influenciadas por múltiples factores, principalmente las amenazas percibidas que priorizan los impactos económicos inmediatos sobre los riesgos ambientales a largo plazo, como es el caso de este estudio. Si bien la percepción del riesgo al cambio climático no explicó el comportamiento ambiental de la comunidad, si nos permitió identificar las causas subyacentes de sus acciones para proteger el arrecife de coral, las cuales se enfocan principalmente en el cumplimiento del reglamento del parque y en asegurar los ingresos económicos. En conjunto, estos resultados muestran que la comunidad tiene sus fortalezas y debilidades relativas en términos de vulnerabilidad socioecológica al cambio climático.

Palabras clave: Vulnerabilidad socioecológica, percepción social al riesgo, cambio climático, comunidades costeras, Cabo Pulmo.

Capítulo 1. Introducción general

1.1 Cambio climático y arrecifes de coral.

El cambio climático es el problema medioambiental, económico y social más importante de nuestro tiempo, ya que el rápido aumento del dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero en la atmósfera, desde el inicio de la era industrial, está provocando cambios significativos en el entorno físico y químico de la Tierra (IPCC 2023). Estos cambios se están produciendo a un ritmo entre dos y tres órdenes de magnitud más rápido que los cambios entre los períodos glaciales e interglaciares observados en los últimos 740,000 años (Petit *et al.* 1999; Augustin *et al.* 2004; Hansson *et al.* 2006). Esto también está provocando cambios en los sistemas biológicos de todo el planeta (Walther *et al.* 2002).

El aumento de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero ha provocado un incremento de la temperatura media de los océanos a nivel mundial de 1.09°C y ha elevado en promedio, el nivel del mar 17 cm a lo largo del siglo XX (IPCC 2023). Superar las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono de más de 450 ppm (IPCC 2023) está asociado a aumentos de temperatura, lo cual colocará a los arrecifes de coral en condiciones en las que se superará anualmente el umbral térmico para el blanqueamiento (Strong *et al.* 1996; Toscano *et al.* 2000). Se ha pronosticado que bajo este escenario, las tasas de calcificación, proceso que mantiene las estructuras arrecifales, serían superadas por las tasas de pérdida, derivado de la combinación de procesos erosivos como erosión física, química y biológica (Hoegh-Guldberg *et al.* 2007; Anderson and Gledhill, 2013). En estas condiciones, es probable que los arrecifes de coral pasen de ser ecosistemas dominados por los corales formadores de arrecifes (hermatípicos) a ecosistemas dominados por otros grupos, como macroalgas, en los que la biodiversidad será una fracción de lo que es hoy en día (fig. I-1).

Las mediciones satelitales de la temperatura de la superficie del mar han desempeñado un papel importante en la verificación de la aparición del blanqueamiento de los corales, definición de umbrales térmicos y en la comprensión de los cambios futuros que podrían esperarse en los arrecifes de coral debido al rápido calentamiento de los océanos tropicales y subtropicales (Hughes *et al.*, 2018). En este contexto, se ha verificado que es muy probable que se produzca un blanqueamiento masivo en un arrecife de coral si la temperatura media del mar aumenta 1 °C por encima de las temperaturas máximas a largo plazo en una región determinada (Strong *et al.* 1996; Toscano *et al.* 2000).



Figura I-1. Serie de fotografías tomadas en diversos sitios de la Gran Barrera de Coral que son análogos a los estados de los arrecifes que se prevén con el rápido aumento del CO₂ atmosférico. A) arrecifes de coral con estructuras saludables de corales formadores de arrecifes y algas coralinas rojas que son capaces de construir y mantener la estructura tridimensional del arrecife. Esta estructura proporciona un hábitat para aproximadamente un millón de especies y, en última instancia, proporciona alimento, medios de vida y protección costera a cientos de millones de personas en todo el mundo. B) Conforme las concentraciones atmosféricas de CO₂ superan los umbrales de estrés térmico y acumulación de arrecifes (~450 ppm), es probable que los corales sean superados por otros organismos bentónicos, como las algas marinas y los corales blandos. Es posible que los arrecifes no muestren una acumulación neta de carbonato cálcico en este punto y que los hábitats disponibles para las especies de arrecifes de coral disminuyan drásticamente. C) Por encima de 450 ppm, es probable que los corales y otros organismos calcificadores sean escasos en los arrecifes de coral, lo que provocaría que estos comenzaran a desmoronarse y desaparecer (Adaptado de Hoegh-Guldberg *et al.*, 2011).

1.2 Servicios ecosistémicos de los arrecifes y principales estresores.

Hay cuatro tipos principales de arrecifes de coral y se nombran de acuerdo con su estructura o forma, éstos son los arrecifes de borde, los arrecifes de barrera, los atolones y los arrecifes de plataforma. Existen muchas diferencias funcionales entre estos tipos de arrecifes, y están conectados en mayor o menor medida con otros sistemas, como los manglares, las praderas marinas y el océano abierto (Moberg y Folke, 1999). Los arrecifes actúan como amortiguadores físicos de las corrientes oceánicas y el oleaje, creando un entorno adecuado para los lechos de pastos marinos y los manglares. Esto forma parte de los servicios ecosistémicos que ofrecen los arrecifes de coral con importancia ecológica, ya que participan en los ciclos biogeoquímicos globales, proveen zonas de crianza para peces y dan protección a la línea de costa del oleaje contra daños causados por tormentas, huracanes o erosión (Groot *et al.*, 2012; Woodhead *et al.*, 2019). Así mismo, ofrecen recursos valiosos para las comunidades costeras (tabla I-1) por proveer beneficios sociales

y culturales, así como ingresos económicos por actividades como la pesca y el turismo (proporcionando arena blanca que da origen a playas más atractivas), además, proporcionan materiales para joyería, ornato, construcción, productos químicos y farmacéuticos (Costanza *et al.*, 1997; Hoegh Guldberg *et al.*, 2007; Groot *et al.*, 2012; Woodhead *et al.*, 2019).

Tabla I-1. Bienes y servicios ecosistémicos de los arrecifes de coral reportados por Moberg y Folke (1999).

Bienes	Recursos renovables	Productos del mar para consumo y peces vivos y corales recolectados para el comercio de acuarios	Materias primas para medicinas	Otras materias primas (algas marinas y macroalgas para agar, abono, etc.)	Curiosidades y joyería
	Extracción en el arrecife	Bloques de coral, escombros y arena para construcción	Materias primas para la producción de cal y cemento	Petróleo y gas mineral	-
Servicios ecológicos	Servicios físicos de estructura	Protección de la línea de costa	Acumulación de sedimento	Promover el crecimiento de los manglares y pastos marinos	Generación de arena de coral
	Servicios bióticos dentro de los ecosistemas	Mantenimiento de hábitats	Mantenimiento de la biodiversidad y una biblioteca genética	Regulación de los procesos y funciones del ecosistema	Mantenimiento biológico de la resiliencia
	Servicios bióticos entre ecosistemas	Apoyo biológico mediante 'vínculos móviles'*	Exportación de producción orgánica y plancton a redes tróficas pelágicas	-	-
	Servicios biogeoquímicos	Fijación de nitrógeno	Control del balance de Carbono	Asimilación de desechos	-
	Servicios de información	Monitoreo y registro de contaminación	Registro climático	-	-
	Servicios sociales y culturales	Apoyo a la recreación	Valores estéticos e inspiración artística	Sostén de los medios de vida de las comunidades	Apoyo a valores culturales, religiosos y espirituales

*vínculos móviles: algunos organismos de los arrecifes de coral migran entre ecosistemas adyacentes, es decir, especies que conectan un ecosistema con otro, como los peces que migran a los manglares y las praderas marinas y los utilizan como zonas de cría.

Estos servicios ecosistémicos pueden verse afectados por diversos estresores, que de manera general para este trabajo los clasificaremos en estresores ambientales (de origen natural) y estresores antropogénicos (de origen humano). Dentro de los estresores ambientales, los principales incluyen factores climáticos que afectan las funciones y servicios ecosistémicos de los arrecifes (Graham *et al.*, 2007; Pratchett *et al.*, 2008; James *et al.*, 2023), lo cual repercute en las comunidades costeras que dependen económicamente de éstos, donde ambos componentes, ecosistema y comunidad dependiente, ya han formado un sistema socioecológico. En este sentido, se pueden observar múltiples vías de impacto de estrés asociados al cambio climático (aumento de la temperatura de la superficie del mar, tormentas tropicales severas, aumento del nivel del mar y acidificación del océano) sobre los cinco principales componentes del sistema socioecológico de los arrecifes: 1) ambiente, que incluye aspectos de disponibilidad de hábitat, química del agua, producción primaria y complejidad estructural del hábitat bentónico; 2) dinámica de poblaciones, de los organismos con importancia económica o ecológica, incluyendo sus tasas de dispersión y de crecimiento; 3) disponibilidad de recursos, que incluye a la abundancia, distribución y comportamiento de las especies de vertebrados e invertebrados de importancia económica; 4) pesquerías, que incluye aspectos de esfuerzo de captura y variabilidad; y 5) bienestar social, que incluye el tipo de vida, salud humana y seguridad, infraestructura y valores culturales (Cinner *et al.*, 2016; Richmond *et al.*, 2018; James *et al.*, 2023).

Con estos impactos, es muy probable que se reduzca sustancialmente el atractivo de los arrecifes de coral para industrias como el turismo a medida que los arrecifes se vean afectados. Dado que el turismo es una importante fuente de ingresos para muchos países en desarrollo y desarrollados, es probable que estos cambios afecten a la cantidad de ingresos internacionales que generan los arrecifes para las economías nacionales, que en muchos casos dependen en gran medida de ellos (Hoegh-Guldberg *et al.*, 2000; Riegl *et al.*, 2009; Bartelet *et al.*, 2022). Esto se magnifica al tratarse de comunidades locales costeras, impactando la infraestructura de pequeña escala como consecuencia del aumento en el nivel del mar y la pérdida de la protección costera que proporcionan los arrecifes (IPCC 2023).

Por otro lado, los hábitats marinos costeros del mundo están cada vez más expuestos a diversos factores de estrés antropogénicos, como la sedimentación, la eutrofización, la

contaminación y la sobrepesca (Morgan *et al.*, 2016; Richmond *et al.*, 2018). Además, no solo pueden afectar de distintas maneras los servicios ecosistémicos de los arrecifes de coral, si no también potenciar o influir en los estresores ambientales, que de manera natural, ya impactan a los arrecifes. En este sentido, la sedimentación es uno de los principales factores de estrés antropogénico, que a su vez, influye sobre otros factores de estrés (Burke *et al.* 2002; Ban *et al.*, 2014). Puede minimizar la irradiación y la exposición a los rayos ultravioleta, a su vez puede reforzar la carga de nutrientes, la carga de patógenos y la contaminación, afectando directamente a la pesca, ya que, dependiendo de la asociación con el hábitat y la composición de las presas de las especies de peces, puede influir en la disminución de captura. (Vargas-Angel *et al.*, 2007; Ban *et al.*, 2014).

La eutrofización, que es el enriquecimiento excesivo en nutrientes de un ecosistema acuático, específicamente por el aporte más o menos masivo de nutrientes inorgánicos que contienen nitrógeno y fósforo (Chapin *et al.*, 2011) se ha convertido en otro factor de impacto a los arrecifes. Esto debido al rápido crecimiento de la población mundial lo que ha provocado un aumento de la escorrentía de aguas residuales y efluentes de la ganadería y agricultura, ricos en nitrógeno y fósforo debido al incremento en el uso de fertilizantes y el mal manejo de las aguas residuales (Lesser, 2021). También ha aumentado la dependencia sobre la acuicultura, la cual expone áreas relativamente pequeñas a altas concentraciones de residuos y materia fecal (hasta el 95 % del nitrógeno y el 85 % del fósforo proveniente del alimento de los peces se pierden en el medio marino) (Hozumi *et al.*, 2018). Se ha observado que el exceso de estos nutrientes puede alterar negativamente la reproducción, el crecimiento y la supervivencia de los corales, así como intensificar sus enfermedades (D'Angelo y Wiedenmann, 2014; Shantz y Burkepile, 2014). Un caso ampliamente estudiado es el de la Gran Barrera de coral en el Caribe, donde se han reportado correlaciones positivas entre las concentraciones de nitrógeno en la columna de agua y el blanqueamiento de los corales (Wooldridge y Done, 2009; Wagner *et al.*, 2010).

La contaminación del agua y la sobre pesca son otros factores de estrés antropogénico sobre los arrecifes, afectando el 63.1 % de los arrecifes de coral del mundo, (Andreello *et al.*, 2022) aunque varía de acuerdo con la región (Fig. 1-2) y los efectos acumulativos de otros estresores.

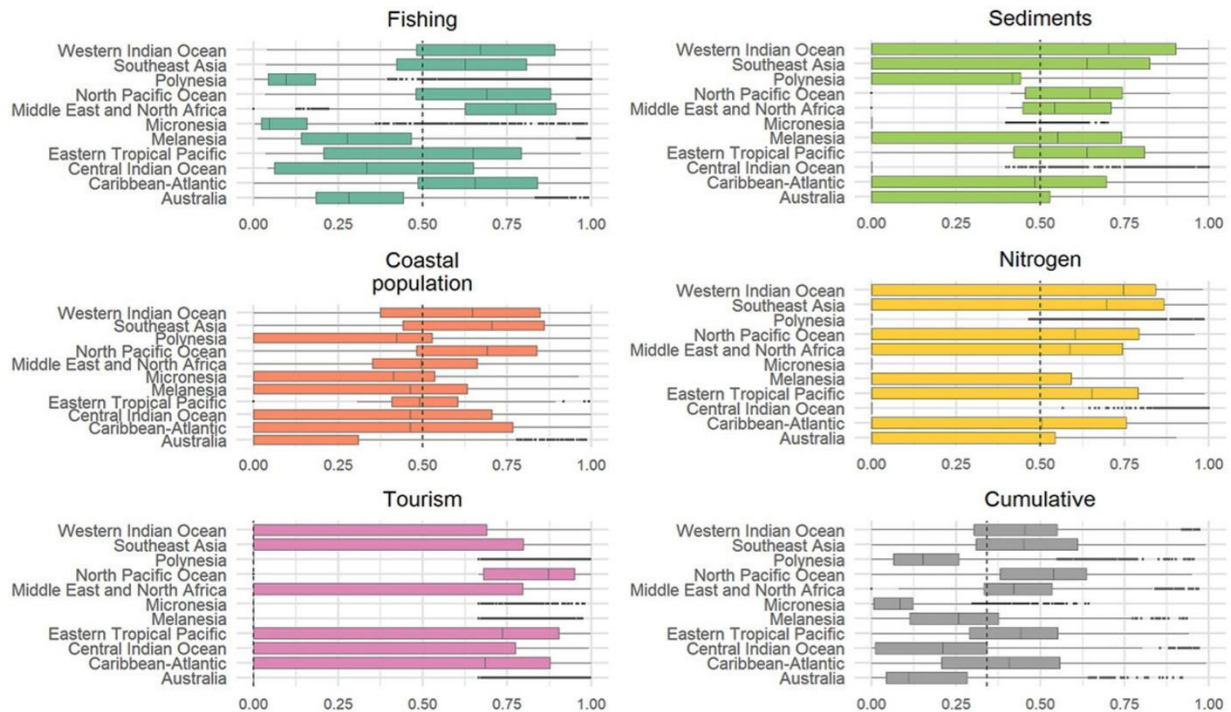


Figura I-2. Mapa global de las presiones humanas sobre los arrecifes de coral tropicales (tomada de Andreello *et al.*, 2022). La línea discontinua muestra la mediana global, y los diagramas de caja muestran los cuartiles 25, 50 (mediana) y 75; los valores de presión (eje x) se distribuyen desde 0 (valor más bajo en la capa de datos) hasta 1 (valor más alto en la capa de datos). La mediana global de la presión turística es cero porque más de la mitad de las celdas de arrecife tienen cero turismo y los percentiles están empatados en cero.

1.1.3 Sistema socioecológico arrecifal y vulnerabilidad.

Aunque las definiciones pueden variar, la vulnerabilidad es considerada generalmente como el grado al cual un sistema es susceptible, e incapaz de hacer frente a los efectos adversos ante una alteración crónica o estocástica (Adger 2005; Cutter 1996). Como componente social y ecológico, puede ser explicada mediante el análisis de tres indicadores: (1) exposición, (2) sensibilidad y (3) capacidad adaptativa (Kelly and Adger, 2000; McClanahan *et al.*, 2008; Cinner *et al.*, 2013; Marshall *et al.*, 2013). La exposición involucra el grado en el cual el sistema ecológico, en este caso el sistema arrecifal, se encuentra estresado por la magnitud, frecuencia y duración de un evento climático y condiciones ambientales adversas (p. ej. ciclones o blanqueamiento) (Adger *et al.*, 2005; Cutter 1996); la sensibilidad, indica el estado de susceptibilidad de una sociedad dependiente de cierto ecosistema a sufrir daños por perturbaciones o disturbios a largo plazo (Adger *et al.*, 2005), así, este indicador se ve afectado por el nivel de dependencia

hacia los recursos naturales y las tecnologías usadas en su aprovechamiento. Finalmente, la capacidad adaptativa comprende las características que reflejan la habilidad de las personas de una comunidad dependiente de un recurso para anticipar, minimizar y responder a los cambios y sus consecuencias (Adger y Vincent 2005; Nelson *et al.*, 2007; McClanahan *et al.*, 2008).

Se han propuesto modelos socioecológicos que permiten identificar y cuantificar las interacciones sociales y ambientales; sin embargo, la mayoría se ha enfocado en evaluar principalmente el componente biológico (p. ej. cambios en el ecosistema) y su respuesta ante presiones antrópicas (p. ej. sobreexplotación de recursos) y/o naturales (Hughes and Connell, 1999; Allison *et al.*, 2009). Son pocos los estudios que han evaluado la dependencia y vulnerabilidad de la sociedad a cambios en el ecosistema arrecifal, así como la percepción social ante este tema. A nivel mundial, se ha evaluado la vulnerabilidad en las comunidades pesqueras, y abordan temas como: problemáticas asociadas al cambio climático, indicadores de capacidad adaptativa social, estresores sobre arrecifes de coral, entre otros aspectos socioecológicos (Cinner *et al.*, 2016; Reyna-Fabián, *et al.*, 2018; Adger and Vincent, 2005; McClanahan *et al.*, 2014). En México, aunque existen diversas investigaciones sobre la vulnerabilidad social (relacionadas a temas como desastres naturales, aumento poblacional, pobreza, entre otros) (Granados-Martínez, 2017; Velázquez-González *et al.*, 2021), pocos estudios se han enfocado en examinar la vulnerabilidad en el contexto de cambios en los ecosistemas de arrecifes de coral a nivel local y la percepción social que existe respecto a esta problemática por las comunidades que dependen de ellos.

1.1.4 Percepción social del riesgo al cambio climático y comportamiento proambiental

Se ha propuesto que una sociedad preparada para afrontar los cambios asociados a los estresores ambientales debe, primeramente, estar consciente de las implicaciones de sus actividades económicas (p. ej. percepción), así como tener la capacidad de identificar y adaptar sus acciones para hacer frente al cambio climático (Bradley *et al.*, 2020). Un enfoque práctico para tomar en cuenta este componente, es desarrollar modelos que involucren la combinación de indicadores de vulnerabilidad, capacidad de respuesta de la comunidad y la percepción social ante cambios ambientales asociados con alguno de los estresores (o su combinación) relacionados al cambio climático (Villa y McLeod 2002;

McClanahan et al., 2008; Bradley et al., 2020). La percepción de las personas ante estos estresores tiene diversas definiciones, Bradley y colaboradores (2020) lo definen como el “proceso de discernir e interpretar señales de diversas fuentes con respecto a eventos inciertos, que conlleva a la formación de un juicio subjetivo de la probabilidad y severidad de daños (actuales y futuros) asociados con estos eventos”.

El entendimiento de la percepción social del cambio climático es fundamental por dos razones:

- 1) Toma de decisiones: se considera como un componente clave para la toma de decisiones por las autoridades pertinentes, ya que la opinión pública tiene el poder de incentivar o perjudicar las acciones políticas, económicas y sociales destinadas a abordar el problema que plantea el cambio climático, lo que finalmente mueve a los gobiernos a tomar medidas (McDaniels *et al.*, 1996).
- 2) Cambio del comportamiento social: se requiere de un gran cambio en los comportamientos de las personas a nivel global, para el proceso de mitigación y adaptación al cambio climático, ya que tienen un gran impacto en la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero, dadas sus actividades diarias. Por lo tanto, este proceso debe involucrar las formas y los contenidos de la percepción pública actual del fenómeno y estrategias comunicativas más eficaces (Riva, 2010).

Ligar la percepción del cambio climático y sus impactos, con las posibles acciones de la población para ayudar a reducirlos, es un tema ampliamente reconocido que involucra el análisis de muchos factores (Lévy-Leboyer *et al.*, 1996; Bradley *et al.*, 2020). En este sentido, la investigación psicológica ha ganado importancia en el ámbito ambiental, ya que permite identificar los factores o determinantes de dichos comportamientos y precisar si son o no característicos de un grupo en particular ya que difieren entre países y culturas (Lévy-Leboyer *et al.*, 1996; Steg and Vlek, 2009). Algunos de los principales factores que se han evaluado involucran asociaciones emocionales relacionadas con el grado de conocimiento sobre el cambio climático actual, la conexión personal con el medio ambiente y la naturaleza, el apego al sitio de residencia, etc. (O'Connor *et al.*, 1999; Gosling y Williams, 2010; Mackay y Schmitt, 2019).

Cuando hablamos de comunidades costeras pequeñas que dependen de un recurso natural, las acciones en pro del ambiente a nivel local cobran mayor relevancia, porque

pueden tener un impacto directo en los recursos marinos de los cuales estas comunidades dependen económicamente. Por lo tanto, la capacidad de adaptar sus actividades económicas para reducir los impactos del cambio climático en su calidad de vida es esencial (Cinner *et al.*, 2012; Reyna-Fabian *et al.*, 2018; Bradley *et al.*, 2020; Aslam y Rana, 2022).

1.1.5 Sistema socioecológico del Parque Nacional Cabo Pulmo.

En México, el gobierno federal ha declarado varios arrecifes como Parques Marinos Nacionales o Reservas de la Biosfera, con el fin de mantener su diversidad y sus funciones en el mejor estado posible, sin afectar la calidad de vida de los residentes locales. Cabo Pulmo, en Baja California Sur, forma parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas bajo la categoría de Parque Marino desde 1995 (SEMARNAP, 1995) y fue decretado como Parque Nacional Cabo Pulmo por la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente desde el 7 de junio del 2000 (D.O.F., 2000). Tiene comunicación marítima por medio del tráfico náutico, el cual es muy dinámico dada la cercanía con Cabo San Lucas, al sur de B.C.S., que es una zona turística de grado internacional muy visitado en la cual atracan diferentes tipos de embarcaciones de grande, mediano y menor calado. Hacia el norte de Cabo Pulmo, se encuentra la comunidad de La Ribera y Buena Vista, donde se refugian un gran número de embarcaciones pequeñas y medianas durante el otoño e invierno (Arizpe-Covarrubias, 2008).

En la actualidad, la zona arrecifal del Parque Nacional Cabo Pulmo es considerada como una de las más importantes de la región del mar de Cortés, ya que representa al único arrecife de coral de la península de Baja California y debido a la confluencia de diferentes provincias biogeográficas marinas, es una zona increíblemente biodiversa que alberga numerosas especies de invertebrados, peces, mamíferos marinos, tortugas y aves (Aburto-Oropeza *et al.*, 2011; Rife *et al.*, 2013; Reyes-Bonilla *et al.*, 2014). Además, presenta la cobertura coralina más extensa en el Golfo de California, en el que habitan 11 de las 14 especies de corales hermatípicos (también llamados corales duros) reportados para el Golfo: *Pocillopora verrucosa*, *Pocillopora capitata*, *Pocillopora damicornis*, *Pocillopora meandrina*, *Pavona gigantea*, *Pavona clivosa*, *Porites panamensis*, *Psammocora stellata*, *Psammocora brighami*, *Fungia curvata*, *Madracis pharensis* (Reyes Bonilla, 1993a; Reyes Bonilla 1993b) y presenta un excelente estado de conservación (Aburto Oropeza *et al.*, 2011).

La comunidad de Cabo Pulmo es pequeña, conformada por 20 familias que incluyen tanto a residentes locales como a personas que fluctúan entre comunidades cercanas y turistas temporales (INEGI, 2023). Se considera como un ejemplo de cambio económico orientado a la conservación, en el que los residentes pasaron de depender principalmente de la pesca (anterior a su decreto como Parque Marino) a dedicarse a actividades de ecoturismo con bajo impacto ambiental (Cariño *et al.*, 2008) logrando resultados favorables sobre la diversidad y abundancia de peces en el arrecife (Aburto-Oropeza *et al.*, 2011; Rife *et al.*, 2013; Reyes-Bonilla *et al.*, 2014). Las principales actividades económicas de la comunidad local son establecimientos y pequeños sitios de hospedaje, la prestación de servicios turísticos recreacionales de bajo impacto sobre el arrecife de coral que incluyen el buceo con tanque (SCUBA) y esnórquel, prestación de servicios para la investigación científica y monitoreo de especies marinas y terrestres, uso de kayaks, actividades de educación ambiental, observación de ballenas, la pesca (para consumo doméstico y pesca deportiva), el campismo y la recreación en la playa (Ángeles *et al.*, 2008; Martínez-DeLaTorre, 2008; CONANP, 2009). Estas actividades están permitidas y reguladas de acuerdo con la zonificación del parque establecida en su plan de manejo, que incluyen preservación (SP1 y SP2), aprovechamiento sustentable de los recursos naturales (SASRN1 y SASRN2) y uso público (SUP) (Fig. I-3) (CONANP, 2009).

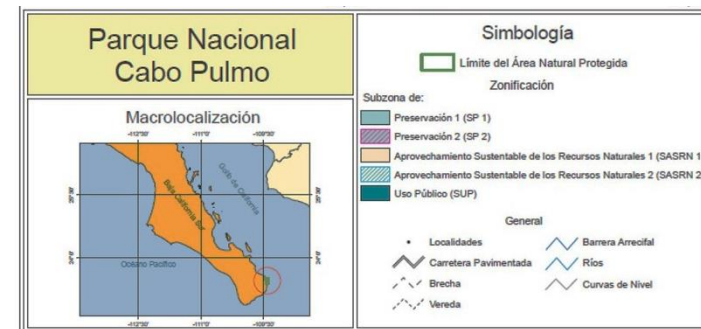
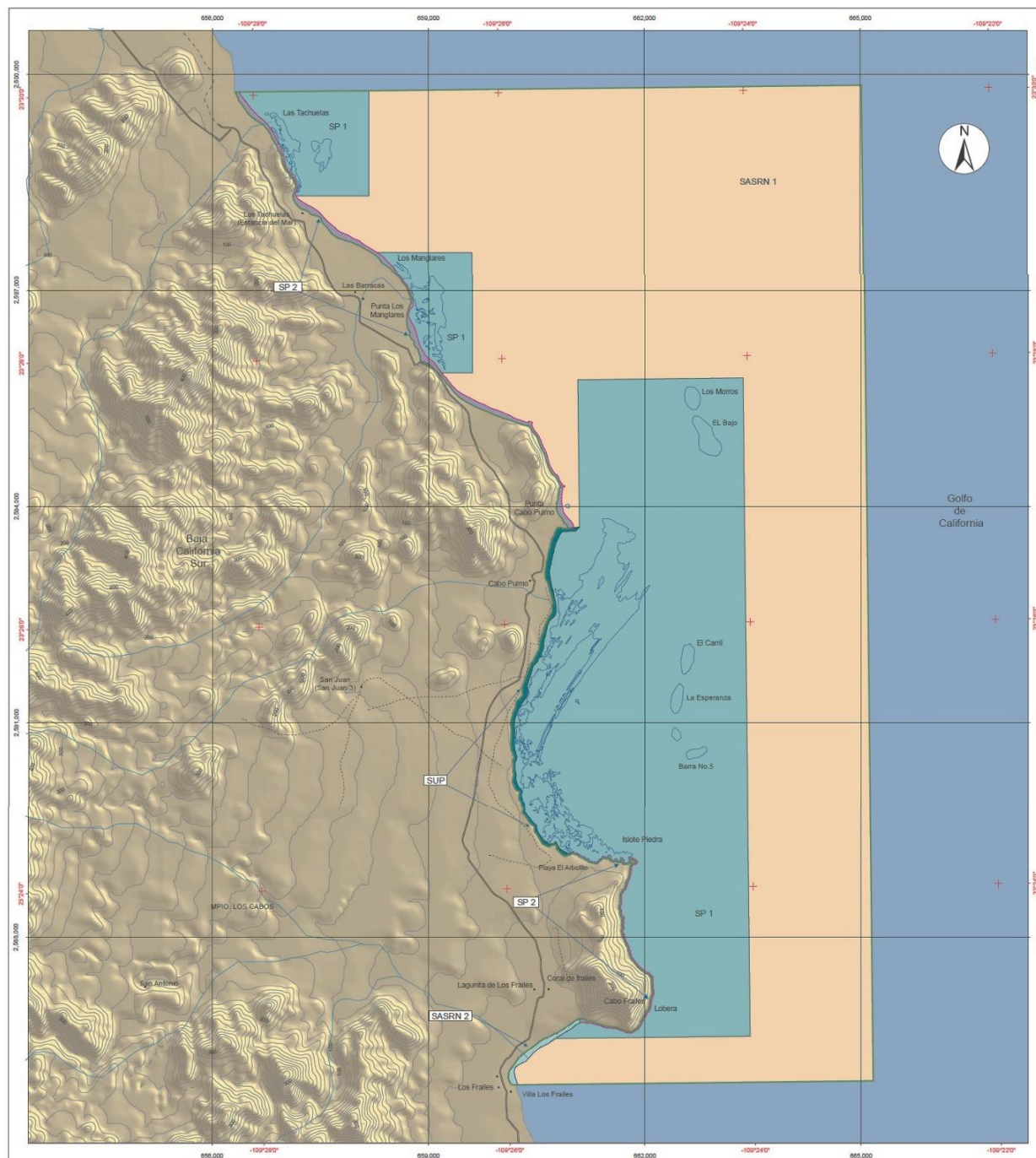


Figura I-3. Zonificación del Parque Nacional Cabo Pulmo. Tomada del Programa de Conservación y Manejo Parque Nacional Cabo Pulmo. En: https://simec.conanp.gob.mx/pdf_libro_pm/111_libro_pm.pdf

Bajo este contexto, se pueden establecer los dos componentes que conforman el sistema socioecológico de Cabo Pulmo, por un lado la comunidad residente que depende económicamente de las actividades y servicios ecoturísticos en el parque y por otro lado, el arrecife de coral que ofrece diversos servicios ecosistémicos. Hasta ahora, se ha observado que el éxito de este sistema socioecológico, se debe a que sus recursos naturales son vigilados y protegidos por los mismos residentes locales con el apoyo de las restricciones de acceso descrita en su Programa de Manejo (Martins *et al.*, 2014) y a la disposición que tienen para la prestación de servicios turísticos de bajo impacto (Anderson, 2014).

1.2 Preguntas de investigación

Se plantearon las siguientes preguntas de investigación en esta tesis: ¿Cuál es el grado de vulnerabilidad de la comunidad humana costera dependiente del arrecife en Cabo Pulmo, a cambios o fluctuaciones, causados por el cambio climático? ¿Cuál es la percepción social ante el cambio climático y otros estresores locales sobre su potencial afectación sobre el arrecife? ¿La capacidad adaptativa de la comunidad es suficiente para contrarrestar cambios en el arrecife de coral ante estresores ambientales? ¿Es posible encontrar un escenario futuro en el que se pueda disminuir la vulnerabilidad del sistema socioecológico de Cabo Pulmo? Para responder a estas preguntas se plantearon los siguientes objetivos.

1.3 Objetivo general

Evaluar la vulnerabilidad socioecológica y la percepción social de la comunidad dependiente del arrecife de coral en Cabo Pulmo, B.C.S. ante estresores ambientales relacionados al cambio climático.

1.3.1. *Objetivos específicos*

1. Construir un modelo de vulnerabilidad socioecológica de la comunidad costera dependiente del arrecife de coral en Cabo Pulmo, a cambios causados por estresores relacionados al cambio climático.
2. Evaluar la percepción social sobre el riesgo a la potencial afectación de los estresores relacionados al cambio climático.
3. Identificar las variables en el sistema socioecológico que más influyen en la vulnerabilidad de la comunidad de Cabo Pulmo.

1.4 Metodología general

A continuación se describen de manera general los pasos a seguir para cumplir con los objetivos de esta investigación.

El primer paso de la metodología fue una revisión bibliográfica sobre los temas abordados en el trabajo (cambio climático y arrecifes de coral, servicios ecosistémicos de los arrecifes y sus principales estresores, vulnerabilidad, sistema socioecológico, percepción social sobre el cambio climático y su importancia, así como el sistema socioecológico en el Parque Nacional Cabo Pulmo), los cuales se mencionan brevemente y definen los conceptos teóricos y los marcos de análisis utilizados para plantear las bases de los dos siguientes capítulos.

El segundo paso fue la construcción de un modelo de vulnerabilidad socioecológica para la comunidad costera residente en Cabo Pulmo a cambios causados por estresores relacionados al cambio climático. Se seleccionaron los indicadores que alimentarán el modelo de acuerdo con lo propuesto por Cinner y colaboradores (2013) y Reyna-Fabián y colaboradores (2018). Se desarrolló el instrumento de medición (encuestas) para recolectar la información in situ y utilizando el método bola de nieve se identificó y encuestó a la población residente del parque. El marco de análisis del modelo contempla dimensiones de sensibilidad social, capacidad adaptativa y exposición arrecifal, con sus respectivos conjuntos de indicadores adaptados al contexto socioeconómico de la comunidad. Finalmente se aplicó el modelo propuesto al caso de Cabo Pulmo y se obtuvo la vulnerabilidad.

El tercer paso consistió en evaluar la percepción social de la comunidad de Cabo Pulmo sobre el riesgo a la potencial afectación de diversos estresores relacionados al cambio climático sobre el arrecife de coral. Para ello se modificó un modelo de comportamiento proambiental con base en el propuesto por Bradley y colaboradores (2020) que cuantifica por medio de diversos indicadores la percepción del riesgo al cambio climático, cómo se adaptan psicológicamente los individuos a este suceso y la eficacia de la respuesta ante el mismo. Los datos usados en este modelo fueron recabados por medio de encuestas aplicadas a los residentes del parque. Como parte del análisis, se evaluaron las principales amenazas sobre el arrecife de coral percibidas por los mismos residentes.

Por último, se contrastaron los resultados de los dos pasos anteriores, analizando comparativamente el modelo de vulnerabilidad socioecológica con la percepción social sobre el cambio climático que tiene la comunidad. También se generaron tres escenarios de vulnerabilidad socioecológica al modificar las variables del modelo de índices construido, bajo las hipótesis de aumento en el impacto de la exposición arrecifal y la implementación de estrategias dirigidas a la comunidad para minimizar la sensibilidad social a corto, mediano y largo plazo. En este paso se identificaron las variables que más influyen en la vulnerabilidad socioecológica, se proponen estrategias (líneas de acción) y se reconocen los actores que podrían intervenir en el desarrollo de estas para tratar de minimizar la vulnerabilidad de la comunidad en un escenario futuro donde el arrecife de coral no ofrece los mismos servicios ecosistémicos dada la presión del cambio climático.

La metodología propuesta pretende evaluar la dependencia y la vulnerabilidad de la sociedad a cambios en el ecosistema arrecifal, así como la importancia de la percepción social en las conductas socioambientales. Los elementos que componen nuestro modelo de vulnerabilidad socioecológica y percepción social de la comunidad humana costera dependiente del arrecife en Cabo Pulmo, expuesta a cambios o fluctuaciones, se resumen en el esquema de la figura I-4.

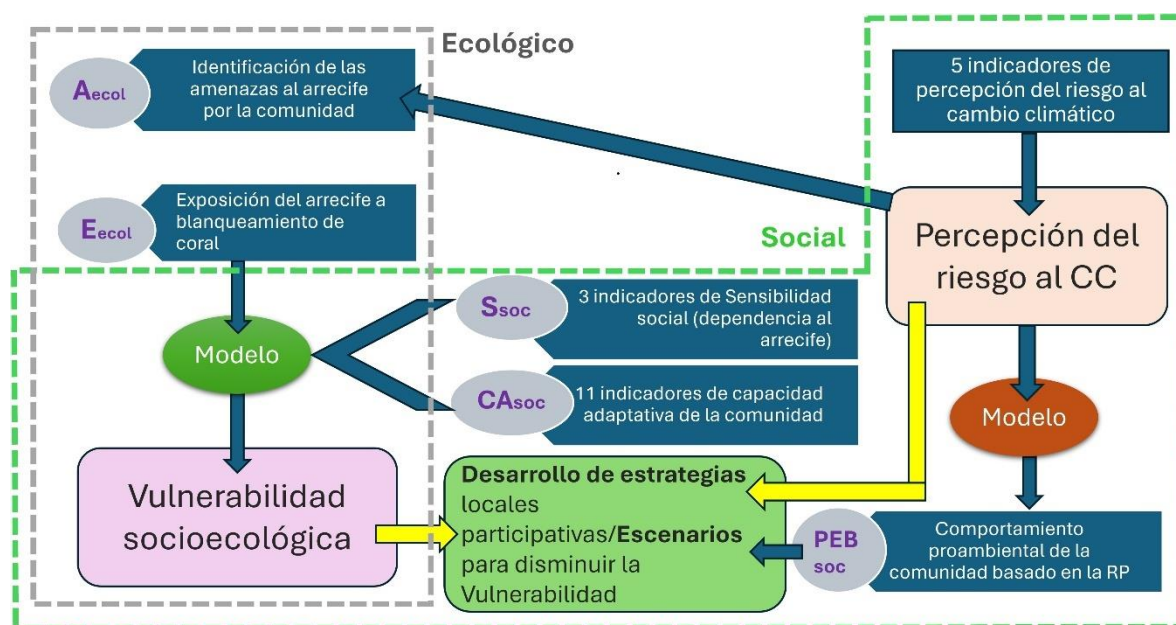


Figura I-4. Esquema de la metodología general realizada en esta investigación. Los subíndices indican si se trata de aspectos ecológicos (ecol) o aspectos sociales (soc).

1.5 Referencias

- Aburto-Oropeza, O., Erisman, B., Galland, G.R., Mascareñas-Osorio, I., Sala, E., Ezcurra, E., (2011). Large recovery of fish biomass in a No-take marine reserve. *PLoS One* 6 (8), e23601. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023601>
- Adger, W. N., & Vincent, K. (2005). Uncertainty in adaptive capacity. *Comptes Rendus Geoscience*, 337(4), 399–410. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2004.11.004>
- Adger, W. N., Hughes, T. P., Folke, C., Carpenter, S. R., & Rockström, J. (2005). Social-Ecological Resilience to Coastal Disasters. *Science*, 309(5737), 1036–1039. <https://doi.org/10.1126/science.1112122>
- Allison, E. H., Perry, A. L., Badjeck, M.-C., Neil Adger, W., Brown, K., Conway, D., Halls, A. S., Pilling, G. M., Reynolds, J. D., Andrew, N. L., & Dulvy, N. K. (2009). Vulnerability of national economies to the impacts of climate change on fisheries. *Fish and Fisheries*, 10(2), 173–196. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2008.00310.x>
- Andersson, A. J., & Gledhill, D. (2013). Ocean Acidification and Coral Reefs: Effects on Breakdown, Dissolution, and Net Ecosystem Calcification. En *Annual Review of Marine Science* (Vol. 5, Número Volume 5, 2013, pp. 321–348). Annual Reviews. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-121211-172241>
- Anderson, R. (2014). The value of a place: development politics on the East Cape of Baja California Sur, Mexico. Tesis de doctorado en Antropología. Universidad de Kentucky. Lexington, K,Y, Estados Unidos.
- Andreollo, M., Darling, E. S., Wenger, A., Suárez-Castro, A. F., Gelfand, S., & Ahmadi, G. N. (2022). A global map of human pressures on tropical coral reefs. *Conservation Letters*, 15(1), e12858. <https://doi.org/10.1111/conl.12858>
- Arizpe-Covarrubias, O. (2008). Caracterización del arrecife coralino de Cabo Pulmo. pp. 53-74. En: Gámez A. (ed.). *Turismo y sustentabilidad en Cabo Pulmo*, Baja California Sur, México. Universidad Estatal de San Diego.
- Aslam, A., & Rana, I. A. (2022). Impact of the built environment on climate change risk perception and psychological distancing: Empirical evidence from Islamabad, Pakistan. *Environmental Science & Policy*, 127, 228–240. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.10.024>
- Augustin, L., Barbante, C., Barnes, P.R.F., Barnola, J.M., Bigler, M., Castellano, E., Cattani, O., Chappellaz, J., DahlJensen, D., Delmonte, B. et al (2004) Eight glacial cycles from an Antarctic ice core. *Nature* 429:623–628
- Ban, S. S., Graham, N. A. J., & Connolly, S. R. (2014). Evidence for multiple stressor interactions and effects on coral reefs. *Global Change Biology*, 20(3), 681–697. <https://doi.org/10.1111/gcb.12453>
- Bartelet, H.A., Barnes, M.L., Zoeller, K.C., & Cumming, G.S., (2022). Social adaptation can reduce the strength of social–ecological feedbacks from ecosystem degradation. *People and Nature* 4 (4), 856–865. <https://doi.org/10.1002/pan3.10322>.

- Bradley, G. L., Babutsidze, Z., Chai, A., & Reser, J. P. (2020). The role of climate change risk perception, response efficacy, and psychological adaptation in pro-environmental behavior: A two nation study. *Journal of Environmental Psychology*, 68, 101410. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2020.101410>
- Burke, L., Selig, E., Spalding, M., (2002) Reefs at risk in southeast Asia. World Resources Institute, Cambridge, 72 pp.
- Chapin, F. S., Matson, P. A., Vitousek, P. M., & Chapin, M. C. (2011). Principles of terrestrial ecosystem ecology (2nd ed, Vol. 1–1 online resource (xv, 529 pages): illustrations (some color)). Springer; WorldCat. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9504-9>
- Cinner, J. E., McClanahan, T. R., Graham, N. A. J., Daw, T. M., Maina, J., Stead, S. M., Wamukota, A., Brown, K., & Bodin, Ö. (2012). Vulnerability of coastal communities to key impacts of climate change on coral reef fisheries. *Global Environmental Change*, 22(1), 12–20. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.09.018>
- Cinner, J.E., Huchery, C., Darling, E.S., Humphries, A.T., Graham, N.A.J., Hicks, C.C., Marshall, N., & McClanahan, T.R. (2013) Evaluating Social and Ecological Vulnerability of Coral Reef Fisheries to Climate Change. *PLoS ONE* 8(9): e74321. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0074321>
- Cinner, J. E., Pratchett, M. S., Graham, N. A. J., Messmer, V., Fuentes, M. M. P. B., Ainsworth, T., Ban, N., Bay, L. K., Blythe, J., Dissard, D., Dunn, S., Evans, L., Fabinyi, M., Fidelman, P., Figueiredo, J., Frisch, A. J., Fulton, C. J., Hicks, C. C., Lukoschek, V., ... Williamson, D. H. (2016). A framework for understanding climate change impacts on coral reef social–ecological systems. *Regional Environmental Change*, 16(4), 1133–1146. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0832-z>
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, (CONANP)., (2009). Programa de Conservación y manejo del Parque Nacional Cabo Pulmo. CONANP, México.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., & van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253–260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- Cutter, S.L., (1996) Vulnerability to environmental hazards. *Progress in Human Geography*. 20,529–539.
- D'Angelo, C., & Wiedenmann, J. (2014). Impacts of nutrient enrichment on coral reefs: New perspectives and implications for coastal management and reef survival. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 7, 82–93. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.11.029>
- D.O.F. (2000) Acuerdo que tiene por objeto dotar con una categoría acorde con la legislación vigente a las superficies que fueron objeto... *Gaceta Ecológica*, 83–87. <https://www.redalyc.org/pdf/539/53905407.pdf>
- Gosling, E., & Williams, K. J. H. (2010). Connectedness to nature, place attachment and conservation behaviour: Testing connectedness theory among farmers. *Journal of Environmental Psychology*, 30(3), 298–304. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2010.01.005>

- Graham, N. A. J., Wilson, S. K., Jennings, S., Polunin, N. V. C., Robinson, J., Bijoux, J. P., & Daw, T. M. (2007). Lag Effects in the Impacts of Mass Coral Bleaching on Coral Reef Fish, Fisheries, and Ecosystems. *Conservation Biology*, 21(5), 1291–1300. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2007.00754.x>
- Granados-Martínez, Abraham. (2017). Vulnerabilidad social por género: riesgos potenciales ante el cambio climático en México. *Letras Verdes, Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, (22), 274-296. <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.22.2017.2720>
- Groot, R. de, Brander, L., Ploeg, S. van der, Costanza, R., Bernard, F., Braat, L., Christie, M., Crossman, N., Ghermandi, A., Hein, L., Hussain, S., Kumar, P., McVittie, A., Portela, R., Rodriguez, L. C., Brink, P. ten, & Beukering, P. van. (2012). Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services*, 1(1), 50–61. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.005>
- Hansson M, Hoffmann G, Hutterli MA, Huybrechts P, Isaksson E, Johnsen S, Jouzel J, Kaczmarek M, Karlin T, Kaufmann P et al (2006) One-to-one coupling of glacial climate variability in Greenland and Antarctica. *Nature* 444:195–198
- Hoegh-Guldberg O., Hoegh-Guldberg H., Stout D.K., Cesar H. (2000) Pacific in peril: biological, economic and social impacts of climate change on Pacific coral reefs. Greenpeace, Suva, Fiji, p. 72.
- Hoegh-Guldberg, O., Mumby, P. J., Hooten, A. J., Steneck, R. S., Greenfield, P., Gomez, E., Harvell, C. D., Sale, P. F., Edwards, A. J., Caldeira, K., Knowlton, N., Eakin, C. M., Iglesias Prieto, R., Muthiga, N., Bradbury, R. H., Dubi, A. and Hatzioi, M. E. (2007). Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *science*, 318(5857), 1737-1742.
- Hozumi, A., Hong, P., Kaartvedt, S., Røstad, A., & Jones, B. (2018). Water quality, seasonality, and trajectory of an aquaculture-wastewater plume in the Red Sea. *Aquaculture Environment Interactions*, 10, 61–77. <https://doi.org/10.3354/aei00254>
- Hughes, T. P., & Connell, J. H. (1999). Multiple stressors on coral reefs: A long -term perspective. *Limnology and Oceanography*, 44(3part2), 932–940. https://doi.org/10.4319/lo.1999.44.3_part_2.0932
- Hughes, T. P., Kerry, J. T., Baird, A. H., Connolly, S. R., Dietzel, A., Eakin, C. M., Heron, S. F., Hoey, A. S., Hoogenboom, M. O., Liu, G., McWilliam, M. J., Pears, R. J., Pratchett, M. S., Skirving, W. J., Stella, J. S., & Torda, G. (2018). Global warming transforms coral reef assemblages. *Nature*, 556(7702), 492–496. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0041-2>
- Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC). (2023). Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, first ed. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>.
- James, R. K., Keyzer, L. M., Velde, S. J. van de, Herman, P. M. J., Katwijk, M. M. van, & Bouma, T. J. (2023). Climate change mitigation by coral reefs and seagrass beds at risk: How global change compromises coastal ecosystem services. *Science of The Total Environment*, 857, 159576. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159576>

- Kelly, P. M., & Adger, W. N. (2000). Theory and Practice in Assessing Vulnerability to Climate Change and Facilitating Adaptation. *Climatic Change*, 47(4), 325–352. <https://doi.org/10.1023/A:1005627828199>
- Lesser, M. P. (2021). Eutrophication on Coral Reefs: What Is the Evidence for Phase Shifts, Nutrient Limitation and Coral Bleaching. *BioScience*, 71(12), 1216–1233. <https://doi.org/10.1093/biosci/biab101>
- Lévy-Leboyer, C., Bonnes, M., Chase, J., Ferreira-Marques, J., & Pawlik, K. (1996). Determinants of Pro-Environmental Behaviors Determinants of Pro-Environmental Behaviors (Número 2, pp. 123–129). Hogrefe Publishing. <https://doi.org/10.1027/1016-9040.1.2.123>
- Mackay, C. M. L., & Schmitt, M. T. (2019). Do people who feel connected to nature do more to protect it? A meta-analysis. *Journal of Environmental Psychology*, 65, 101323. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2019.101323>
- Marshall, Nadine A., Tobin, Renae C., Marshall, Paul A., Gooch, Margaret, & Hobday, Alistair J. (2013). “Social Vulnerability of Marine Resource Users to Extreme Weather Events”. *Ecosystems*, 16(5), pp. 797-809.
- Martínez-DeLaTorre, J.A. (2008). Desarrollo local y el estado de la economía base en Cabo Pulmo. pp. 133-162. En: Gámez A. (ed.). Turismo y sustentabilidad en Cabo Pulmo, Baja California Sur, México. Universidad Estatal de San Diego.
- McClanahan, T. R., Cinner, J. E., Maina, J., Graham, N. A. J., Daw, T. M., Stead, S. M., Wamukota, A., Brown, K., Ateweberhan, M., Venus, V., & Polunin, N. V. C. (2008). Conservation action in a changing climate. *Conservation Letters*, 1(2), 53–59. <https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2008.00008.1.x>
- 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.
- McDaniels, T., Axelrod, L. J., & Slovic, P. (1996). Perceived ecological risks of global change: A psychometric comparison of causes and consequences. *Global Environmental Change*, 6(2), 159–171. [https://doi.org/10.1016/0959-3780\(96\)00006-4](https://doi.org/10.1016/0959-3780(96)00006-4)
- Moberg, F., & Folke, C. (1999). Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecological Economics*, 29(2), 215–233. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00009-9](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00009-9)
- Morgan, K. M., Perry, C. T., Smithers, S. G., Johnson, J. A., & Daniell, J. J. (2016). Evidence of extensive reef development and high coral cover in nearshore environments: Implications for understanding coral adaptation in turbid settings. *Scientific Reports*, 6(1), 29616. <https://doi.org/10.1038/srep29616>
- Nelson, D. R., Adger, W. N., & Brown, K. (2007). Adaptation to Environmental Change: Contributions of a Resilience Framework. En *Annual Review of Environment and Resources* (Vol. 32, Número Volume 32, 2007, pp. 395–419). Annual Reviews. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.32.051807.090348>

- O'Connor, R. E., Bard, R. J., & Fisher, A. (1999). Risk Perceptions, General Environmental Beliefs, and Willingness to Address Climate Change. *Risk Analysis*, 19(3), 461–471. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.1999.tb00421.x>
- Petit JR, Jouzel J, Raynaud D, Barkov NI, Barnola J-M, Basile I, Bender M, Chappellaz J, Davis M, Delaygue G et al (1999) Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature* 399:429–436
- Pratchett M.S., Munday P.L., Wilson S.K., Graham N.A.J., Cinnerm J.E., Bellwood D.R., Jones G.P., Polunin N.V.C. & McClanahan T.R. (2008) Effects of climate-induced coral bleaching on coral-reef fishes—ecological and economic consequences. *Oceanography and Marine Biololy*. 46:251–296
- Reyes Bonilla, H. (1993a). Estructura de la comunidad, influencia de la depredación y biología poblacional de corales hermatípicos en el arrecife de Cabo Pulmo, Baja California Sur. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario y de Estudios Superiores de Ensenada, Ensenada, B.C., 169 pp.
- Reyes Bonilla, H. (1993b). The 1987 coral reef bleaching at Cabo Pulmo reef, Gulf of California, México, *Bulletin of Marine Science.*, 52: 832-837.
- Reyes-Bonilla, H., Cárdenas, P., Calderón-Aguilera, L., Ricárdez, C., Fernández-Rivera Melo, F., Frausto, T., Salguero, B., Moreno-Sánchez, X., Torres, M., Orión, N.-L., Petatán, D., (2014). Servicios ambientales de arrecifes coralinos: El caso del Parque Nacional Cabo Pulmo, B.C.S.
- Reyna-Fabián, Mariana, Espinoza, Alejandro, Seingier, Georges, Ortiz-Lozano, Leonardo, & Espejel, Ileana. (2018). De la evaluación ecológica a la socio-ecológica: la vulnerabilidad de los arrecifes de coral ante los factores de estrés asociados al cambio climático. *Sociedad y ambiente*, (17), 59-92.
- Richmond, R. H., Tisthammer, K. H., & Spies, N. P. (2018). The Effects of Anthropogenic Stressors on Reproduction and Recruitment of Corals and Reef Organisms. *Frontiers in Marine Science*, Volume 5-2018. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00226>
- Riegl, B., Bruckner, A., Coles, S.L., Renaud, P., & Dodge, R.E. (2009). Coral reefs: threats and conservation in an era of global change. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 1162 (1), 136–186. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04493.x>.
- Rife, A.N., Erisman, B., Sanchez, A., Aburto-Oropeza, O. (2013). When good intentions are not enough ... Insights on networks of “paper park” marine protected areas. *Conservation Letters* 6 (3), 200–212. <https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2012.00303.x>.
- SEMARNAP, (1995, 6 de Junio). Decreto por el que se declara área natural protegida con el carácter de Parque Marino Nacional, la zona conocida como Cabo Pulmo, ubicada frente a las costas del Municipio de los Cabos, B.C.S., con una superficie de 7,111-01-00 hectáreas. Diario Oficial de la Federación. http://compilacion.ordenjuridico.gob.mx/listDependenciabeta.php?catEstado=&busquedaf=pulmo&image.x=8&image.y=13&HCat=O.titulo%2C+CT.tipo%2CO.fechaPub+asc&idDep=77&idPoder=1&idGrupo=5&idDepUp=9&Old_busquedaf=

- Shantz, A. A., & Burkepile, D. E. (2014). Context-dependent effects of nutrient loading on the coral–algal mutualism. *Ecology*, 95(7), 1995–2005. <https://doi.org/10.1890/13-1407.1>
- Steg, L., & Vlek, C. (2009). Encouraging pro-environmental behaviour: An integrative review and research agenda. *Journal of Environmental Psychology*, 29(3), 309–317. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2008.10.004>
- Strong, A. E., Barrientos, C. S., Duda, C., and Sapper, J. (1997). Improved satellite techniques for monitoring coral reef bleaching. In *Proc 8th Int Coral Reef Symp.* Vol. 2, pp. 1495–1498.
- Toscano M.A., Liu G., Guch I.C., Casey K.S., Strong A.E., Meyer J.E. (2000) Improved prediction of coral bleaching using high-resolution HotSpot anomaly mapping. *Proceedings of the ninth international coral reef symposium, Bali, 2000, vol 2, pp 1143–1147*
- Vargas-Ángel, B., Peters, E. C., Kramarsky-Winter, E., Gilliam, D. S., & Dodge, R. E. (2007). Cellular reactions to sedimentation and temperature stress in the Caribbean coral *Montastraea cavernosa*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 95(2), 140–145.
- Velázquez-González, Karen, Adame-Martínez, Salvador, Hoyos Castillo, Guadalupe, & Seingier, Georges. (2021). Resiliencia de los municipios costeros del Pacífico mexicano ante desastres socionaturales. *Economía, sociedad y territorio*, 21(65), 205–238. Epub 06 de mayo de 2021. <https://doi.org/10.22136/est20211648>
- Wagner, D., Kramer, P., & Woesik, R. (2010). Species composition, habitat, and water quality influence coral bleaching in southern Florida. *Marine Ecology Progress Series*, 408, 65–78.
- Walther GR, Post E, Convey P, Menzel A, Parmesan C, Beebee TJ, Fromentin JM, Hoegh-Guldberg O, Bairlein F (2002) Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416:389–395.
- Woodhead, A. J., Hicks, C. C., Norström, A. V., Williams, G. J., & Graham, N. A. J. (2019). Coral reef ecosystem services in the Anthropocene. *Functional Ecology*, 33(6), 1023–1034. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13331>
- Wooldridge, S. A., & Done, T. J. (2009). Improved water quality can ameliorate effects of climate change on corals. *Ecological Applications*, 19(6), 1492–1499. <https://doi.org/10.1890/08-0963.1>

Capítulo 2. Construcción de un modelo para evaluar el grado de vulnerabilidad socioecológica de la comunidad costera en Cabo Pulmo, a cambios causados por estresores relacionados al cambio climático.

2.1 Introducción

La vulnerabilidad no es una característica medible de un sistema, sino un concepto que expresa la compleja interacción de los diferentes factores que determinan la susceptibilidad de un sistema a sufrir impactos de un estresor, por ejemplo, el cambio climático (CC). Además, no existe una regla para definir específicamente los factores a considerar, ni los métodos utilizados para cuantificarlos. Por lo cual, para su estudio, resulta más adecuado emplear el término de “evaluar” en vez de “medir” la vulnerabilidad (GIZ, 2016). En las últimas dos décadas, se ha incrementado el desarrollo de modelos para realizar evaluaciones de la vulnerabilidad ante el CC en diversos sectores y campos de la sociedad, los cuales han servido como base para el desarrollo de estrategias de adaptación (Mamauag *et al.*, 2013). Estas evaluaciones se realizan por medio de indicadores, a lo cual Nguyen y colaboradores (2016) mencionan que “el uso de estos indicadores de vulnerabilidad ante los impactos del CC en las costas donde ocurre la interacción entre los ecosistemas y las comunidades humanas que de ellos depende, pueden ayudar a identificar y priorizar la atención a regiones, sectores o grupos de la sociedad potencialmente vulnerables”.

Cuando se habla sobre evaluar la vulnerabilidad socioecológica, se está integrando el concepto de *sistema socioecológico*, ya que los factores de estrés asociados al cambio climático no sólo tienen consecuencias sobre los sistemas naturales o ecológicos, sino que también afectan a los sistemas sociales o comunidades aledañas que dependen de uno o más ecosistemas (Adger, 2006). Por lo cual podemos considerar a un sistema socioecológico como un sistema social que comprende a su vez sus propios subsistemas y elementos, integrado a un sistema ecológico, igualmente con subsistemas y elementos propios, formando un conjunto inseparable, en el cual las relaciones recíprocas entre los componentes y subsistemas conducen la evolución del sistema como un todo (Challenger *et al.*, 2014). Estas interacciones que ocurren dentro del sistema socioecológico también están mediadas por los entornos económicos y políticos que pueden llevar a diversos resultados ecológicos y sociales (Leslie *et al.*, 2015).

Evaluar la vulnerabilidad de los sistemas socioecológicos presenta un enfoque de gran importancia, ya que integra las proyecciones de cambio climático a distintas escalas que son importantes para la planificación de la adaptación a escala local y sus acciones (gestión ambiental) (Maina *et al.*, 2016). Sin embargo, lograr la gestión ambiental basada en sistemas socioecológicos presenta varios retos en la actualidad, ya que para ello es necesaria la creación de políticas públicas específicas (Challenger *et al.*, 2014).

Este trabajo se ha enfocado en abordar la vulnerabilidad de la comunidad de Cabo Pulmo, ante uno de los principales factores de estrés, el blanqueamiento del arrecife de coral asociado al CC, la importancia y el interés de evaluar su vulnerabilidad socioecológica bajo el escenario de CC, como una afectación futura hacia el arrecife, ya que se trata de una comunidad costera donde el sustento de la economía depende casi por completo de las actividades ecoturísticas permitidas en el parque (Milanés-Salinas *et al.*, 2025), todas relacionadas con el atractivo y los servicios ecosistémicos que ofrece el arrecife de coral (Treviño-Aguilar *et al.*, 2019; Quintana-Bustamante, 2022).

Para esto, se adaptó un modelo basado en las propuestas de Reyna-Fabián y colaboradores (2018) y Cinner y colaboradores (2012 y 2013). En estas propuestas, los autores evalúan la vulnerabilidad socioecológica de los arrecifes de coral ante factores relacionados con el CC en localidades costeras donde las actividades económicas principales de la comunidad se basan en la pesca, en la industria de productos provenientes del mar y el turismo. Por lo que la principal adaptación de nuestro modelo es contextualizarlo según el perfil socioeconómico de la comunidad de Cabo Pulmo, analizando indicadores a una escala local, considerando las características y el reglamento del Parque Nacional establecidas en el Programa de manejo del Parque Nacional Cabo Pulmo y las actividades de bajo impacto al arrecife (CONANP, 2009).

El modelo contempla tres dimensiones de análisis: la exposición arrecifal ante algún estresor en particular (p. ej. blanqueamiento y mortalidad por eventos de alta temperatura), la sensibilidad social y la capacidad adaptativa de la comunidad (McClanahan *et al.*, 2008; Cinner *et al.*, 2013). El primer indicador es el de la exposición a estrés por blanqueamiento del arrecife de coral asociado a eventos de alta temperatura, el cual evalúa escenarios de potenciales afectaciones a la comunidad coralina, bajo el contexto de que se espera que estos eventos se vuelvan cada vez más intensos y frecuentes, lo cual puede afectar

negativamente la conservación los servicios ecosistémicos que brindan (Adger, 2006; Cutter, 1996; Manzello *et al.*, 2017). El segundo indicador es la sensibilidad social, adaptado para considerar únicamente las actividades económicas de la comunidad permitidas dentro del parque, ya que hubo un cambio de actividades pesqueras a ecoturísticas derivado de la creación del parque nacional, limitando así las opciones de actividades laborales que generen ingresos económicos para la comunidad (Cariño *et al.*, 2008; Aburto-Oropeza *et al.*, 2011; Rife *et al.*, 2013; Reyes-Bonilla *et al.*, 2014). El decreto trajo consigo un alto compromiso de los residentes hacia el cumplimiento del reglamento interno y de dependencia económica (Milanés-Salinas, *et al.* 2025). El tercero y último es el indicador de capacidad adaptativa de la comunidad, el cual se definió como la habilidad de los hogares para anticipar y responder a los cambios que puede traer consigo una modificación de la cantidad o calidad del recurso del cual depende su actividad económica (p. ej. blanqueamiento del arrecife asociado al cambio climático), así como su capacidad para minimizar, afrontar y recuperarse de las consecuencias ante estas modificaciones (Morzaria-Luna *et al.*, 2014).

El presente capítulo tiene como objetivo, construir y aplicar un modelo de vulnerabilidad socioecológica de la comunidad costera dependiente del arrecife de coral en Cabo Pulmo, a cambios causados por estresores relacionados al cambio climático, específicamente, ante el estrés y mortalidad por blanqueamiento de coral.

2.2 Métodos

2.2.1 Generalidades del modelo de vulnerabilidad

Las variables indicadoras de vulnerabilidad usadas en este trabajo fueron: 1) exposición arrecifal al blanqueamiento por cambios en la temperatura superficial del mar, 2) sensibilidad social y 3) capacidad adaptativa de la comunidad. Éstas se integraron en la siguiente ecuación (Cinner *et al.*, 2012; 2013):

$$V_{\text{SocEcol}} = E_{\text{Ecol}} + S_{\text{Soc}} - (AC_{\text{Soc}})$$

Ec. 1

En donde V es la vulnerabilidad socioecológica evaluada, E la exposición del arrecife al estrés por blanqueamiento de coral, S corresponde al componente de dependencia o

sensibilidad y AC determina la capacidad adaptativa de la comunidad. Los subíndices en el modelo indican el aspecto social (Soc) o ecológico (Ecol).

Los distintos elementos de la ecuación 1 son generados utilizando varios métodos (Fig. II-1; tabla II-2 y tabla II-3). En el caso de la exposición (E), se empleó un análisis de indicadores de cambio climático, como es el grado de aumento de la temperatura superficial del mar, orientada a episodios de elevadas temperaturas que ya se han asociado a impactos negativos sobre el arrecife, como el blanqueamiento y mortalidad ocasionados por el evento El Niño (ENSO, por sus siglas en inglés) 2023-2024 en toda la región del Pacífico Oriental Tropical (López *et al.*, 2024). El uso de este tipo de indicadores ha sido clave para cuantificar potenciales estresores (Manzello *et al.*, 2025). Por otra parte, es importante remarcar que para el cálculo de los demás elementos de la ecuación 1, se emplearon datos obtenidos directamente de la comunidad, los cuales fueron recolectados mediante trabajo de campo en Cabo Pulmo (encuestas; ver sección 2.2.3).

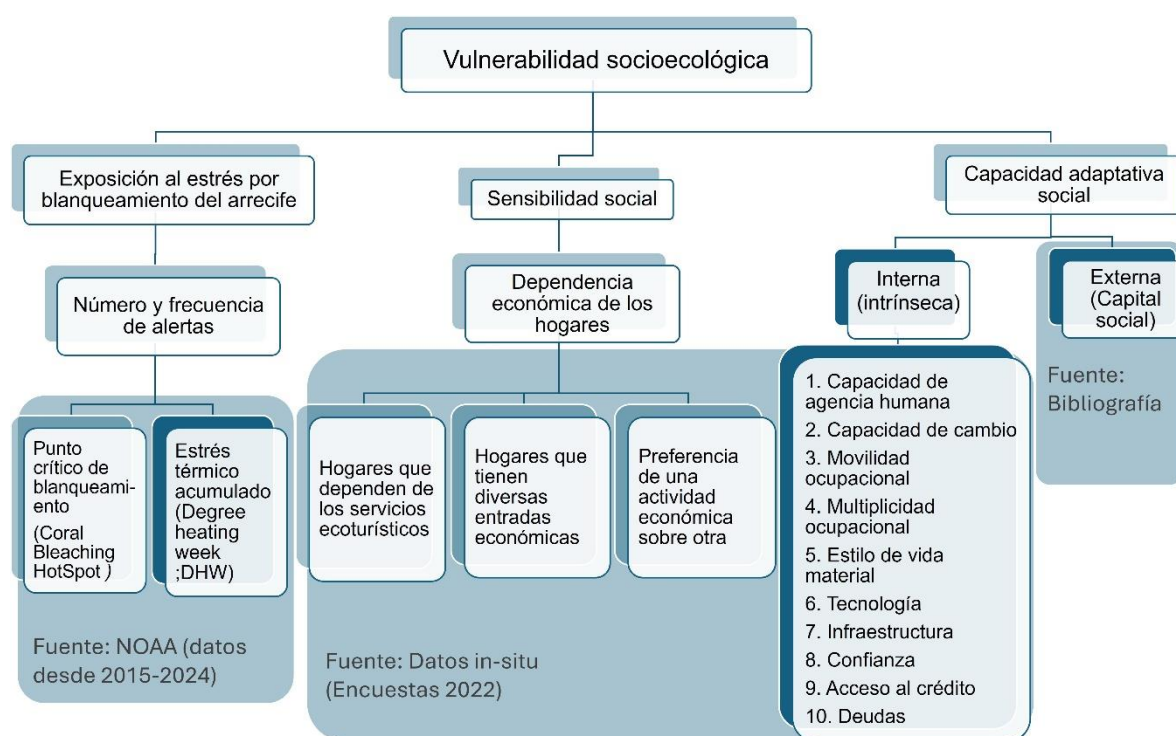


Figura II-1. Diagrama de indicadores de vulnerabilidad socioecológica usados en este trabajo. Fuentes: exposición del arrecife: <https://coralreefwatch.noaa.gov/>; sensibilidad y capacidad adaptativa: datos propios obtenidos de encuestas aplicadas in situ y de la Comisión de Fomento de las Actividades de las Organizaciones de la Sociedad Civil, <https://cabopulmovivo.org/integrantes/> y <https://niparaja.org/conservacion-marina/>.

2.2.2 Indicador de exposición

Para este trabajo, se consideró como factor de exposición del arrecife al cambio climático, la ocurrencia de eventos de blanqueamiento de coral. Se usó como base el indicador de Área de Alerta de Blanqueamiento de coral (BAA; por sus siglas en inglés) reportado por el Coral Reef Watch (CRW) de la NOAA (CRW_BAA; <https://coralreefwatch.noaa.gov>). Este indicador calcula el estrés térmico debido al aumento en la temperatura superficial del mar (TSM) y lo relaciona con la posibilidad de generar un evento de blanqueamiento de coral. Esta base de datos es de acceso libre y contiene registros desde 1985 hasta la fecha. Brevemente, este se calcula a partir de un conjunto de productos satelitales de TSM, con una resolución de píxel de 5 km, los cuales son promediados por día para posteriormente integrarlos partiendo de un valor de referencia (i.e., valor umbral de ± 0.5 °C basado en climatología de más de 20 años) respecto a una ventana temporal de 7 días. Así, se obtienen datos diarios de un índice con el estrés térmico potencial sobre el arrecife, y adicionalmente, este mismo producto asocia la probabilidad de blanqueamiento de coral de acuerdo con umbrales de daño potencial propuestos (Findlay *et al.*, 2025). Es importante resaltar que estos umbrales se han establecido a partir de datos de anomalías de TSM con eventos de blanqueamiento y mortalidad potenciales, los cuales están basados en una revisión de la literatura a escala global, por lo que abarcan respuestas de varios sitios (no específicamente para zonas arrecifales del Pacífico).

En la tabla II-1 podemos observar la descripción del daño potencial al arrecife de acuerdo con los dos productos principales: el Coral Bleaching HotSpot (puntos críticos de blanqueamiento de corales) y el producto Degree Heating Week (grado de calentamiento semanal; DHW). El producto Coral Bleaching HotSpot, mide la ocurrencia y la magnitud del estrés térmico instantáneo, que puede provocar blanqueamiento de coral. La escala va de 0 a 5 °C. Los valores de HotSpot de 1 °C o más indican estrés térmico que conduce al blanqueamiento de los corales y se resaltan en colores que van del amarillo al rojo oscuro/marrón hasta el púrpura. Por otro lado, el producto DHW muestra el estrés térmico acumulado, que puede provocar el blanqueamiento y la muerte de los corales. La escala va de 0 a 20 °C/semanas. Este producto acumula el estrés térmico instantáneo por blanqueamiento, medido por el Coral Bleaching HotSpot, durante el periodo más reciente de 12 semanas y está directamente relacionado con el momento y la intensidad del blanqueamiento de los corales. Cuando el valor DHW alcanza los 4 °C/semanas se puede inferir que existe riesgo de blanqueamiento de corales, cuando alcanza las 8 °C/semanas,

es probable que se produzca un blanqueamiento de corales en todo el arrecife presentando muerte de los corales sensibles al calor. Si el estrés térmico acumulado sigue aumentando y supera un valor DHW de 12 °C/semanas, es probable que se produzca la muerte de múltiples especies de coral. Se observa un riesgo de una mortalidad grave de múltiples especies (en más del 50 % de los corales) con un DHW superior o igual a 16 °C-semanas, y finalmente con un DHW superior o igual a 20 °C-semanas, es probable que se produzca una mortalidad casi total (en más del 80 % de los corales).

Algunas ventajas de emplear este tipo de productos son que a) al ser un compuesto acumulativo, logra minimizar la variabilidad asociada a fluctuaciones diarias en el estrés térmico y muestra el nivel de estrés máximo que un píxel ha experimentado durante los siete días consecutivos más recientes, y b) este producto es usado por grupos de investigación para complementar el monitoreo de arrecifes alrededor del mundo (Liu *et al.*, 2014; Skirving *et al.*, 2020; Tabla II-1).

Tabla II-1. Niveles de advertencia de blanqueamiento de coral (NOAA, 2025). Los colores de cada categoría son los establecidos por la NOAA de acuerdo con el patrón de calor observado en los productos (Hotspot y DHW) satelitales yendo de sin afectación a mayor afectación (verde= sin afectación; púrpura= máxima alerta de blanqueamiento).

Nivel de estrés	Definición	Potencial de blanqueamiento y mortalidad	Color de alerta
Sin estrés	$\text{HotSpot} \leq 0$	Sin blanqueamiento	
Vigilancia de blanqueamiento (<i>Bleach Watch</i>)	$0 < \text{HotSpot} < 1$		
Advertencia de blanqueamiento (<i>Bleaching Warning</i>)	$1 \leq \text{HotSpot}$ y $0 < \text{DHW} < 4$	Riesgo de posible blanqueamiento	
Alerta de blanqueamiento nivel 1	$1 \leq \text{HotSpot}$ y $4 \leq \text{DHW} < 8$	Riesgo de blanqueamiento a nivel del arrecife	
Alerta de blanqueamiento nivel 2	$1 \leq \text{HotSpot}$ y $8 \leq \text{DHW} < 12$	Riesgo de blanqueamiento a nivel del arrecife con mortalidad de corales sensibles al calor	
Alerta de blanqueamiento nivel 3	$1 \leq \text{HotSpot}$ y $12 \leq \text{DHW} < 16$	Riesgo de mortalidad en múltiples especies	
Alerta de blanqueamiento nivel 4	$1 \leq \text{HotSpot}$ y $16 \leq \text{DHW} < 20$	Riesgo de mortalidad severa en múltiples especies (más del 50% de los corales)	
Alerta de blanqueamiento nivel 5	$1 \leq \text{HotSpot}$ y $\text{DHW} \geq 20$	Riesgo de mortalidad casi total (más del 80% de los corales)	

*Para más información sobre los algoritmos y metodología usada en el desarrollo del indicador CRW_BAA ver Liu et al., (2014) y Skirving et al., (2020).

Con la finalidad de obtener un valor de exposición arrecifal, se analizaron los valores de CRW_BAA de los últimos 10 años (2015-2024), extraídos de la zona arrecifal cercana al parque Cabo Pulmo, por categoría de alerta y se calculó el porcentaje de alerta anual por tipo de categoría.

Con la ayuda de expertos en arrecifes de coral y estrés por blanqueamiento, se asignó un porcentaje de mortalidad arrecifal asociado a cada tipo de categoría de alerta, de acuerdo con el potencial de blanqueamiento descrito en la tabla II-1. Se utilizó este porcentaje de

mortalidad arrecifal para obtener el porcentaje de exposición por tipo de alerta para los años de este estudio (2015-2024), esto nos permitió obtener el porcentaje de exposición anual acumulado (incluye todas las categorías) de acuerdo con la ecuación 2.

$$E_{at} = \sum_{i=1}^5 \left(\text{No. Días con alerta } i \right) * P_i$$

Ec. 2

En donde E_{at} es el porcentaje de exposición anual acumulado en el rango de tiempo estudiado (t), i es la categoría de alerta y P_i es el porcentaje de mortalidad arrecifal para cada tipo de categoría de alerta.

Normalización del indicador de exposición

Debido a que el arrecife de Cabo Pulmo es una comunidad coralina que forma parte de los arrecifes de la zona del Pacífico Tropical Mexicano (Cupul-Magaña *et al.*, 2000; Reyes-Bonilla *et al.*, 2005) se optó por seleccionar a dos localidades arrecifales, Huatulco (Oax.) e Islas Marietas (Nay.)(Fig II-2.), para evaluar su E_{at} y usarla como punto de comparación con la E_{at} obtenida de Cabo Pulmo. Se seleccionaron ambas localidades porque se distribuyen en la misma zona del Pacífico y se encuentran también bajo la exposición a estrés por blanqueamiento. El análisis de la E_{at} de estas dos localidades se obtuvo también con los datos de CRW_BAA durante el mismo periodo de tiempo (Anexo 1). Así, se tomó el valor de E_{at} más alto encontrado entre las tres localidades y se estableció como el valor máximo de exposición a blanqueamiento ($E=1$) considerando como valor mínimo una $E=0$ (valor teórico donde no se observan variaciones o anomalías en la TSM). Este análisis basado en la proporción de E_{at} entre localidades se desarrolló específicamente para el caso de Cabo Pulmo.

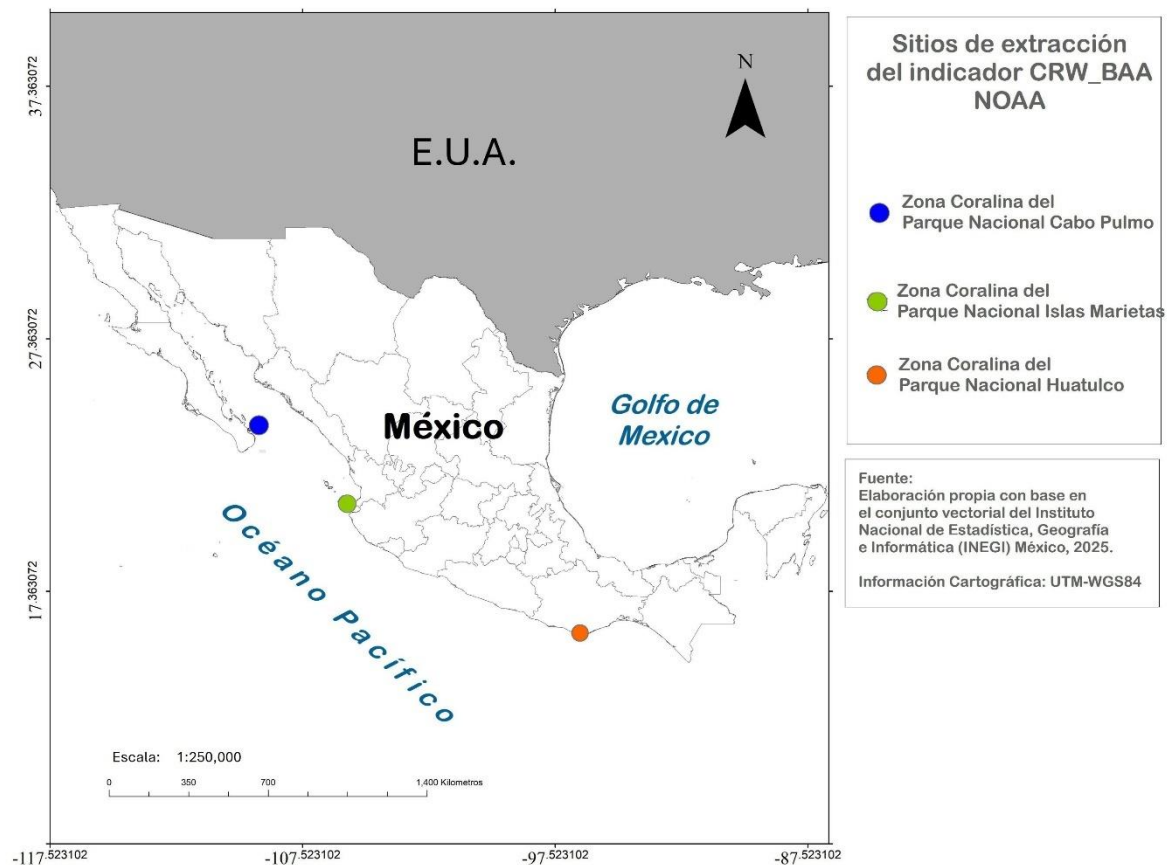


Figura II-2. Sitios de extracción de datos del indicador de exposición CRW_BAA para las localidades coralinas de Cabo Pulmo (B.C.S), Huatulco (Oax.) e Islas Marietas (Nay.). Elaboración propia.

2.2.3 Variables socioeconómicas

Se diseñó una encuesta dirigida a la población residente y económicamente activa en Cabo Pulmo, es decir, que dependen económicamente de las actividades realizadas dentro del parque nacional (Milanés-Salinas *et al.*, 2025). La encuesta fue anónima con el consentimiento expreso de los participantes que le aseguraba el derecho a no contestar cualquier pregunta. Se contó con el apoyo de la asociación civil *Amigos para la Conservación de Cabo Pulmo*, un actor clave de la comunidad, para identificar los posibles participantes y partiendo de esto, se utilizó el método bola de nieve (Martínez-Salgado, 2012), que consiste en identificar informantes semilla que cumplan con los criterios de elegibilidad y pedirles que recomienden a otros participantes. La encuesta se aplicó del 28 de septiembre al 3 de octubre de 2022, dado que la máxima afluencia de turistas ocurre en octubre (CONANP, 2009), permitiendo encuestar a los prestadores de servicios, tratando de no interrumpir sus actividades. Con este instrumento de medición se podrá obtener

información que permita la estimación de trece indicadores socioeconómicos (cuatro para sensibilidad social y 11 para capacidad adaptativa social) desarrollado para comunidades dependientes de arrecife de coral (Cinner et al., 2013). Cada indicador estimado conlleva un tratamiento de normalización como se detalla a continuación.

2.2.4 Indicador de sensibilidad social

Se consideró como base lo establecido por Cinner y colaboradores (2013) para desarrollar y adecuar el componente de dependencia económica (métrica de sensibilidad) para el caso Cabo Pulmo. Para ello se evaluaron las actividades de subsistencia desarrolladas en el parque, la opción de tener otra actividad económica y la preferencia de una sobre otra. De esta manera, esta métrica de sensibilidad incorpora la proporción de hogares que tienen por sustento ingresos directos de las actividades relacionadas con el arrecife de coral, si estos hogares tienen otra entrada de ingresos con actividades fuera del parque y la direccionalidad de estos vínculos, es decir, si los participantes clasificaron sus actividades dentro del parque como más importante que su segunda opción laboral (tabla 2; Ec. 3; Cinner et al., 2013).

$$S = \frac{F}{F + NF} \times \frac{N}{F + NF} \times \frac{(r_{fn}/2) + 1}{r_{fn} + r_{nf} + 1}$$

Ec. 3.

Donde S es el índice de sensibilidad, F es el número de hogares que dependen de ocupaciones relacionadas con los servicios ecoturísticos; NF es el número de hogares que dependen de una ocupación no relacionada con los servicios ecoturísticos; N es el número de hogares encuestados; r_{fn} es el número de veces que las ocupaciones relacionadas con los servicios ecoturísticos se clasificaron por encima de las ocupaciones no relacionadas con él (normalizado por el número de hogares); r_{nf} es el número de veces que las ocupaciones no relacionadas con los servicios ecoturísticos se clasificaron por encima de las ocupaciones relacionadas con él (normalizado por el número de hogares).

El primer término de la ecuación 3 refleja la proporción de ocupaciones relacionadas con los servicios ecoturísticos con respecto a las no relacionadas con él. El segundo término refleja en qué medida los hogares que dependen de los servicios ecoturísticos también se dedican a actividades de subsistencia no relacionadas. El tercer término describe la

dirección de los vínculos entre las actividades relacionadas a los servicios ecoturísticos y las actividades no relacionadas. Esto se interpreta como que las comunidades serán más sensibles cuando los hogares dedicados a actividades relacionadas a los servicios ecoturísticos y a ocupaciones no relacionadas clasificaban sistemáticamente el sector ecoturístico como más importante que otras actividades de subsistencia (Cinner et al., 2013).

Tabla II-2. Indicadores de sensibilidad social usados en el modelo. Se muestra su descripción, tipo de variable y sus límites.

Indicador	Descripción	Tipo de variable y sus límites
F	Número de hogares que dependen de ocupaciones relacionadas con los servicios ecoturísticos.	Continua: min = 1; max = 47
NF	Número de hogares que dependen de una ocupación no relacionada con los servicios ecoturísticos.	Continua: min = 1; max = 47
N	Número de hogares encuestados.	Total: 47
r_{in}	El número de veces que las ocupaciones relacionadas con los servicios ecoturísticos se clasificaron por encima de las ocupaciones no relacionadas con él (normalizado por el número de hogares).	Entre 0 y 1
r_{nf}	El número de veces que las ocupaciones no relacionadas con los servicios ecoturísticos se clasificaron por encima de las ocupaciones relacionadas con él (normalizado por el número de hogares).	Entre 0 y 0.75

2.2.5 Indicador de capacidad adaptativa

Con base en el índice de capacidad adaptativa desarrollado en McClanahan y colaboradores (2008) y el presentado por Cinner y colaboradores (2013), se generó el indicador de capacidad adaptativa de la comunidad de Cabo Pulmo, el índice se ajustó de acuerdo con las actividades económicas realizadas por los residentes de la comunidad, así como lo establecido en el programa de manejo del parque. Obteniendo de esta manera diez indicadores de la capacidad adaptativa (tabla II-3). En el Anexo 2 se agregan más detalles sobre las variables indicadoras de capacidad adaptativa y sensibilidad social.

Tabla II-3. Indicadores de capacidad adaptativa socioeconómica usados en el modelo. Se muestra el acrónimo del indicador, una breve descripción, así como el tipo de variable y para algunos casos, los límites calculados. Adaptado de McClanahan *et al.* (2008) y Cinner *et al.* (2013). Más detalle de los indicadores en el anexo 2.

Indicador	Descripción	Tipo de variable y sus límites
Capacidad de agencia humana	Reconocimiento de los agentes causales que influyen o impactan el bienestar del arrecife y la realización de las actividades económicas.	Binomial: 0;1
Capacidad de cambio	Capacidad para anticiparse al cambio en sus actividades económicas y desarrollar estrategias de respuesta.	Binomial: 0;1
Movilidad ocupacional	Indica la estabilidad en un trabajo. Cambio de trabajo en los últimos cinco años y la preferencia por su ocupación actual.	Binomial: 0;1
Multiplicidad ocupacional	Número total de personas en el hogar o que viven con el encuestado, que tienen más de un empleo. Los cuartiles se establecieron con el número máximo de personas en el hogar con más de un empleo.	Cuartiles: Q1-1 Q2-2 Q3-3 y 4
Estilo de vida (material).	Medido mediante el análisis factorial de si los encuestados tenían 10 bienes materiales, como vehículo, electricidad y el tipo de paredes, techo y suelo de su vivienda. Los cuartiles se establecieron con el número máximo de bienes materiales.	Cuartiles: Q1- 0 a 3 Q2- 4 a 6 Q3-7 a 10
Tecnología	Medida como la diversidad y calidad del equipo para trabajar usado, incluyendo si es propio o pertenece al empleador.	Binomial: 0;1
Infraestructura	Medida mediante el análisis factorial de 8 elementos de infraestructura básica, como carretera de asfalto, servicios médicos, etc. Se consideraron solo 8 elementos de infraestructura debido a las características de la comunidad como parte de un ANP.	Continua: min = 0 max = 8
Confianza	Medida como la media de las respuestas en escala Likert a preguntas sobre el grado de confianza de los encuestados en los miembros de la comunidad, los líderes locales, la policía y el gobierno local.	Escala de Likert: min = 0 max = 4
Acceso al crédito	Indica si el encuestado considera que puede acceder a un crédito a través de instituciones formales o medios informales (por ejemplo, familia, amigos, banco, intermediarios o comerciantes).	Binomial: 0;1

Deudas	Indica si el encuestado tiene o no una deuda equivalente a más de una semana de salario.	Binomial: 0= tiene deudas 1= no tiene deudas
--------	--	--

Se realizó una correlación de Spearman para detectar indicadores de capacidad adaptativa altamente relacionados y descartar aquellos en los que se observe el mismo origen, ya que esto pudiera dar lugar a errores o sesgos al asignarse una mayor varianza explicada a indicadores que abordan un mismo componente o característica.

Se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) para obtener el peso de cada indicador de capacidad adaptativa. Para ello se utilizaron los eigenvalores de cada componente principal y los valores absolutos de las cargas factoriales del CP1, CP2 y CP3 (i.e., los tres componentes sumaban >60% de la varianza total). Se calculó el promedio de cada indicador normalizado, y se usaron esos valores para calcular el promedio ponderado de cada indicador.

Los pesos (W_i) de cada indicador se calculan de la siguiente manera

$$W_i = \sum_{k=1}^3 E_j F_{ij}$$

Donde i = indicador, k = componente principal, W_i = peso del indicador i , E_j = valor propio del componente principal k , y F_{ij} = carga factorial del indicador i sobre el componente principal k . Se normalizaron las ponderaciones de todos los indicadores, de modo que la suma de todas las ponderaciones (10 indicadores) fuera igual a 1.

Posteriormente, se usaron los pesos de los indicadores para calcular el índice ponderado de capacidad adaptativa de la comunidad (AC), de la siguiente manera:

$$AC = \sum_{i=1}^{10} n W_i V_i$$

Donde i = indicador, nW_i = peso normalizado del indicador i y V_i = valor normalizado del indicador i . Se usaron los promedios ponderados para poder detectar mejor la importancia relativa de los diferentes indicadores de capacidad adaptativa. La puntuación resultante tiene un rango teórico de 0-1, donde una puntuación de 1 indicaría una comunidad en la que todos los hogares obtuvieron la máxima puntuación en los diez indicadores. Adicionalmente, se evaluó el capital social como un indicador externo al modelo general, ya que en Cabo Pulmo participan un gran número de asociaciones civiles que realizan diversas actividades para el fortalecimiento de la capacidad adaptativa de la comunidad y el arrecife. Para esto, se realizó una revisión bibliográfica de las organizaciones activas en Cabo Pulmo y de sus acciones dentro del parque.

2.3 Resultados y discusión

2.3.1 *Indicador de exposición*

Se analizaron 3,618 registros diarios de alertas de blanqueamiento (CRW_BAA) de distintas categorías para las localidades de Cabo Pulmo, Huatulco e Islas Marietas (10,854 registros en total; Anexo 1). Con esto, se obtuvo el porcentaje de alerta anual por tipo de categoría para cada localidad, de acuerdo con las veces que se presentó una alerta y los días totales del año analizado (tabla II-4; Anexo 1). Se le asignó el porcentaje de mortalidad de 10% a la categoría de alerta 1, 20% a la categoría 2, 30% a la categoría 3, 40% a la categoría 4 y 80% a la categoría 5. Para Cabo Pulmo se presentaron 581 alertas de la categoría 1, 85 alertas de la categoría 2, 41 alertas de la categoría 3 y 54 alertas de la categoría 4, no se presentaron categorías 5 en ningún año de estudio (tabla II-4).

Tabla II-4. Se muestra el número de alertas diarias por categoría de CRW_BAA y porcentaje de alerta por tipo de categoría para cada año de estudio. También se muestra el total de alertas acumulado por categoría de alerta. Localidad arrecifal de Cabo Pulmo. Los años con evento ENSO se muestran con un asterisco.

% de mortalidad asociado →		10%		20%		30%		40%	
Tipo de alerta CRW_BAA→		Alerta 1		Alerta 2		Alerta 3		Alerta 4	
Año/días	Sin alerta	% de alerta		% de alerta		% de alerta		% de alerta	
2015*	252	65	17.8	19	5.2	20	5.5	9	2.5
2016*	272	86	23.5	8	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0
2017	303	52	14.2	10	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0
2018*	295	69	18.9	1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
2019*	324	40	11.0	1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
2020	308	58	15.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2021	290	62	17.0	13	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0
2022	298	59	16.2	8	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0
2023*	257	22	6.0	20	5.5	21	5.8	45	12.3
2024	258	68	20.5	5	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0
Total	2857	581		85		41		54	

La presencia de alertas categoría 4 en Cabo Pulmo (que representa una probabilidad alta de blanqueamiento con una mortalidad severa (>50%) en múltiples especies de coral), ocurrió durante dos eventos de ENSO en el 2015 y el 2023, siendo este último uno de los más fuertes experimentados a la fecha y que se documentó en muchos de los arrecifes en las costas mexicanas (Lopez-Perez *et al.*, 2024). Éste representó el cuarto evento de blanqueamiento de corales observable a nivel global, con una afectación del 84.4% de los arrecifes alrededor del mundo (Reimer *et al.*, 2024; <https://icriforum.org/4gbe/>). De igual manera, en Huatulco se registraron 75 eventos de alerta categoría 4 y 176 eventos para Islas Marietas (Anexo 1).

El porcentaje de ocurrencia de alertas de blanqueamiento en el periodo de tiempo analizado (2015-2024) para Cabo Pulmo fue de: 16.06% para la categoría de alerta 1, 2.3% para la categoría de alerta 2, 1.1% para la categoría de alerta 3 y para la categoría de alerta 4 fue de 1.5% (Anexo 1).

En la tabla II-5, se observa el Ea_t calculado a partir de la ecuación 2. Para Cabo Pulmo, el año 2023 presentó el valor de Ea_t máximo de 30.5%, seguido del periodo 2015-2016 (19.9% y 10.2%, respectivamente). Para Huatulco, el Ea_t máximo fue de 48.5% seguido de 30.4% y 25.1% (también durante el 2023, 2015 y 2016 respectivamente). Islas Marietas obtuvo un Ea_t máximo de 38.2%, seguido de 37.7% y 31.5% presentes en los mismos años que Cabo Pulmo y Huatulco. Lo cual corresponde con los eventos de blanqueamiento de coral a nivel global registrados en el periodo del 2014-2017, donde el 68.2% de los arrecifes del mundo experimentó blanqueamiento por estrés térmico (NOAA, 2025; López *et al.*, 2024; Alvarado *et al.*, 2025; Manzello *et al.*, 2025). Este evento fue registrado como el tercer evento de blanqueamiento de coral masivo a nivel global.

Tabla II-5. Porcentaje de exposición acumulada estimadas (Ea_t) y días analizados de CRW_BAA por año para la zona arrecifal de Cabo Pulmo, Huatulco e Islas Marietas. Se muestran en negritas los valores de exposición más altos en el periodo del 2015 al 2024. Los años con presencia de eventos ENSO se muestran con un asterisco.

Año	Días analizados por año	Porcentaje de exposición acumulada		
		Cabo Pulmo	Huatulco	Islas Marietas
2015*	365	19.9	30.4	37.7
2016*	366	10.2	25.1	31.5
2017	365	7.2	14.8	15
2018*	365	7.1	19.6	20.7
2019*	365	4.2	24.7	18.7
2020	366	5.8	17	13.7
2021	365	8.8	15.6	18.2
2022	365	7.5	7.3	12.5
2023*	365	30.5	48.5	38.2
2024	331	7.8	22.5	20.8
Total	3,618			

Para una mejor comparación del Ea_t entre localidades, se elaboró la figura II-3, donde se observan los valores máximos y mínimos por año, así como el efecto de la presencia de años con eventos ENSO intensos.

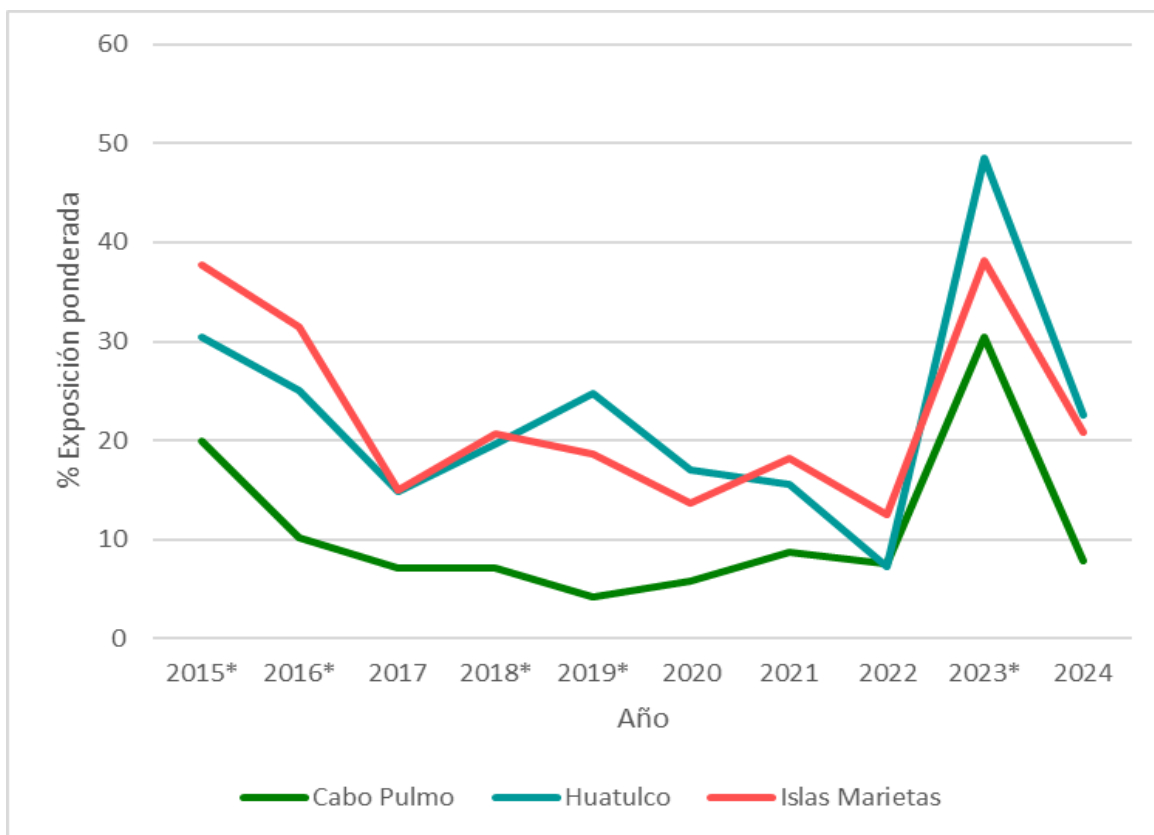


Figura II-3. Exposición anual acumulada (Ea_t) para las localidades arrecifales de Cabo Pulmo, Huatulco e Islas Marietas en los últimos 10 años. Los años con presencia de eventos ENSO se marcaron con un asterisco. Elaboración propia.

Se obtuvieron los estadísticos máximo, mínimo y mediana de la Ea_t para cada localidad. Con estos valores, se ponderó la Ea_t , donde Cabo Pulmo obtuvo un valor de 25.08%, Huatulco 43.4% y las Islas Marietas de 51.5% (tabla II-6). Este alto grado de exposición resultante en Islas Marietas, ya se ha detectado con anterioridad en la zona central del Pacífico mexicano, donde eventos como El Niño han ocasionado el blanqueamiento y la mortandad masiva de corales con pérdidas de más del 90% de la cobertura coralina (Carriquiry *et al.*, 2001; Lopez-Perez *et al.*, 2024).

Tabla II-6. Valores de Ea_t ponderada en tres localidades arrecifales: Cabo Pulmo, Huatulco e Islas Marietas. Se muestran los valores máximos, mínimos y mediana.

Estadísticos de Ea_t	Valores de Ea_t ponderada		
	Cabo Pulmo	Huatulco	Islas Marietas
Máximo	30.5	48.5	38.2
Mínimo	4.2	7.3	12.5
Mediana	7.6	21.0	19.7
E (0-100%)	25.0	43.4	51.5

Con estos valores de Ea_t ponderada, se obtuvo la proporción aritmética de la exposición (0-1) por medio de la regla de tres para cada localidad (tabla II-7), considerando, dado su resultado alto de Ea_t ponderada, a las Islas Marietas como $E=1$. Resultando en una exposición para Cabo Pulmo de **0.48** y para Huatulco de **0.84**.

Tabla II-7. Valores del cálculo de la proporción o relación lineal para la exposición a estrés por blanqueamiento de los arrecifes de Cabo Pulmo y Huatulco, con base en sus Ea_t ponderada.

Localidad	Ea_t ponderada	Exposición (0-1)
Islas Marieta	51.57	1
Cabo Pulmo	25.08	0.48
Huatulco	43.40	0.84

Es importante resaltar que la presencia de eventos de alerta por año (sin importar la categoría) analizadas aquí, representan un riesgo de blanqueamiento a nivel arrecifal. Estos eventos suelen estar seguidos por una reducción en procesos metabólicos importantes como la calcificación, crecimiento y reproducción (Mendes y Woodley, 2002), lo cual, sumado a la alta frecuencia pueden tener consecuencias a mediano plazo para la recuperación de las comunidades (Alvarado *et al.*, 2025).

Cabe mencionar que este indicador está orientado en resolver las necesidades de monitoreo del blanqueamiento en arrecifes, los umbrales tanto del indicador (algoritmo empleado) como de las potenciales respuestas (presencia de potencial estrés originando

blanqueamiento y mortalidad) están basados en múltiples fuentes, por lo que es de esperar potenciales resultados que pueden ser catalogados como falsos positivos (p. ej., eventos de alta temperatura que no dieron lugar a una respuesta sustentada por algún reporte y/o publicación sobre el tema). Además, este monitoreo está basado en análisis de series de tiempo usando ventanas de tiempo relativamente cortas (p. ej., datos diarios siendo filtrados semanalmente), resulta improbable que este indicador permita identificar efectos de CC a largo plazo sobre temperatura (i.e., un aumento monotónico en la TSM para toda la región), en cambio, está basado en la hipótesis de que el CC afecta directa e indirectamente procesos a escalas de tiempo menores (como estacionales, en este caso, decenales).

2.3.2 Indicador de sensibilidad social

Al analizar los valores de los componentes de la métrica de dependencia o sensibilidad social, observamos que todos son altos (Fig. II-4). El 87% de los encuestados no tienen otra opción de trabajo adicional a la que actualmente realizan en el parque, lo que coincide con el 78.7% que aseguró que en un futuro su trabajo actual será suficiente para mantener su estilo de vida. El 57.4% de encuestados no ha cambiado de trabajo en los últimos 5 años, lo que coincide con las ideas anteriores de seguridad laboral. Este nivel de dependencia laboral está relacionado con su percepción de aspectos inmediatos que pueden afectar su economía, minimizando la importancia de diversificar sus actividades laborales futuras dada la importancia de asegurar los ingresos diarios (Prins 2013; Lavign *et al.*, 2008; Wachinger *et al.*, 2013; Milanés-Salinas *et al.*, 2025).



Figura II-4. Gráficas de pastel mostrando el porcentaje de los diferentes indicadores de sensibilidad social para la comunidad de Cabo Pulmo. En a) se muestra si el encuestado tiene otra opción laboral además de la que realiza en el parque (ingresos externos), en b) si considera que su trabajo actual le asegurará un futuro (predilección de la ocupación actual) y en c) si ha laborado en más de un sitio en los últimos 5 años (estabilidad laboral).

En la tabla II-8, podemos observar los valores de referencia y los valores estimados evaluados en este trabajo de acuerdo con la ecuación 3. Brevemente, el primer término nos indica que la proporción de ocupaciones relacionadas con los servicios ecoturísticos es mayor, respecto a las no relacionadas, lo cual coincide con el segundo término, que resultó con el valor máximo estimado, indicando una alta dependencia de la comunidad hacia los servicios ecoturísticos. Bajo este contexto, esta alta dependencia podría representar un problema a futuro, ya que, a pesar de que el ecoturismo genera ingresos a las comunidades locales, es una actividad que tiene sus propios riesgos asociados, como la sensibilidad al tipo de cambio de moneda, el precio de los combustibles, desastres naturales, las pandemias, etc., los cuales pueden poner en riesgo el desarrollo de esta actividad, tal y como se ha estado realizando hasta la fecha (Zhao y Brent Ritchie, 2007).

Tabla II-8. Valores de referencia para cada término de la ecuación 3 y valores estimados en la evaluación de este trabajo (observados).

	$\frac{F}{F + NF}$	$\frac{N}{F + NF}$	$\frac{(r_{fn}/2) + 1}{r_{fn} + r_{nf} + 1}$	
Valores	1er término	2do término	3er término	S
Valores teóricos de referencia	0 a 1	0.5 a 1	0.5 a 0.75	0 a 0.75
Valores observados	0.68	1	0.7	0.48

Siguiendo con la ecuación 3, el tercer término explica la alta importancia y preferencia que le otorga la comunidad a las actividades relacionadas con los servicios ecoturísticos sobre cualquier otra actividad de subsistencia que pudieran estar realizando. Esta preferencia resulta en una fuente de ingresos poco confiable, sobre todo en comunidades como esta (hogares rurales o economías marginales) pero al complementar los ingresos obtenidos con otras opciones laborales, el riesgo económico puede disminuir (Tao and Wall, 2009).

Una vez que se obtuvieron los valores para cada término de la ecuación 3, la sensibilidad social para la comunidad de Cabo Pulmo resultante fue de 0.48, la cual puede considerarse una sensibilidad intermedia-alta, dados los valores de referencia. Este es un indicador de

alta dependencia económica de la comunidad sobre las actividades laborales que actualmente realizan.

2.3.3 Indicador de capacidad adaptativa

Los resultados de la correlación de Spearman (Anexo 3) mostraron dos relaciones entre variables de capacidad adaptativa positivas, esto es, las variables de tecnología y agencia humana ($r_s = 0.35$; $p < 0.05$), así como acceso al crédito y estilo de vida material ($r_s = 0.38$; $p < 0.05$). En este sentido se puede observar que la diversidad y calidad del equipo usado para laborar en el parque se ajusta al reconocimiento de los agentes causales que influyen en el bienestar del arrecife sin alterar sus funciones y la realización responsable de las actividades económicas (Álvarez del Castillo, 2012).

Por otro lado, el acceso al crédito se relaciona con el estilo de vida material, en este caso, los bienes materiales analizados son posesiones básicas para vivir o trabajar en Cabo Pulmo, como casa propia (la mayoría son residentes desde décadas atrás; Milanés-Salinas *et al.*, 2025), automóvil (no hay transporte público), etc. (Anexo 2), además, el poder acceder a un crédito representa un medio para solucionar imprevistos temporales o simplemente el poder de adquisición (Berthnal *et al.*, 2005). Al evaluar el indicador de infraestructura observamos que representa, en este caso, una constante (8 elementos de infraestructura de mediana escala permitida por la regulación del parque; anexo 2; CONANP, 2009) para todos los participantes. Esto resultó en un inconveniente al evaluar su peso con el ACP, ya que arroja un valor de cero. Dadas las características locales y de la comunidad del parque, el valor numérico de este indicador no limita su importancia real para la capacidad adaptativa, ya que se ha descrito que el acceso a una infraestructura básica en la comunidad representa un factor importante para una respuesta oportuna en cualquier contingencia (Adger, 2000; McClanahan *et al.*, 2008; Cinner *et al.*, 2012).

Para obtener los pesos de cada indicador de la capacidad adaptativa se usaron los eigenvalores de los tres primeros componentes principales, ya que éstos explican el 66% de la varianza (tabla II-9 y II-10).

Tabla II-9. Eigenvalores y porcentaje de la variación explicada por los diferentes componentes principales.

	Valor	%Varianza	% Acumulativo
CP1	0.31	30	30
CP2	0.21	20	50
CP3	0.16	16	66

Tabla II-10. Cargas factoriales absolutas, pesos y pesos normalizados de cada indicador de capacidad adaptativa. Las cargas factoriales superiores a 0.4 (en negritas) en cualquier componente principal se consideran, en general, como una contribución sustancial a dicho componente (Cinner et al., 2013).

	CP1	CP2	CP3	Peso	Peso normalizado
Eigenvalores →	0.31	0.21	0.16		
Capacidad de agencia humana	0.17	0.01	0.09	0.07	0.04
Capacidad de cambio	0.11	0.35	0.55	0.20	0.12
Movilidad ocupacional	0.11	0.47	0.58	0.23	0.14
Multiplicidad ocupacional	0.03	0.14	0.04	0.05	0.03
Estilo de vida material	0.13	0.07	0.06	0.06	0.04
Tecnología	0.29	0.06	0.13	0.12	0.08
Infraestructura	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Confianza	0.23	0.12	0.18	0.13	0.08
Acceso al crédito	0.55	0.59	0.37	0.35	0.22
Deudas	0.70	0.51	0.40	0.39	0.24

Se observa que fueron cuatro los indicadores que más contribuyen a explicar la varianza, estos son: la capacidad de cambio y la movilidad ocupacional (al segundo y tercer componente) así como acceso al crédito y deudas (primer y segundo componente).

Una vez establecidos los pesos de cada indicador, se multiplicaron por el valor promedio ponderado de cada indicador, se realizó la suma de los indicadores y así se obtuvo el índice de capacidad adaptativa de la comunidad (tabla II-11).

Tabla II-11. Valores promedio normalizados de los indicadores de capacidad adaptativa, peso normalizado y capacidad adaptativa total y desglosada (indicador).

Indicadores de capacidad adaptativa	Valor promedio normalizado	Peso normalizado	Capacidad adaptativa por indicador
Capacidad de agencia humana	0.46	0.04	0.02
Capacidad de cambio	0.34	0.12	0.04
Movilidad ocupacional	0.3	0.14	0.04
Multiplicidad ocupacional	0.26	0.03	0.01
Estilo de vida material	0.32	0.04	0.01
Tecnología	0.47	0.08	0.04
Infraestructura	0.5	0.00	0.00
Confianza	0.52	0.08	0.04
Acceso al crédito	0.72	0.22	0.16
Deudas	0.64	0.24	0.16
Capacidad Adaptativa de la comunidad			0.52

Al sumar todos los valores de cada variable, podemos observar que el valor de la capacidad adaptativa obtenido es de **0.52**.

Dado que el valor teórico de referencia máximo es 1, este valor de capacidad adaptativa nos indica que aproximadamente la mitad de la comunidad estudiada podría estar preparada para cualquier imprevisto que pueda afectar sus actividades laborales. Sin embargo, observando las variables evaluadas (tabla II-11), los valores más altos los tienen el acceso al crédito y las deudas (lo que puede ser proporcional), indicando que el 32% de la capacidad adaptativa se basa en la facilidad de conseguir un crédito. Dejando atrás a las demás variables con valores menores a 0.1, cuando el escenario ideal sería que todas pudieran equilibrarse. En este sentido, es importante conocer el contexto discursivo que rodea la situación de la comunidad en Cabo Pulmo, ya que existen conflictos sociales que no se analizan en este modelo y que pudieran estar afectando la capacidad adaptativa de la comunidad (Quintana-Bustamante, 2025).

Respecto a los resultados sobre el indicador de capital social, la revisión bibliográfica de las asociaciones y organizaciones activas actualmente en Cabo Pulmo para el momento del estudio (tabla II-12) permitió denotar el gran apoyo externo social y científico sobre la comunidad y el parque. Ya que se encuentran concentradas en un grupo de asociaciones

llamado Cabo Pulmo Vivo. Este organismo tiene bien establecidas las diversas líneas de trabajo por región, sus roles con la comunidad y el desarrollo y aplicación de actividades para el fortalecimiento de la capacidad adaptativa de la comunidad y del parque.

Tabla II-12. Organizaciones pertenecientes al grupo Cabo Pulmo Vivo, líneas de trabajo y rol en la comunidad (Fuente: <https://cabopulmovivo.org/integrantes/>)

Organización	Líneas de trabajo en la región de Cabo del Este	Rol con la comunidad en Cabo Pulmo
Pelagios Kakunjá Marine Conservation	Investigación sobre tiburones y depredadores tróficos en el Parque Nacional y zonas aledañas. Generación de información técnica para conservación y manejo.	• Participación en reuniones. • Apoyo a la coalición para la defensa del Parque frente a amenazas de desarrollos turísticos.
Pronatura Noroeste	• Fortalecimiento e impulso de acciones de inspección y vigilancia. • Construcción del Centro de Visitantes.	• Impulso a instrumentos de ordenamiento territorial. • Realización de estudios técnicos y seguimiento de MIAs y consultas públicas. • Seguimiento al fondo patrimonial.
UABCS	Universidad Autónoma de Baja California Sur.	• Monitoreo a largo plazo de los ecosistemas arrecifales de Cabo Pulmo y Cabo San Lucas. • Estudios de capacidad de carga. • Proyectos de restauración coralina. • Difusión de resultados en plataformas y publicaciones científicas. • Aporte de insumos técnicos y científicos para la toma de decisiones y defensa del Parque frente a proyectos turísticos.
Pelagios Kakunjá Marine Conservation	Investigación sobre tiburones y depredadores tróficos en el Parque Nacional y zonas aledañas. Generación de información técnica para conservación y manejo.	• Participación en reuniones. • Apoyo a la coalición para la defensa del Parque frente a amenazas de desarrollos turísticos.

Organización	Líneas de trabajo en la región de Cabo del Este	Rol con la comunidad en Cabo Pulmo
Amigos para la Conservación de Cabo Pulmo A.C.	- Fortalecimiento de socios y aliados del Parque. - Monitoreo de calidad de agua de mar. - Cabo Pulmo Recicla. - Monitoreo de tortugas. - Educación Ambiental.	- Vínculo con la comunidad. - Difusión de acciones de la coalición. - Apoyo en la revisión de MIAs. - Seguimiento en la elaboración e implementación de instrumentos de planeación territorial. - Integrantes del Grupo Núcleo para la actualización del Programa de Manejo del Parque Nacional Cabo Pulmo. - Integrantes del Grupo Núcleo de esta coalición.
CEMDA Centro Mexicano de Derecho Ambiental	- Participación y seguimiento a los procesos relacionados con los instrumentos de ordenamiento territorial y de recursos naturales en la región. - Implementación de acciones de litigio estratégico.	- Acompañamiento y asesoría legal en procesos de evaluación de impacto ambiental de los proyectos inmobiliarios y turísticos de la región. - Análisis legal de la gestión territorial y administrativa. - Participación en actividades de comunicación.
CICESE	Investigación científica para el Parque Nacional.	Aporte de insumos técnicos y científicos para la toma de decisiones de la coalición.
Comunidad local de Cabo Pulmo	- Participación en acciones e iniciativas de organizaciones de la sociedad civil. - Prestación responsable de servicios turísticos y brindar información ambiental a turistas. - Conservación mediante vigilancia, participación en el Consejo Asesor del Parque y otros foros para el desarrollo sustentable. - Organización comunitaria en el Comité de Desarrollo Local.	Participación en reuniones y toma de decisiones. Difusión y comunicación de las acciones de la coalición.

Organización	Líneas de trabajo en la región de Cabo del Este	Rol con la comunidad en Cabo Pulmo
Pronatura Noroeste	- Fortalecimiento e impulso de acciones de inspección y vigilancia. - Construcción del Centro de Visitantes.	- Impulso a instrumentos de ordenamiento territorial. - Realización de estudios técnicos y seguimiento de MIAs y consultas públicas. - Seguimiento al fondo patrimonial.
UABCS	Universidad Autónoma de Baja California Sur.	- Monitoreo a largo plazo de los ecosistemas arrecifales de Cabo Pulmo y Cabo San Lucas. - Estudios de capacidad de carga. - Proyectos de restauración coralina. - Difusión de resultados en plataformas y publicaciones científicas. - Aporte de insumos técnicos y científicos para la toma de decisiones y defensa del Parque frente a proyectos turísticos.

Además de las organizaciones que conforman a Cabo Pulmo Vivo, podemos encontrar algunas más que trabajan como aliados, por ejemplo, la Sociedad de Historia Natural Niparajá A.C, la cual ha participado a lo largo de los años con la comunidad de Cabo Pulmo (<https://niparaja.org/conservacion-marina/>), realizando actividades como: monitorear la autorización de desarrollos costeros en la zona de Cabo del Este, evaluar MIA en proyectos de desarrollo costero en zonas de influencia de las áreas naturales prioritarias, impulsar que en las comunidades adyacentes a Cabo Pulmo existan planes de ordenamiento territorial, colaborar con la CONANP y otras OSC para promover la adopción de lineamientos de evaluación de efectividad de manejo de las Áreas Naturales Protegidas, entre otras actividades.

Esto contrasta con algunas realidades, donde la comunidad ha comentado que todavía es necesaria la presencia continua del personal del parque (CONANP) y que las organizaciones de la sociedad civil que estuvieron activas en años anteriores, ahora se han mantenido en letargo (Anderson, 2019). A pesar de que actualmente hay 329 asociaciones civiles registradas para Baja California, solo 59 se encuentran activas y de ellas el 16.9% realizan actividades en alianzas o individualmente en Cabo Pulmo (CFAOSC, 2024).

2.3.4 Modelo de vulnerabilidad

La evaluación de vulnerabilidad (Ec. 1) de esta investigación comprende tres indicadores compuestos que por sí mismos y sus componentes proporcionan información específica de la comunidad residente en Cabo Pulmo (tabla II-13).

Tabla II-13. Valor de la vulnerabilidad socioecológica estimado. Se muestran también los valores de los indicadores del modelo de vulnerabilidad.

Indicador	Valor	Máximo
Exposición	0.48	1.0
+Sensibilidad	0.48	0.75
-Capacidad adaptativa	0.51	1.0
=Vulnerabilidad	0.44	0.75

Para poder observar mejor este valor, se elaboró la figura II-5, donde se describe la direccionalidad deseada de los indicadores (sensibilidad y capacidad adaptativa).

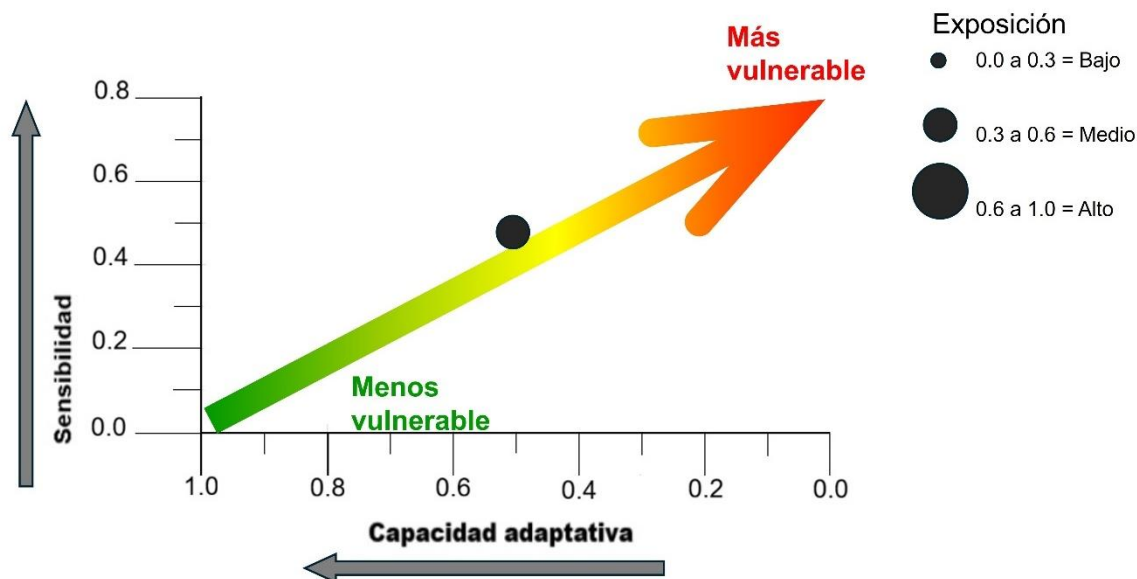


Figura II-5. Vulnerabilidad socioecológica de la comunidad residente en Cabo Pulmo (círculo gris). El tamaño del círculo hace referencia al valor de la exposición (medio). Los colores de la flecha de tendencia marcan el aumento del valor de la vulnerabilidad de acuerdo con la disminución de la capacidad adaptativa y al aumento de la sensibilidad social. Los valores de capacidad adaptativa están invertidos en el eje Y para demostrar su efecto en la vulnerabilidad.

El obtener una aproximación de la vulnerabilidad socioecológica de 0.44, demuestra una vulnerabilidad de la comunidad actual intermedia-alta, como respuesta a uno de los principales estresores de cambio climático. Este es un indicador que debe ser de gran consideración para estrategias económicas futuras, ya que la comunidad posee un perfil económico ecoturístico, con una alta dependencia a actividades permitidas en el parque sin diversas opciones de ingresos. Esta característica juega un papel importante en el desarrollo de adaptación sobre los posibles impactos futuros del CC (Cinner *et al.*, 2013; Pandey y Bardsley, 2015). Kirkby y colaboradores (2017) mencionan que la adaptación basada en la comunidad (proceso liderado por la misma comunidad) puede minimizar los impactos del CC (como los escenarios que se presentan en el capítulo 4 de este trabajo) al tener el poder de reducir su vulnerabilidad (mejorando su respuesta y adaptando ciertos aspectos como los identificados en este trabajo), sostener la economía y el desarrollo local. Además, el manejo y análisis de otros indicadores relacionados a la percepción social sobre el riesgo al cambio climático, permite detectar los fundamentos por los que la comunidad realiza actividades en pro del ambiente (y así minimizar su vulnerabilidad), lo cual puede fortalecer las bases utilizadas en el desarrollo de estrategias futuras para la comunidad (Milanés-Salinas *et al.*, 2025).

2.4 Conclusiones

- 1) La vulnerabilidad socioecológica evaluada en este capítulo es intermedia-alta, lo cual fija un precedente sobre la afectación del cambio climático para la comunidad de Cabo Pulmo y debe recibir la atención necesaria por parte de las autoridades competentes y por la comunidad.
- 2) Respecto a la exposición a estrés por blanqueamiento de coral en el arrecife de Cabo Pulmo es intermedia. De continuar las anomalías en la TSM por el CC podría presentarse un escenario de exposición mayor (p. ej., eventos ENSO más intensos y/o frecuentes), donde se han presentado blanqueamientos masivos que han afectado la integridad de la comunidad coralina y servicios ecosistémicos que brinda el arrecife.
- 3) La dependencia socioeconómica a las actividades laborales actuales en CP es alta. La mayoría de los residentes no considera necesaria la opción de otras fuentes de ingreso, lo cual aumenta su sensibilidad y disminuye su capacidad adaptativa al asignar una gran importancia a su trabajo en el parque.

- 4) La diversificación laboral como opción para minimizar la sensibilidad social puede ser una opción viable para la comunidad.
- 5) El apoyo de las asociaciones civiles aporta a los indicadores estudiados, pero es un factor que puede fortalecer la capacidad adaptativa de la comunidad.
- 6) El modelo propuesto proporciona una línea base para monitorear a futuro la comunidad y permite crear escenarios para tomar decisiones informadas sobre estrategias de adaptación
- 7) Analizar por separado los diferentes elementos que componen el índice de vulnerabilidad es una herramienta adicional de este modelo propuesto, ya que proporcionan información clave y específica sobre la estructura de la vulnerabilidad.

2.5 Anexos

Anexo 1

Número de alertas diarias por categoría de CRW_BAA y porcentaje de alerta al año por tipo de categoría. También se muestra la exposición a estrés por blanqueamiento de coral ponderado por el porcentaje de mortalidad asociado a cada categoría de alerta. Localidad arrecifal de Cabo Pulmo. Los años con evento El Niño se muestran de color azul.

	Porcentaje de mortalidad asociado →	0.1			0.2			0.3			0.4			0.8		
	Sin alerta	Alerta 1			Alerta 2			Alerta 3			Alerta 4			Alerta 5		
Año	No. Evento	No. Eventos	Porcentaje de alerta anual	Exposición ponderada	No. Eventos	Porcentaje de alerta anual	Exposición ponderada	No. Eventos	Porcentaje de alerta anual	Exposición ponderada	No. Eventos	Porcentaje de alerta anual	Exposición ponderada	No. Eventos	Días analizados	Ponderado acumulado
2015	252	65	17.81	6.50	19	5.21	3.80	20	5.48	6.00	9	2.47	3.60	0	365	19.9
2016	272	86	23.50	8.60	8	2.19	1.60	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	366	10.2
2017	303	52	14.25	5.20	10	2.74	2.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	365	7.2
2018	295	69	18.90	6.90	1	0.27	0.20	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	365	7.1
2019	324	40	10.96	4.00	1	0.27	0.20	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	365	4.2
2020	308	58	15.85	5.80	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	366	5.8
2021	290	62	16.99	6.20	13	3.56	2.60	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	365	8.8
2022	298	59	16.16	5.90	8	2.19	1.60	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	365	7.5
2023	257	22	6.03	2.20	20	5.48	4.00	21	5.75	6.30	45	12.33	18.00	0	365	30.5
2024	258	68	20.54	6.80	5	1.51	1.00		0.00	0.00		0.00	0.00	0	331	7.8
Total	2,857	581	16.06	58.10	85	2.35	17.00	41	1.13	12.30	54	1.49	21.60		3,618	
															máx	30.50
															min	4.20
															mediana	7.65
															E (0-100%)	25.081967

Número de alertas diarias por categoría de CRW_BAA y porcentaje de alerta al año por tipo de categoría. También se muestra la exposición a estrés por blanqueamiento de coral ponderado por el porcentaje de mortalidad asociado a cada categoría de alerta. Localidad arrecifal de Huatulco. Los años con evento El Niño se muestran con un asterisco.

	Porcentaje de mortalidad asociado →	0.1			0.2			0.3			0.4			0.8		
	Sin alerta	Alerta 1			Alerta 2			Alerta 3			Alerta 4			Alerta 5		
Año	No. Evento	No. Eventos	Porcentaje de alerta anual	Exposición ponderada	No. Eventos	Porcentaje de alerta anual	Exposición ponderada	No. Eventos	Porcentaje de alerta anual	Exposición ponderada	No. Eventos	Porcentaje de alerta anual	Exposición ponderada	No. Eventos	Días analizados	Ponderado acumulado
2015	145	164	44.93	16.40	28	7.67	5.60	28	7.67	8.40	0	0.00	0.00	0	365	30.40
2016	157	168	45.90	16.80	40	10.93	8.00	1	0.27	0.30	0	0.00	0.00	0	366	25.10
2017	226	130	35.62	13.00	9	2.47	1.80	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	365	14.80
2018	180	174	47.67	17.40	11	3.01	2.20	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	365	19.60
2019	182	139	38.08	13.90	24	6.58	4.80	20	5.48	6.00	0	0.00	0.00	0	365	24.70
2020	196	170	46.45	17.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	366	17.00
2021	209	156	42.74	15.60	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	365	15.60
2022	292	73	20.00	7.30	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	365	7.30
2023	166	83	22.74	8.30	21	5.75	4.20	20	5.48	6.00	75	20.55	30.00	0	365	48.50
2024	174	111	33.53	11.10	24	7.25	4.80	22	6.65	6.60	0	0.00	0.00	0	331	22.50
Total	1,927	1,368	37.81	136.80	157	4.34	31.40	91	2.52	27.30	75	2.07	30.00	0	3,618	
															máx	48.5
															min	7.3
															mediana	21.05
															E (0-100%)	43.402062

Número de alertas diarias por categoría de CRW_BAA y porcentaje de alerta al año por tipo de categoría. También se muestra la exposición a estrés por blanqueamiento de coral ponderado por el porcentaje de mortalidad asociado a cada categoría de alerta. Localidad arrecifal de Islas Marietas. Los años con evento El Niño se muestran con un asterisco.

	Porcentaje de mortalidad asociado →	0.1			0.2			0.3			0.4			0.8		
	Sin alerta	Alerta 1			Alerta 2			Alerta 3			Alerta 4			Alerta 5		
Año	No. Evento	No. Eventos	Porcentaje de alerta anual	Exposición ponderada	No. Eventos	Porcentaje de alerta anual	Exposición ponderada	No. Eventos	Porcentaje de alerta anual	Exposición ponderada	No. Eventos	Porcentaje de alerta anual	Exposición ponderada	No. Eventos	Días analizados	Ponderado acumulado
2015	222	47	12.88	4.70	19	5.21	3.80	16	4.38	4.80	61	16.71	24.40	0	365	37.7
2016	226	59	16.12	5.90	23	6.28	4.60	22	6.01	6.60	36	9.84	14.40	0	366	31.5
2017	236	108	29.59	10.80	21	5.75	4.20	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	365	15
2018	245	67	18.36	6.70	23	6.30	4.60	26	7.12	7.80	4	1.10	1.60	0	365	20.7
2019	246	74	20.27	7.40	22	6.03	4.40	23	6.30	6.90	0	0.00	0.00	0	365	18.7
2020	248	99	27.05	9.90	19	5.19	3.80	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	366	13.7
2021	244	79	21.64	7.90	23	6.30	4.60	19	5.21	5.70	0	0.00	0.00	0	365	18.2
2022	260	85	23.29	8.50	20	5.48	4.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	365	12.5
2023	225	41	11.23	4.10	20	5.48	4.00	15	4.11	4.50	64	17.53	25.60	0	365	38.2
2024	217	62	18.73	6.20	21	6.34	4.20	20	6.04	6.00	11	3.32	4.40	0	331	20.8
Total	2369	721	19.93	61.80	211	5.83	34.00	141	3.90	31.80	176	4.86	40.40		3618	
															máx	37.7
															min	12.5
															mediana	18.45
															E (0-100%)	48.938992

Anexo 2

Nombre de las variables indicadoras, definición, periodicidad de tiempo sugerida para monitorear o evaluar, tendencia deseable sugerida, ámbito que evalúa la variable, unidades del indicador, fuente de obtención del indicador y escala.

Variable indicadora	Definición	Periodicidad	Tendencia deseable	Ámbito evaluado	Unidades del indicador	Fuente	Escala
Capacidad de agencia humana	Reconocimiento de los agentes causales que impactan el arrecife e influyen en la disponibilidad para laborar	Semestral	Aumento	Medido por el contenido de respuestas a preguntas sobre lo que podría influir sobre el bienestar del arrecife (eventos climáticos extremos, p ej.: blanqueamiento) y actividades con el arrecife (impactos antropogénicos)	Reconoce los agentes - 1 No los reconoce - 0	Encuesta/entrevista	Local
Capacidad de cambio	Capacidad para anticiparse al cambio y desarrollar estrategias de respuesta	Anual	Aumento	Evalúa las respuestas obtenidas a preguntas abiertas relacionadas con un hipotético descenso del 50% en la afluencia de turistas	• Nada - 4 • En poca medida- 3 • Moderadamente – 2 • En gran medida – 1 • No sé – 0 • Si – 0 • No – 1	Encuesta/entrevista	Local

Variable indicadora	Definición	Periodicidad	Tendencia deseable	Ámbito evaluado	Unidades del indicador	Fuente	Escala
Movilidad ocupacional	Estabilidad laboral	Anual	Aumento	Indica si el encuestado cambió de trabajo en los últimos cinco años y prefirió su ocupación actual	• Si – 1 • No – 0	Encuesta/ entrevista	Local
Multiplicidad ocupacional	Multiplicidad ocupacional	Anual	Aumento	El número total de personas con empleo en el hogar	• Q1 – 1 • Q2 – 2 • Q3 – 3 y 4	Encuesta/ entrevista	Local
Estilo de vida (material)	Estilo de vida según determinados bienes materiales básicos	Anual	Aumento	Medido mediante el análisis factorial de si los encuestados tenían 10 bienes materiales, como vehículo, electricidad y el tipo de paredes, techo y suelo.	• Q1 – 1 a 3 • Q3 – 4 a 10	Encuesta/ entrevista	Local
Tecnología	Tecnología o infraestructura	Anual	Aumento	Medida como la diversidad/equipo usado para trabajar, incluyendo si es propio	• Si – 1 • No – 0	Encuesta/ entrevista	Local

Variable indicadora	Definición	Periodicidad	Tendencia deseable	Ámbito evaluado	Unidades del indicador	Fuente	Escala
Infraestructura	Infraestructura de la comunidad	Anual	Aumento	Medida mediante el análisis factorial de 8 elementos de infraestructura: clínica médica, médico residente, primaria, fosa séptica, mercado (local), restaurantes (local), transporte público y camino de acceso pavimentado. Estos 8 elementos de infraestructura cumplirían con el reglamento del parque.	min = 0; max = 8	Encuesta/entrevista	Local
Confianza	Confianza personal de los residentes	Anual	Aumento	Medida como la media de las respuestas en escala Likert a preguntas sobre el grado de confianza de los encuestados en los miembros de la comunidad, los líderes locales, la policía y el gobierno local	• Nada - 1 • En poca medida- 2 • Moderadamente – 3 • En gran medida – 4 • No sé - 0	Encuesta/entrevista	Local

Variable indicadora	Definición	Periodicidad	Tendencia deseable	Ámbito evaluado	Unidades del indicador	Fuente	Escala
Acceso al crédito	Acceso a obtener un crédito	Semestral	Aumento	Medido como si el encuestado consideraba que podía acceder al crédito a través de instituciones formales o medios informales (por ejemplo, familia, amigos, intermediarios).	• Si – 1 • No – 0	Encuesta/entrevista	Local
Deudas	Deudas	Semestral	Disminuya	Medida como si el encuestado tenía o no una deuda de más de 1 semana de salario	• Si – 0 • No – 1	Encuesta/entrevista	Local
F	NA	Anual	Disminuya	Número de hogares que dependen de ocupaciones relacionadas con los servicios ecoturísticos	mín = 1; max = 47	Encuesta/entrevista	Local
NF	NA	Anual	Aumento	Número de hogares que dependen de una ocupación no relacionada con los servicios ecoturísticos	mín = 1; max = 47	Encuesta/entrevista	Local
N	NA	-	Aumento	Número de hogares encuestados	47	-	Local

Variable indicadora	Definición	Periodicidad	Tendencia deseable	Ámbito evaluado	Unidades del indicador	Fuente	Escala
rfn	NA	Anual	Disminuya	El número de veces que las ocupaciones relacionadas con los servicios ecoturísticos se clasificaron por encima de las ocupaciones no relacionadas con él (normalizado por el número de hogares)	Numérico	Encuesta/ entrevista	Local
rnf	NA	Anual	Aumento	El número de veces que las ocupaciones no relacionadas con los servicios ecoturísticos se clasificaron por encima de las ocupaciones relacionadas con él (normalizado por el número de hogares)	Numérico	Encuesta/ entrevista	Local

Anexo 3

Matriz de correlación de Spearman de las variables de capacidad adaptativa social. Se muestran en negritas las correlaciones significativas ($r_s > 0.1$; $p < 0.05$)

	Capacidad de agencia humana	Capacidad de cambio	Movilidad ocupacional	Multiplicidad ocupacional	Estilo de vida (material)	Tecnología	Infraestructura	Confianza	Acceso al crédito	Deudas
Capacidad de agencia humana	1	0.784	0.636	0.82	0.684	0.0168	-	0.152	0.377	0.0139
Capacidad de cambio	0.0415	1	0.06	0.669	0.433	0.983	-	0.788	0.122	0.195
Movilidad ocupacional	0.0715	0.279	1	0.6467	0.878	0.689	-	0.563	0.564	0.2
Multiplicidad ocupacional	0.0344	-0.045	0.0693	1	4.07E-06	0.8737	-	0.3	0.704	0.303
Estilo de vida (material)	0.0614	0.1182	-0.023	0.6674	1	0.742	-	0.0644	0.007	0.5775
Tecnología	0.3507	-0.0031	0.0604	0.024	0.0498	1	-	0.008	0.111	0.156
Infraestructura	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
Confianza	-0.2146	0.0407	0.0874	-0.156	-0.2748	-0.3827	-	1	0.042	0.304
Acceso al crédito	0.1333	0.231	-0.0871	0.0575	0.3882	0.2375	-	-0.3004	1	0.329
Deudas	-0.3312	-0.1945	0.1924	0.1551	-0.0843	-0.2123	-	0.1547	-0.1471	1

2.6 Referencias

- Aburto-Oropeza, O., Erisman, B., Galland, G.R., Mascareñas-Osorio, I., Sala, E., Ezcurra, E., (2011). Large recovery of fish biomass in a No-take marine reserve. *PLoS One* 6 (8), e23601. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023601>
- Adger, N. W. (2000). Social and ecological resilience: Are they related? *Progress in Human Geography*, 24(3), 347–364. <https://doi.org/10.1191/030913200701540465>
- Adger, W.N., (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions* 16, 268–281.
- Alvarado, J. J., Quesada-Perez, F., Solano, M. J., Calvo-Fong, M., & Mena, S. (2025). Impact of the 2023–2024 ENSO Event of the North Pacific Coral Reefs of Costa Rica. *Diversity*, 17(11), 791. <https://doi.org/10.3390/d17110791>
- Álvarez del Castillo, P. (2012). Capacidad de carga turística por buceo en el Parque Nacional Cabo Pulmo. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional.
- Anderson, R. B. (2019). Beyond “Success”: Community, Governance, and the Future of Cabo Pulmo National Park. *Human Organization*, 78(2), 147–157. <https://doi.org/10.17730/0018-7259.78.2.147>
- Bernthal, M.J., Crockett, D., Rose, R.L. (2005). Credit Cards as Lifestyle Facilitators. *Journal of Consumer Research*, 32: 130–145. <https://doi.org/10.1086/429605>
- Cariño, M., Valle, E., Monteforte, M., Arizpe, O., Aceves, J.S., (2008). La creación del Área Natural Protegida: Actores, procesos y retos. In: *Turismo y sustentabilidad en Cabo Pulmo, Baja California Sur*. First ed. San Diego State University, Universidad Autónoma de Baja California and Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, San Diego, p. 316.
- Carriquiry, J., A., Cupul-Magaña, F., Rodríguez Zaragoza & Medina-Rosas, P. (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: 237-249.
- Challenger, A., Bocco, G., Equihua, M., Chavero, E. L., & Maass, M. (2014). La aplicación del concepto del sistema socio-ecológico: alcances, posibilidades y limitaciones en la gestión ambiental de México. *Investigación Ambiental: Ciencia y Política Pública*, 6(2), 1-21.
- Cinner, J. E., McClanahan, T. R., Graham, N. A. J., Daw, T. M., Maina, J., Stead, S. M., Wamukota, A., Brown, K., & Bodin, Ö. (2012). Vulnerability of coastal communities to key impacts of climate change on coral reef fisheries. *Global Environmental Change*, 22(1), 12–20. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.09.018>
- Cinner, J.E., Huchery, C., Darling, E.S., Humphries, A.T., Graham, N.A.J., Hicks, C.C., Marshall, N., & McClanahan, T.R. (2013) Evaluating Social and Ecological Vulnerability of Coral Reef Fisheries to Climate Change. *PLoS ONE* 8(9): e74321. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0074321>
- Comisión de Fomento de las Actividades de las Organizaciones de la Sociedad Civil. 2024. Documentos de consulta. <http://www.corresponsabilidad.gob.mx/index.php/consulta/guia-para-consultar-el-listado-de-osc-inscritas-con-objeto-social>
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, (CONANP). 2009. Programa de Conservación y manejo Parque Nacional Cabo Pulmo. CONANP, México.
- Cupul-Magaña, A. L., Aranda-Mena, O. S., Medina-Rosas, P. y Vizcaíno-Ochoa, V. (2000). Comunidades coralinas de las Islas Marietas, Bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit, México. 2(1): 15-22.

- Cutter, S.L., (1996). Vulnerability to environmental hazards. *Progress in Human Geography* 20, 529–539.
- Findlay, H. S., Feely, R. A., Jiang, L.-Q., Pelletier, G., & Bednaršek, N. (2025). Ocean Acidification: Another Planetary Boundary Crossed. *Global Change Biology*, 31(6), e70238. <https://doi.org/10.1111/gcb.70238>
- GIZ. (2016). El Libro de la Vulnerabilidad. Concepto y lineamientos para la evaluación estandarizada de la vulnerabilidad.
- Kirkby, P., Williams, C. & Huq, S. (2017) Community-based adaptation (CBA): adding conceptual clarity to the approach and establishing its principles and challenges. *Clim Dev* 10(7):577–589
- Lavign, F., DeCoster, B., Juvin, N., Flohic, F., Gaillard, J.C., Texier, P., Morin, J., Sartohadi, J. (2008). People's behaviour in the face of volcanic hazards: Perspective from Javanese communities, Indonesia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 172 (3-4), 273–287. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2007.12.013>.
- Leslie, H. M., Basurto, X., Nenadovic, M., Sievanen, L., Cavanaugh, K. C., Cota-Nieto, J. J., Erisman, B. E., Finkbeiner, E., Hinojosa-Arango, G., Moreno-Báez, M., Nagavarapu, S., Reddy, S. M. W., Sánchez-Rodríguez, A., Siegel, K., Ulibarria-Valenzuela, J. J., Weaver, A. H., & Aburto-Oropeza, O. (2015). Operationalizing the social-ecological systems framework to assess sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(19), 5979–5984. <https://doi.org/10.1073/pnas.1414640112>
- Liu, G., Heron, S. F., Eakin, C. M., Muller-Karger, F. E., Vega-Rodriguez, M., Guild, L. S., De La Cour, J. L., Geiger, E. F., Skirving, W. J., Burgess, T. F. R., Strong, A. E., Harris, A., Maturi, E., Ignatov, A., Sapper, J., Li, J., & Lynds, S. (2014). Reef-Scale Thermal Stress Monitoring of Coral Ecosystems: New 5-km Global Products from NOAA Coral Reef Watch. *Remote Sensing*, 6(11), 11579–11606. <https://doi.org/10.3390/rs6111579>
- López-Pérez, A., Granja-Fernández, R., Ramírez-Chávez, E., Valencia-Méndez, O., Rodríguez-Zaragoza, F. A., González-Mendoza, T., & Martínez-Castro, A. (2024). Widespread Coral Bleaching and Mass Mortality of Reef-Building Corals in Southern Mexican Pacific Reefs Due to 2023 El Niño Warming. *Oceans*, 5(2), 196–209. <https://doi.org/10.3390/oceans5020012>
- Maina, J., Kithiia, J., Cinner, J., Neale, E., Noble, S., Charles, D., & Watson, J. E. M. (2016). Integrating social–ecological vulnerability assessments with climate forecasts to improve local climate adaptation planning for coral reef fisheries in Papua New Guinea. *Regional Environmental Change*, 16(3), 881–891. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0807-0>
- Mamauag, S. S., Aliño, P. M., Martinez, R. J. S., Muallil, R. N., Doctor, M. V. A., Dizon, E. C., Geronimo, R. C., Panga, F. M., & Cabral, R. 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, 381–393. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2013.07.007>
- Manzello, D. P., Mark Eakin, C., & Glynn, P. W. (2017). Effects of Global Warming and Ocean Acidification on Carbonate Budgets of Eastern Pacific Coral Reefs. En P. W. Glynn, D. P. Manzello, & I. C. Enochs (Eds.), *Coral Reefs of the Eastern Tropical Pacific: Persistence and Loss in a Dynamic Environment* (pp. 517–533). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-7499-4_18
- Manzello, D. P., Cuning, R., Karp, R. F., Baker, A. C., Bartels, E., Bonhag, R., Borreil, A., Bourque, A., Brown, K. T., Bruckner, A. W., Corbett, B., D'Alessandro, M., Dahlgren, C., Dilworth, J., Geiger, E., Gilliam, D. S., Gomez, M., Hanson, G., Harrell, C., ... Williamson, O. M. (2025). Heat-driven functional extinction of Caribbean *Acropora*

- corals from Florida's Coral Reef. *Science*, 390(6771), 361–366. <https://doi.org/10.1126/science.adx7825>
- Martínez-Salgado, C., (2012). El muestreo en investigación cualitativa: Principios básicos y algunas controversias. *Ciencia Saúde Coletiva* 17 (3), 613–619. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232012000300006>.
- McClanahan, T. R., Cinner, J. E., Maina, J., Graham, N. A. J., Daw, T. M., Stead, S. M., Wamukota, A., Brown, K., Ateweberhan, M., Venus, V., & Polunin, N. V. C. (2008). Conservation action in a changing climate. *Conservation Letters*, 1(2), 53–59. <https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2008.00008.1.x>
- Milanes-Salinas, M. de los Á., Norzagaray, C. O., Seingier, G., Gómez-Hernández, G., Zepeda-Domínguez, J. A., & Beltrán-Morales, L. F. (2025). Drivers of pro-environmental behaviors and risk perception to climate change in small coastal communities: An insight from the Mexican Pacific. *Environmental Development*, 55, 101194. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2025.101194>
- Mendes, J.M. & Woodley, J.D., (2002). Effect of the 1995-1996 bleaching event on polyp tissue depth, growth, reproduction and skeletal band formation in *Montastraea annularis*. *Marine Ecology Progress Series*, 235: 93-102.
- Morzaria-Luna, H. N., Turk-Boyer, P., & Moreno-Baez, M. (2014). Social indicators of vulnerability for fishing communities in the Northern Gulf of California, Mexico: Implications for climate change. *Marine Policy*, 45, 182–193. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2013.10.013>
- Nguyen, T. T. X., Bonetti, J., Rogers, K., & Woodroffe, C. D. (2016). Indicator-based assessment of climate-change impacts on coasts: A review of concepts, methodological approaches and vulnerability indices. *Ocean & Coastal Management*, 123, 18–43. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.11.022>
- NOAA. 2025. "Current Global Bleaching: Status Update & Data Submission." National Oceanic and Atmospheric Administration. https://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/research/coral_bleaching_report.php
- Pandey, R., & Bardsley, D. K. (2015). Social-ecological vulnerability to climate change in the Nepali Himalaya. *Applied Geography*, 64, 74–86. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.09.008>.
- Prins, G. (2013). *Threats without Enemies, Facing Environmental Security*, 0 ed., vol. 17. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315066196>
- Quintana Bustamante, R., (2022). “Ya no necesitamos ir a pescar”: Turistificación, terciarización económica y reconfiguraciones socio-ambientales en el Parque Nacional Cabo Pulmo, Baja California Sur (México). *Áreas Naturales Protegidas Scripta*. 8 (2), 17–43. <https://doi.org/10.18242/anpscripta.2022.08.08.02.0002>.
- Quintana-Bustamante, R., (2025). Power, Discourses, and Conservation in Cabo Pulmo National Park, Mexico. *Conservation and Society*. doi: 10.4103/cs.cs_10_24
- Reimer, J.D., Peixoto, R.S., Davies, S.W., Peixoto R.S., Davies S.W., Traylor-Knowles N., Short M.L., Cabral-Tena R.A., Burt J.A., Pessoa I., Banaszak A.T., Winters R.S., Moore T., Schoepf V., Kaullysing D., Calderon-Aguilera L.E., Wörheide G., Harding S., Munbodhe V., Mayfield A., Ainsworth T., Vardi T., Eakin C.M., Pratchett M.S., Voolstra C.R. (2024). The Fourth Global Coral Bleaching Event: Where do we go from here?. *Coral Reefs* 43, 1121–1125. <https://doi.org/10.1007/s00338-024-02504-w>
- Reyes-Bonilla, H., L. Calderón-Aguilera, G. Cruz-Piñón, P. Medina-Rosas, R. A. Pérez, M. Herrero, G. Leyte-Morales, A. Cupul-Magaña & J. Carriquiry. (2005). Atlas de corales pétreos (Anthozoa: Scleractinia) del Pacífico Mexicano. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. México. 116 p.

- Reyes-Bonilla, H., Cárdenas, P., Calderón-Aguilera, L., Ricárdez, C., Fernández-Rivera Melo, F., Frausto, T., Salguero, B., Moreno-Sánchez, X., Torres, M., Orión, N.-L., Petatán, D., (2014). Servicios ambientales de arrecifes coralinos: El caso del Parque Nacional Cabo Pulmo, B.C.S.
- Reyna-Fabián, Mariana, Espinoza, Alejandro, Seingier, Georges, Ortiz-Lozano, Leonardo, & Espejel, Ileana. (2018). De la evaluación ecológica a la socio-ecológica: la vulnerabilidad de los arrecifes de coral ante los factores de estrés asociados al cambio climático. *Sociedad y ambiente*, (17), 59-92.
- Rife, A.N., Erisman, B., Sanchez, A., Aburto-Oropeza, O. (2013). When good intentions are not enough ... Insights on networks of "paper park" marine protected areas. *Conservation Letters* 6 (3), 200–212. <https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2012.00303.x>.
- Pandey R. and Bardsley D.K. 2015. Social-ecological vulnerability to climate change in the Nepali Himalaya. *Applied Geography*. 64: 74-86. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.09.008>
- Skirving, W., Marsh, B., De La Cour, J., Liu, G., Harris, A., Maturi, E., Geiger, E., & Eakin, C. M. (2020). Coral Temp and the Coral Reef Watch Coral Bleaching Heat Stress Product Suite Version 3.1. *Remote Sensing*, 12(23), 3856. <https://doi.org/10.3390/rs12233856>
- Tao, T.CH. & Wall, G. (2009) Tourism as a sustainable livelihood strategy. *Tourism Management* 30: 90–98.
- Treviño-Aguilar, D., Almendarez-Hernandez, L., Zepeda-Domínguez, J.A., (2019). Evaluación Integral del Parque Nacional Cabo Pulmo. In: *Economía, manejo y conservación en áreas protegidas de México*. First ed., vol. 1. Universidad Autónoma de Baja California Sur and Universidad Autónoma Chapingo, pp. 211–252.
- Wachinger, G., Renn, O., Begg, C., Kuhlicke, C. (2013). The risk perception paradox—implications for governance and communication of natural hazards. *Risk Anal.* 33 (6), 1049–1065. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2012.01942.x>
- Zhao, W., Brent, Ritchie JR (2007) Tourism and poverty alleviation: an integrative research framework. *Current Issues in Tourism* 10(2 & 3): 119–143

Capítulo 3. Drivers of pro-environmental behaviors and risk perception to climate change in small coastal communities: An insight from the Mexican Pacific.

María de los Ángeles Milanés-Salinas, Carlos Orión Norzagaray, Georges Seingier, Guadalupe Gómez-Hernández, José Alberto Zepeda-Domínguez, Luis Felipe Beltrán-Morales.

Capítulo publicado en *Environmental Development* 55 (2025) disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2025.101194>

Resumen

Enfrentar el cambio climático (CC) requiere acciones orientadas a mejorar el medio ambiente, conocidas como comportamiento proambiental (PEB), las cuales son particularmente relevantes en comunidades pequeñas. Sin embargo, se ha propuesto que las acciones relacionadas con el PEB deben estar vinculadas a un estado de conciencia en el que las personas perciban el riesgo del CC (RP) como una amenaza real para su medio ambiente. Este estudio se orienta a investigar cómo una pequeña comunidad, económicamente dependiente de los servicios de los arrecifes de coral, percibe el CC, si reconoce las amenazas sobre su sustento, así como identificar los factores que impulsan la RP y el PEB. Utilizamos datos de 47 encuestas realizadas entre adultos económicamente activos de la comunidad costera que vive en el Parque Nacional Cabo Pulmo (Pacífico mexicano), que representan alrededor del 75 % de la población de la comunidad. Nuestros resultados indican que la población estudiada tiene una definición vaga del CC, asociando sus impactos principalmente con el aumento de la temperatura, probablemente influenciada por la difusión de los medios de comunicación. Las asociaciones entre las variables revelaron que el PEB está motivado principalmente por el cumplimiento de las normas del parque y el mantenimiento de sus medios de subsistencia cotidianos, más que por la RP u otras amenazas a los arrecifes de coral. Esto se explicó por el hecho de que perciben el CC como una amenaza futura, ya que no han sido testigos de impactos negativos significativos

del CC durante el tiempo que llevan viviendo en el arrecife. Las percepciones en las comunidades pequeñas pueden ser muy variables y estar influenciadas por múltiples factores, principalmente las amenazas percibidas priorizan los impactos económicos inmediatos sobre los riesgos ambientales a largo plazo. El uso de modelos adaptados al contexto cognitivo-cultural local ayuda a identificar las causas subyacentes de su RP y cómo adaptarse mejor a las amenazas del CC.



Drivers of pro-environmental behaviors and risk perception to climate change in small coastal communities: An insight from the Mexican Pacific

María de los Angeles Milanes-Salinas ^a, Carlos Orion Norzagaray ^{a,*}, Georges Seingier ^b, Guadalupe Gomez-Hernandez ^b, Jose Alberto Zepeda-Domínguez ^b, Luis Felipe Beltran-Morales ^c

^a *Instituto de Investigaciones Oceanologicas (IIIO), Universidad Autonoma de Baja California, Carretera Ensenada-Tijuana No. 3917, Fracc. Playitas, ' C.P. 22860, Ensenada, Mexico*

^b *Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autonoma de Baja California, Carretera Ensenada-Tijuana No. 3917, Fracc. Playitas, C.P. 22860, ' Ensenada, Mexico*

^c *Centro de Investigaciones Biologicas del Noroeste S.C., Km. 1 Carretera a San Juan de La Costa "El Comitan" La Paz, C.P. 23205, La Paz, Mexico.*

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Keywords: Pro-environmental behavior, Coastal communities, Climate change, Cabo Pulmo.

Addressing climate change (CC) requires actions oriented at improving the environment, known Risk perception as pro-environmental behavior (PEB), which are particularly relevant in small communities. However, it has been proposed that PEB-related actions must be linked to a state of awareness where people perceive the risk of CC (RP) as a threat to their environment. This study is oriented to investigate how a small community, economically dependent on coral reef services, perceives CC, whether it recognizes the threats to its livelihood, and to identify the factors that drive RP and PEB. We used data from 47 surveys conducted among economically active adults from the coastal community living in Cabo Pulmo National Park (Mexican Pacific), representing around 75% of the community population. Our results indicate that the population studied has a vague definition of CC, associating its impacts primarily with temperature increases, likely influenced by media dissemination. Variable associations revealed that PEB is mainly motivated by compliance with park regulations and sustain their daily livelihoods, rather than RP or other coral reef threats. This was explained as them perceiving CC as a future threat, as they have not witnessed significant CC negative impacts during their time living in the reef. Perceptions in small communities can be highly variable and influenced by multiple factors, mainly threats perceived prioritize immediate economic impacts over longer-term environmental risks. The use of models adapted to the local cognitive-cultural context helps to identify the underlying causes for their RP and how to better adapt to CC threats.

* Corresponding author.

E-mail address: orion.norzagaray@uabc.edu.mx (C.O. Norzagaray).

<https://doi.org/10.1016/j.envdev.2025.101194>

Received 1 October 2024; Received in revised form 21 February 2025; Accepted 24 February 2025

Available online 25 February 2025. 2211-4645/© 2025 Published by Elsevier B.V.

Introduction

Climate change (CC) has become a global threat to coastal communities (McMichael *et al.*, 2006; IPCC, 2023), with temperature increase and sea level rise being the main recognized effects. These effects have direct and indirect impacts on ecosystems. For example, higher temperatures lead to coral bleaching, which is the most reported direct and immediate effect, impacting coral diversity and composition. Depending on their frequency and intensity, these changes could affect the coral reef framework and related ecosystem services indirectly (sand generation, food provision, etc.). Consequently, these cascade effects of CC will impact economic activities (Cinner *et al.*, 2012; Reyna-Fabian *et al.*, 2018; Bradley *et al.*, 2020), including the tourism industry. These threats from CC require responses from society, for which strategies aimed at both mitigating (to diminish impacts) and adapting communities dependent on vulnerable natural resources have been proposed (Adger *et al.*, 2005; Nelson *et al.*, 2007; Lachapelle and Albrecht, 2019; Simpson *et al.*, 2021). It has been suggested that these strategies must be addressed by proposing actions at the community level, and many studies have highlighted the importance of these local actions to cope CC (Salvadeo *et al.*, 2021; Adhikari and Taylor, 2012; Cinner *et al.*, 2012; Reser and Bradley, 2020; McNamara *et al.*, 2020). For example, these ground-level actions have been included as part of the United Nations' strategy for CC adaptation, where it is emphasized that adaptations should focus on the local level (Goal 13; UN, 2023a).

In small coastal communities, local actions are more relevant than those at the city or country levels, because adaptation actions can have a direct impact on local marine resources on which these communities economically depend, such as tourism activities in coral reefs. Therefore, the capacity to adapt their economic activities to reduce the impacts of CC on their quality of life is essential (Cinner *et al.*, 2012; Reyna-Fabian *et al.*, 2018; Bradley *et al.*, 2020; Aslam and Rana, 2022). The way in which communities adapt their economic activities has been linked to how they perceive or understand the environment in which they live, their place attachment, and risks and threats they face (O'Connor *et al.*, 1999; Gosling and Williams, 2010). Over the last two decades, there has been a significant effort to understand the psychological drivers that promote activities for environmental care (pro environmental behaviors; PEB), specifically to understand how people think and try to predict their risk perception (Asare-Kyei *et al.*, 2017; Van Der Linden, 2015; Van Valkengoed and Steg, 2019; Bradley *et al.*, 2020; Reser and Bradley, 2020; Gholamrezai *et al.*, 2021). As a result of these

efforts, many models and indicators have been proposed to identify those drivers, but the recommendations on strategies show a similar pattern, risk perception to CC (RP) is an important part of this process (Siegrist and Arvai, 2020). This means that understanding the cognitive, cultural and sociodemographic factors that influence RP should be the first step in developing adaptation strategies and pro-environmental behaviors (PEB) within communities. To evaluate RP and PEB, previous studies have mostly used these factors individually, but recently, Bradley *et al.* (2020) proposed a model that groups these factors, analyzing indicators for PEB.

In Mexico, despite efforts to assess the vulnerability and resilience to CC of small coastal communities economically dependent on natural resources (Corral-Verdugo *et al.*, 2003; Mendez-Vasconcelos *et al.*, 2014; Salvadeo *et al.*, 2021), there remains a research gap in investigating the causes of CC risk perception and environmental behaviors. In this study, we focus on identifying the drivers of CC risk perception and PEB among residents of a small coastal community, Cabo Pulmo (Mexico), which relies almost entirely on economic activities associated with coral reef tourism. We propose that the use of models that evaluate cognitive parameters (adapted to the local

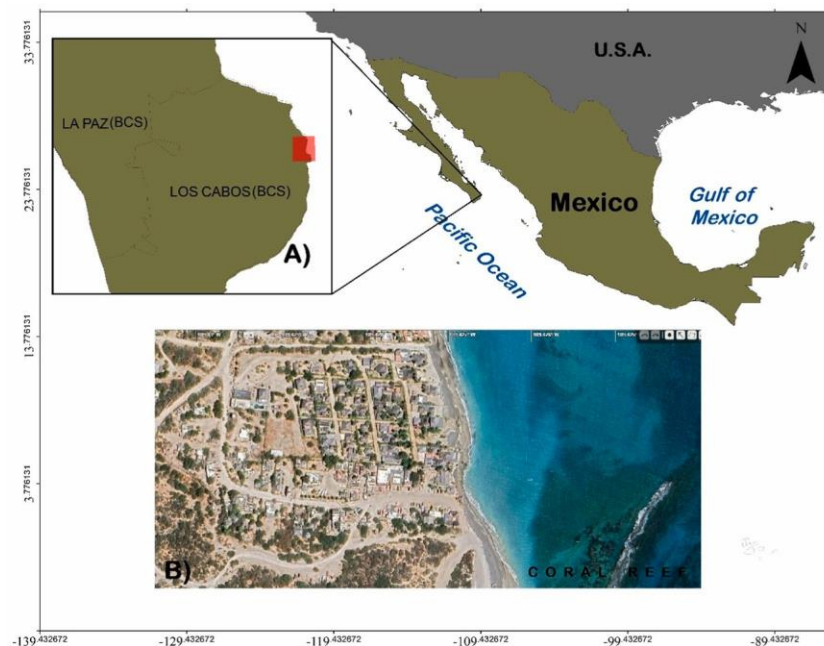


Fig. 1. Study site. A) The Cabo Pulmo National Park (red rectangle) and B) a picture of the community inside the park, including a portion of the coral reef (source: the authors via <https://ovl.oceandatalab.com>). (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)

context) and incorporating socio-demographic variables, will enable the identification of key underlying factors. These might be considered as a methodological framework for studying RP and PEB in small communities, and this framework could potentially be applied to other small communities internationally.

Materials and methods

Study area

Cabo Pulmo is a small coastal community located at the Cabo Pulmo National Park in the municipality of Los Cabos, Baja California Sur (23° 22' N and 109° 28' W) in the Gulf of California (Fig. 1). The national park spans 7000 ha, with the marine zone covering 99% of its area (CONANP, 2009, Fig. 1). Cabo Pulmo was designated a marine protected area (MPA) as a national park in 2000. Due to the confluence of different marine biogeographic provinces, the region surrounding Cabo Pulmo is incredibly biodiverse, hosting numerous invertebrates, fish, marine mammal, turtle, and bird species (Aburto-Oropeza *et al.*, 2011; Rife *et al.*, 2013; Reyes-Bonilla *et al.*, 2014).

Sociodemographic context

The community of Cabo Pulmo stands as an example of economic change oriented to conservation, with residents initially relying primarily on fisheries resources to relying on ecotourism activities with low-environmental impact (Carino *et al.* 2008). This change toward a reliance on ecotourism resulted from a conservation strategy that culminated in establishing the Cabo Pulmo National Park, in 1995 (CONANP, 2009), with a positive impact on fish diversity (Aburto-Oropeza *et al.*, 2011; Rife *et al.*, 2013; Reyes-Bonilla *et al.*, 2014). Considering Cabo Pulmo as a society-ecosystem interaction success story, evidenced by the recovery of its coral reef and marine biodiversity, it provides a valuable opportunity to gain knowledge on the drivers of RP and PEB in small communities. Currently, activities such as SCUBA diving, snorkeling, scientific research, species monitoring, boating, environmental education, fishing (for both domestic consumption and sport fishing), camping, and beach recreation are permitted within the park. However, these activities are regulated according to the zonation of the park established in its management plan (CONANP, 2009).

The population of Cabo Pulmo is small and consists of a mix of local and seasonal residents, which fluctuates with tourism affluence. The community is composed of 20 families, including residents and people from surrounding communities, and according to the National Institute of Statistics and Geography, between 51 and 61 residents lived in the national park between 2010 and 2020 (i.e., people of 12 and older are registered; INEGI, 2023). This population size has been previously documented (Ibáñez-Perez, 2016; Trevino-Aguilar *et al.*, 2019), with approximately half being economically active. However, these estimates might be incomplete, because they do not account for the floating population, including seasonal/temporary workers (Trevino-Aguilar *et al.*, 2019; Quintana-Bustamante, 2022), where the annual peak of floating population is largest from October to May (CONANP, 2009). This context complicates accurate statistical assessments.

Social studies carried out in this community have been oriented towards the evaluation of tourism activities (Angeles *et al.*, 2008; Castorena-Davis *et al.*, 2008; Alvarez Del Castillo *et al.*, 2021; Ibanez-Perez, 2016; Ibanez-Perez, 2018; Trevino-Aguilar *et al.*, 2019; Quintana-Bustamante, 2022). However, most of these studies are based on official governmental data and few have questioned the opinions of the population, particularly regarding their economic activities in the context of CC.

Survey design and implementation

We designed a survey to evaluate risk perception to CC and PEB in local residents who economically depend on activities conducted within the national park. The survey was anonymous, with surveyed giving their consent to be interviewed after being made aware of an ethical disclaimer that ensured them the right not to answer any question. Prior to starting the survey, we asked the civil association Amigos para la Conservacion de Cabo Pulmo, a key community actor, to identify economic activities and potential participants. Key informants were identified using the snowball method (Martínez-Salgado, 2012), which involves identifying seed informants who meet the eligibility criteria and asking them to recommend other participants. Given that the maximum influx of tourists occurs in October (CONANP, 2009), the survey was administered from September 28 to October 3, 2022, to accommodate the working seasons of the service providers within the park, ensuring their participation in the survey. Finally, we have included the surveys from 47 participants in the study, representing ~75% of the community population (see comment in section 2.2).

The survey included five sociodemographic variables, five predictors of RP, response efficacy (RE) and PEB as an indicators (Bradley *et al.*, 2020). An additional question was asked to analyze the perception of the main threat to the coral reef. The sociodemographic variables were gender (GEN), age (AGE), highest education level attained (SCH) and as an improvement made to the model, we include the variables number of years of residence in Cabo Pulmo (YRS) and economic activity conducted (ACT). Activities were classified into direct (dive guides, boat captains, among others) and indirect (waiters, cabin renters, among others) activities based on the degree of proximity to the reef.

To evaluate RP and PEB, we adapted the model proposed by Bradley *et al.* (2020), which is intended to quantify risk perception, psychological adaptation and response efficacy (RE), and verify if they explain PEB variability. Thus, we modified variables and questions to suit the characteristics of small communities, (hereafter referred to as the *conceptual model*). This model, includes six variables related to RP, referred as RP'predictor variables, such as: (1) belief certainty regarding climate change (BC); (2) perceived residential exposure to natural disasters or extreme weather (PRE); (3) direct personal experience to witnessed natural disasters or extreme weather events, and how many events they had witnessed in that place (DPE); (4) knowledge of climate change (K); (5) connection to nature, as a measure of the degree to which individuals feel part of the natural world (CN); and (6) green identity. In addition, the RP was evaluated considering three topics related to health, economics, and environmental well-being (see Supplementary Material 1; SM1).

Regarding RE, this variable indicates the belief that one's actions are effective and produce the desired consequences with respect to climate change. This is the indicator that links PR with PEB in the cognitive process. Finally, PEB is a measure of participation in pro-environmental activities. However, based on a pilot survey, we excluded psychological adaptation because responses were unreliable, due to respondents' lack of a clear definition of CC, as well as green identity, due to redundant responses with other items (SM1).

To evaluate K, respondents were asked to explain in their own words what they believed climate change to be in open-ended responses. In order to quantify their responses, we constructed a definition of climate change based on the definitions proposed by the United Nations (UN, 2023b) and Mexican Government (INECC, 2018; see SM2): "*Climate change*

refers to long-term changes in temperature and weather patterns. Global warming is the most evident manifestation of climate change, and it refers to the global average increase in land and sea temperatures. Since the 19th century, human activities, mainly the burning of fossil fuels such as coal, oil, and gas, have been the main driver of climate change, and have surpassed records prior to 1850". Five themes were identified from the proposed definition to evaluate this variable, and five keywords were obtained from these (temperature warming/increase, human activities, CO₂ emissions, temperature change, and climate change) to be compared with the respondents' answers. The rating of each respondent corresponded to the degree of agreement with this definition as the number of keywords in their response (maximum score = 5; see SM2). Finally, to contrast the responses obtained for the RP and K variables, we asked the respondent the open-ended question: "What do you think is the main threat to the Cabo Pulmo reef?" From the responses, we can analyze the perception of the main threat to the coral reef identified by the studied community.

Data analysis

We calculated Spearman correlations (r_s ; significant p value <0.05) to evaluate the relationships between the 12 variables included (SM1). This non-parametric test was chosen based on the nature of the data obtained, since none of the variables followed a normal distribution (Kolmogorov-Smirnov test), even when homoscedasticity (Bartlett test) was confirmed for most variables (Zar, 1999).

In order to visualize significant relationships among variables, we used a social network analysis (<https://socnetv.org>). The social network was constructed using the correlation matrix (r_s ; SM3) as an adjacency matrix (a presence-absence matrix). This approach assumes a mutual correspondence between variables (undirected network) and indicates an association between them. The adjacency matrix included only significant correlations with a $r_s > 0.3$. In addition, the degree centrality (DC; standardized) was calculated, which represents a measure of the degree of connections of each variable.

As an additional analysis, we assessed PEB under hypothetical scenarios regarding to implementing outreach strategies to improve the knowledge (K) and consequent actions related to CC in the Cabo Pulmo community dedicated towards tourism. To achieve this, we have identified those questions that evaluated the participant's theoretical knowledge about

CC, as well as its threats to the coral reef within the predictive variables of RP and the model (RE and PEB). Then, we proposed the following additive model [PEB = RP + RE]. For this calculation, we conducted a sum of the responses' scores of each variable, where $RP = BC^* + PRE^* + DPE + CN^* + K^*$, and asterisks indicate the variables that at least one question (related to K) was set to the maximum score. The score of the complete model was estimated with values ranging from 12 to 59 points; therefore, the scores of the observed and hypothetical models are presented on a 0 to 100 scale. Finally, to improve the analysis of reef threats, we classified topics according to the type of activity (direct or indirect) conducted by the participants.

Table 1. Socio-demographic composition of the participants in Cabo Pulmo. Frequency (%) by variable and categories are shown.

Variable	Category	% (n)
Gender	Female	44.6 (21)
	Male	55.3 (26)
Age	18 to 25	12.7 (6)
	26 to 35	34.0 (16)
	36 to 45	42.5 (20)
	45 to 60	10.6 (5)
Education (highest level attained)	Elementary school	6.4 (3)
	Middle school	34.0 (16)
	High school	38.3 (18)
	University	21.3 (10)
Years of residence in Cabo Pulmo	1 to 3	17.0 (8)
	4 to 9	42.6 (20)
	10 to 15	19.1 (9)
	16 to 21	6.4 (3)
	22 to 27	8.5 (4)
	>28	6.4 (3)
Economic activity conducted (based on the degree of proximity to the reef)	Direct activities (dive guides, boat captains, among others)	46.8 (22)
	Indirect activities (waiters, cabin renters, among others)	53.1 (25)

Results

We visited tourist service establishments, restaurants, and small stores in Cabo Pulmo to survey 47 people (44.6% women, 55.3% men). The majority of participants were adults and young adults (42% between 36 and 45 years old and 34% between 26 and 35 years old, respectively) with 34% having a secondary education, 38.3% a high school education, and 21.3% a university education. Nearly 50% of the participants had lived in Cabo Pulmo for 4–9 years (Table 1).

Of the respondents, 46.8% engaged in activities directly related to the reef, including working as dive guides, boat captains, and tourism service providers and their assistants. On the other hand, 53.1% conducted activities indirectly related to the reef, working as receptionists, waiters, cooks, cabin owners, maintenance workers, administrators or administrative assistants, and owners or employees of small stores.

The Spearman correlation results between sociodemographic and model variables indicated that 24.2% (16/66) were significant. Of these, 12.5% (2/16) were negative and corresponded to relationships between sociodemographic variables (SM3). The 16 significant correlations had an r_s range of 0.30–0.58, with a mean ($\pm$ SD) of 0.36 ± 0.07 . This was associated with high variability in respondents' answers to certain items. For further analysis, correlations with $r_s > 0.30$ were included.

We found marked differences when contrasting the conceptual model with the model obtained in this study (hereafter referred to as the *observed model*; Fig. 2). The conceptual model indicated that all predictor variables must be associated with the evaluation of RP. However, only PRE was significant in the observed model ($r_s = 0.34$; $p = 0.02$). Based on the observed model, DPE, K, and CN are not related to RP. On the other hand, the BC predictor variable was directly related to PEB ($r_s = 0.37$; $p = 0.01$). Lastly, RE was not significantly related to RP, but it was directly related to PEB ($r_s = 0.37$; $p = 0.01$).

Only two sociodemographic variables were significantly related to the model variables: SCH was related to RP ($r_s = 0.32$; $p = 0.03$), and ACT was related to RE ($r_s = 0.34$; $p = 0.02$). On

the other hand, the sociodemographic variables SCH, YRS, and ACT were significantly related to the predictor variables BC, PRE, and DPE (SM3; Fig. 2).

In contrast to the observed model (Fig. 2), the social network (Fig. 3) allowed to identify interactions between variables and detect patterns among them. As expected, the sociodemographic variables were related (SCH-AGE-YRS), presenting a high DC, but were considered as redundant. On the other hand, SCH (DC = 0.15) and ACT (DC = 0.12) were related to model and predictor variables. Among the predictor variables, PRE (DC = 0.12) exhibited the most connections within the network, linked to RP, SCH, BC, and ACT. In addition, PEB was related to the predictor variable BC and RE, but not to RP, which are model variables and a higher DC was expected. Furthermore, K was entirely excluded from the network.

Regarding the perception of the main threat to the coral reef, respondents highlighted increases in tourism, non-compliance with park regulations, and pollution as the main threats (Table 2). When separating the responses according to direct and indirect activities (Fig. 4), interviewees who conducted activities directly related to the reef identified non-compliance with park regulations (56%), extreme weather events (71%), and the rise in sea temperature (100%) as the main threats. While respondents who conducted activities indirectly related to the reef did not mention rising sea temperatures as a threat, but identifying poor diving behavior (67%), pollution (78%), and building (75%) as threats.

For the hypothetical model, the component scores of all predictor variables related to K (i.e., knowledge regarding CC, future impact of CC on economic activities) were improved, as it is the only variable unrelated in the social network and can be externally altered in the short, medium, or long term. The score obtained for the observed model was 72, while the hypothetical model showed an improvement of ~14%, achieving a score of 86, corresponding to the application of a participatory strategy aimed at the community to improve the variables associated with K.

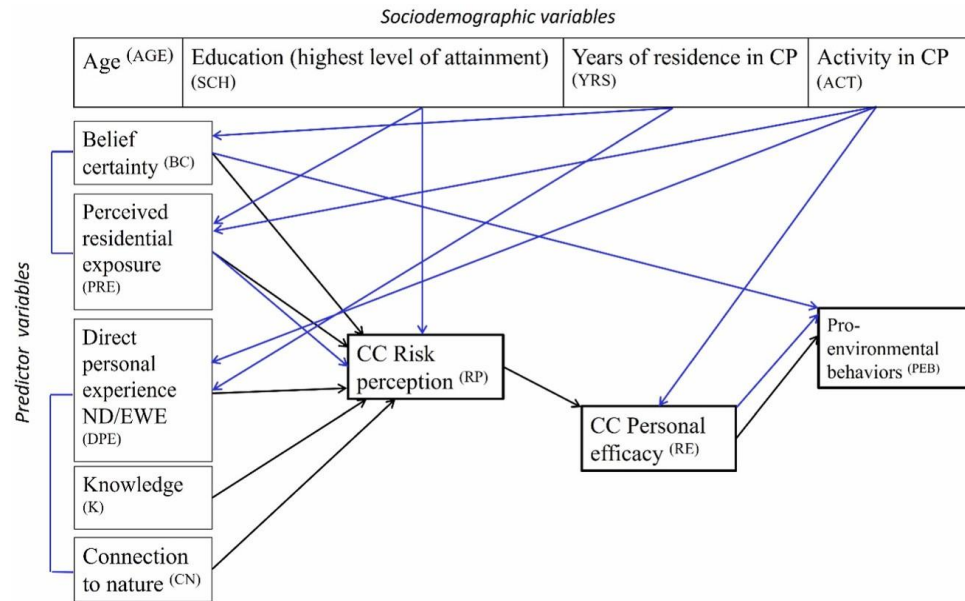


Fig. 2. Conceptual (black lines) and observed (blue lines) models to assess pro-environmental behavior (PEB) at Cabo Pulmo. Lines indicate interaction between variables and correspond to significant correlations (r_s , $p < 0.05$). The direction of the black arrows indicates the mechanism suggested between variables. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)

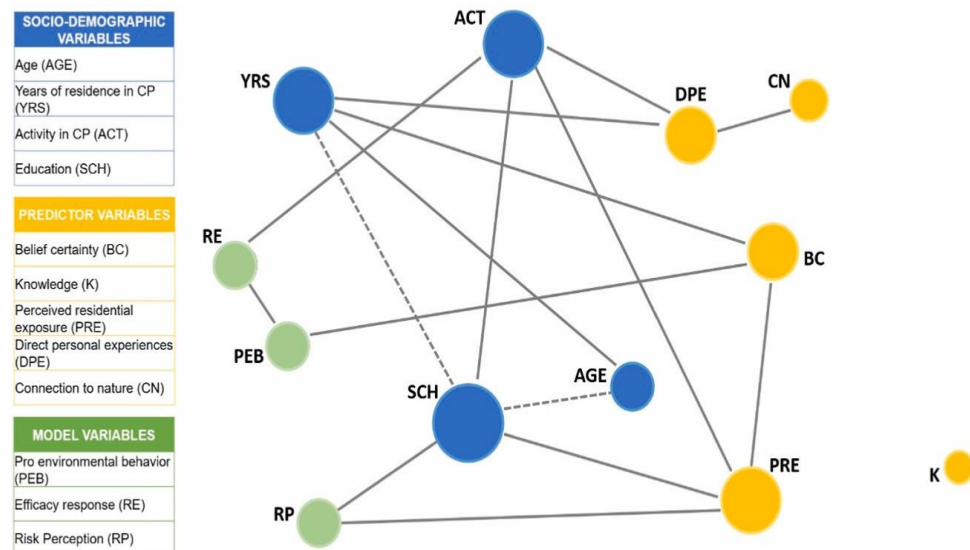


Fig. 3. Social network based on significant correlations between sociodemographic, predictor, and model variables (color of node). The size of the nodes (variables) indicates the number of connections. Solid (dashed) lines represent positive (negative) correlations. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)

Table 2. Threats to the coral reef in Cabo Pulmo recognized by respondents; the type of threat is shown. Percentages are based in 68 opinions.

Perceived threat	% (n)	Threat type % (n)
Increased tourism	15 (10)	Anthropogenic 56 (38)
Non-compliance with park regulations	13 (9)	
Pollution	13 (9)	
Poor diver behavior	9 (6)	Natural 18 (12)
Building ^a	6 (4)	
Extreme weather events (hurricanes)	10 (7)	Ambiguous 18 (12)
Rise in sea temperature	7 (5)	
Ambiguous	18 (12)	Other 9 (6)
Other ^b	9 (6)	

^a Megaprojects, desalination plants, among others.

^b Illegal fishing, increasing in touristic companies, unregulated foreign investment in infrastructure, among others.

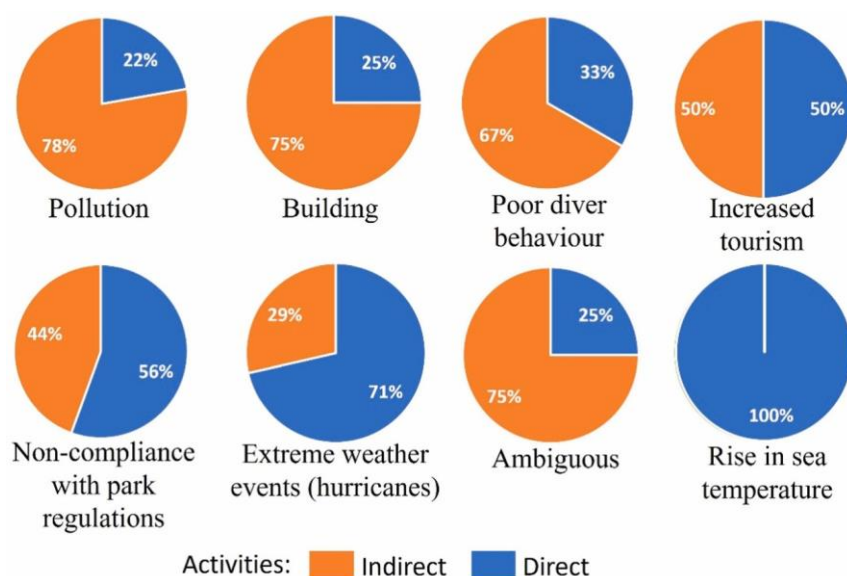


Fig. 4. Identified threats according to the type of activity conducted in Cabo Pulmo. Direct (blue) and indirect (orange) activities. Percentages are based on 68 opinions. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)

Discussion

Predicting pro-environmental behaviors in a small community

Many factors influence concern for the environment and the motivation to take actions towards its conservation. Therefore, predicting this multifactorial response is challenging, and current models are developed to capture the complexities underlying PEB and RP (Fig. 5). However, in our study case, the observed model did not fit the conceptual model, as no connection was found between the predictor variable RP and RE, thus cutting off the process that should trigger PEB (Fig. 2). Despite this result, adjusting the model to a local (community) scale allowed us to detect important indicators that influence PEB (McNamara *et al.*, 2020).

For example, the studied population responds positively to conservation activities, which accounts for PEB-linked actions, and (current and historically) can organize themselves when external anthropogenic factors threaten their work within the park, specifically the working population (Quintana-Bustamante, 2022). Studies like Hines *et al.* (1987) or Bamberg and Moser (2007) have suggested that PEB can be predicted by a combination of factors, such as knowledge of the problem and solution strategies, personal and social influences, and acquired individual commitments or responsibilities.

Thus, our results show a scenario in Cabo Pulmo that could be explained since residents have specific personal and social profiles highly related to the activity it performs, have been in contact with nature (>70% of respondents have 5 or more years of residency), and are aware of the environmental problems that exist in their community (PRE and ACT indicator), which increases the probability of residents adopting PEB since it was decreed as a protected natural area (Folke *et al.*, 2007; Mackay and Schmitt, 2019; McNamara *et al.*, 2020; Otto *et al.*, 2021).

Risk perception in the context of climate change

The RP represents the process of discerning and interpreting signals of uncertain events from various sources and forming a subjective judgment of the probability and severity of damage due to these events (Wachinger *et al.*, 2013). Contrasting this definition with the results obtained from the observed model (Fig. 2), we can suggest that the working

population in Cabo Pulmo has a low level of perception of CC effects. In addition, the conceptual model allow us to identify the factors that influenced RP, this is, from the five predictor variables, perceived residential exposure to natural disasters or extreme weather events (PRE; $r_s = 0.34$) best explained RP, which has also been previously reported (Van Der Linden, 2015; Frondel *et al.*, 2017; Sun and Han, 2018; Van Valkengoed and Steg, 2019).

The RP evaluation (which included questioning on health, economics, and environmental well-being) showed us certain aspects that help us to identify its behavior. The social aspect constituted the primary issue, as ~70% of respondents did not have health insurance or a retirement savings system, which are mandatory labor benefits of employment in Mexico (CONSAR, 2021) and is considered as a strategy to CC adaptation (WHO, 2014; UN, 2023a; Bocanegra and Thomson, 2024). This fact can be interpreted as that respondents do not

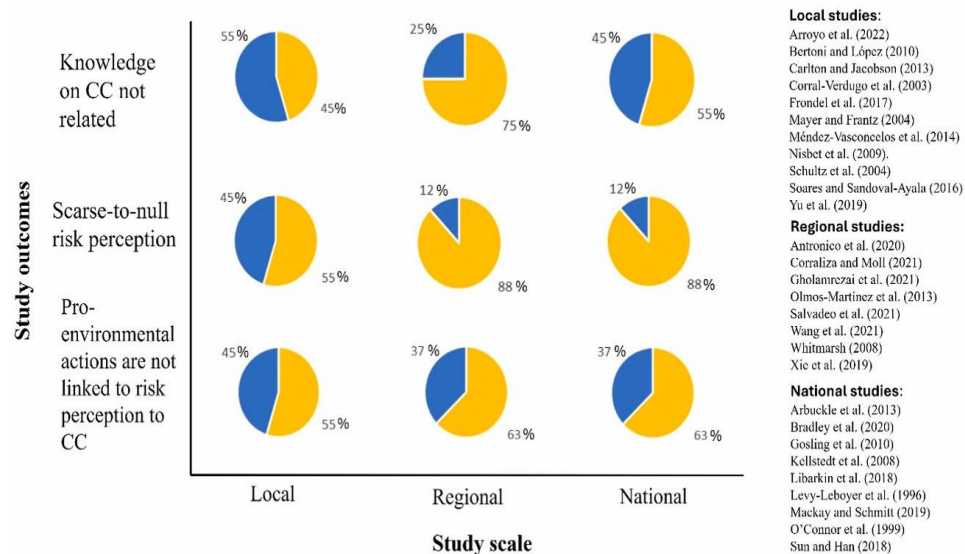


Fig. 5. Review of publications related to risk perception and/or pro-environmental behavior. The percentage of publications that aligned with our study outcomes is shown (yellow = not fit; blue = fit). This was based on the number of studies included by scale (Antronico *et al.*, 2020; Arbuckle *et al.*, 2013; Arroyo *et al.*, 2022; Bertoni and Lopez, 2010; Carlton and Jacobson, 2013; Corraliza and Moll, 2021; Kellstedt *et al.*, 2008; Levy-Leboyer *et al.*, 1996; Libarkin *et al.*, 2018; Mayer and Frantz, 2004; Nisbet *et al.*, 2009; Olmos-Martínez *et al.*, 2013; Schultz *et al.*, 2004; Soares and Sandoval-Ayala, 2016; Wang *et al.*, 2021; Xie *et al.*, 2019; Yu *et al.*, 2019). (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)

have a clear vision of their personal long-term security (Sandoval *et al.*, 2017), increasing their vulnerability, since respondents may not be aware of the potential future risk. Regarding the economic aspect of RP, most of the respondents believed that CC poses a future risk to their economic activities, but they are not taking action to adapt to this risk. This has been explained by inhabitants witnessing several climatic events without suffering any notable losses (Fronzel *et al.*, 2017; Sun and Han, 2018). Thus, the risk posed by CC is perceived to be a distant future risk that is not possible to measure, with the direct effects of CC not being perceived as severe (Prins, 2013; Halpern-Felsher *et al.*, 2001; Williams, 2002; Hall and Slothower, 2009; Wachinger *et al.*, 2013).

The latter might affect how this community adapts to future changes, as CC is predicted to impact many ecosystems, including coral reefs, which is related with an increased frequency and intensity of bleaching events (e.g., driven by heatwaves and/or intense ENSO events; Cheung *et al.*, 2010; Hughes *et al.*, 2017). An impact of these events on the reef is an increased coral mortality rate, and in some extreme cases, a regime shift may occur (i.e., changing a reef-building coral dominance to another state where macro-algae dominate; Riegl *et al.*, 2009; Arif *et al.*, 2022). These changes can negatively impact the ecosystem services they provide, such as habitat for species (fish, mollusks, turtles, etc.), sand formation, among others, all these elements are attractive to tourism. It has been reported that, when a coral reef ecosystem is modified, tourist attractiveness is diminished, impacting on the influx of tourism (Riegl *et al.*, 2009; Bartelet *et al.*, 2022). This is a negative scenario for coastal communities dedicated solely to tourism activities, whether direct (diving, sport fishing, etc.) or indirect (services such as lodging, restaurants, etc.).

Cabo Pulmo is a community that has through a process of adaptation (~30 years) from fishing to ecotourism activities, mainly motivated by reef conservation. Currently, ecotourism activities carried out are focused on the observation of the coral-reef fauna and are managed by commercial-family partnerships (i.e., family inheritance), which have been started by the first families decades ago (Quintana, 2022). The fact that the tourism is the main livelihood of the community, and considering the negative CC scenario, makes them vulnerable in the long-term, due to: (1) their tourism activities could be under economical competition (i.e., which is currently based on limited boat quotas), (2) they have low job diversification, and (3) a return to fishing activities within the park is not possible (CONANP, 2009; Santos-LaCueva *et al.*, 2017; Bartelet *et al.*, 2022).

Perceived threats to the coral reef

When participants were asked about the main threat to the reef, as expected, responses were closely related to the activities they conducted. Nonetheless, we noted a clear tendency to identify the main threats to the reef as anthropogenic actions and non-compliance with park regulations, topics not necessarily related to CC. This contrasts with what was expected, as previous reports have identified coral bleaching, ocean acidification, among other factors as the primary threats to the coral reef (Carriquiry *et al.*, 2001; Reyes-Bonilla *et al.*, 2014; Rioja-Nieto and Alvarez-Filip, 2019). This suggests a lack of information regarding the potential effects of CC on this ecosystem in the studied population.

Moreover, this agrees with participants' responses regarding their definition of CC, since 48% associated it with increasing global temperatures (Table 2). This lack of diversity in responses has been widely documented, with many attributing CC to rising temperatures, mostly influenced by media and personal direct experiences with heatwaves (Whitmarsh, 2008). Consequently, it is likely that the information received by the studied population over the years has been biased, influencing their knowledge on this topic (K model variable) and leading respondents to underestimate direct threats of CC to the reef (Van Valkengoed and Steg, 2019). Instead, more than half (52%) of the opinions on threats were related to economic aspects.

This result is a common feature as it has been reported at different spatial scales (Fig. 5), with many studies reporting that threats perceived by communities often prioritize immediate economic impacts over longer-term environmental risks. Consequently, threats such as rising temperatures, coral cover loss, and coral bleaching, which are important for these ecosystems (Harborne *et al.*, 2017; Ellis *et al.*, 2019) may be underestimated. This can be interpreted as ensuring daily sustenance is more important than the perceived risk of environmental hazards (Barberi *et al.*, 2008; Lavigne *et al.*, 2008; Wachinger *et al.*, 2013; Sun and Han, 2018; Van Valkengoed and Steg, 2019).

The K factor is the key

In our case, the additive hypothetical model proposed indicates an improvement in the PEB score, which is related to the enhanced relationships between predictor variables of RP and RE. Consequently, with improving K, PEB will be based on a better understanding of climate change impacts, enabling communities to adapt their economic activities accordingly. Gaining knowledge, improving risk perception, and consequent taking action oriented to PEB is a relevant process for any community worldwide. To achieve this, in this work we propose that this process should be carried out following a series of stages, which are: (1) diagnosis stage, where the target audience is initially defined, as well as identifying the components that influence RP (K, PRE, etc.), for which we proposed to use our methodology; (2) planning stage, oriented to identify gaps regarding the community' CC understanding, considering the socio-cultural context of the community, followed by a literature review of potential direct and indirect impacts over the ecosystem of the study area. In addition, at this stage it is important to identify the key actors from the different sectors of the community, in order to involve them in the strategies and the type of information to be shared (i.e., to adapt them to local conditions). Finally, during this stage, and join with key actors, is also recommended to define the dissemination strategies (e.g., workshops, discussion tables, seminars, direct activities with the community, among others; Quiroz-Nino and Murga-Menoyo, 2017; Huntington *et al.*, 2002) identified as the most suitable for the community; (3) implementation stage, where the defined strategies are carried out with identified community groups. At this stage, discussion tables are highly important for identifying those activities (or actions) that the community can carry out to improve its resilience to CC, as well as those that currently do, elements that finally contribute as PEB actions; and (4) an evaluation stage oriented to verify whether the implemented strategies had the expected impact, in this case, based on the CC knowledge acquired during third stage, an increase in the score of those indicators included in the diagnosis stage must be expected (e.g., high RP and K). This entire process should ensure a link between pro-environmental behavior actions with risk perception of CC, rather than being driven by economic reasons and/or compliance with park regulations.

This process is especially relevant for small communities within marine protected areas, where their success in pro-environmental actions depends on active stakeholder participation, a high degree of internal rules, community well-being, and a clear promise of

economic benefits related to conservation goals (Rife *et al.*, 2013; Lachapelle and Albrecht, 2019). As well as providing an opportunity for authorities to build networks and improve trust with community leaders to promote better governance among the different stakeholders (Rife *et al.*, 2013; Trevino-Aguilar *et al.*, 2019; Lachapelle and Albrecht, 2019; McNamara *et al.*, 2020). The joint participation of the community and authorities is essential for ensuring that clear and direct information about the implications of climate change is disseminated effectively, including individuals who conduct activities indirectly associated with natural resources.

Conclusions

Our case study indicates that the studied population in Cabo Pulmo performs actions aligned with PEB, primarily motivated by the need to comply with park regulations and maintaining their economic activities, rather than by their response efficacy, coral reef threats, and perceived risks of climate change.

Also, CC risk perception was lower than expected, with respondents mainly perceiving the risk of climate change as a future threat to their place of residence rather than to the environment (coral reef) on which they depend economically. Therefore, understanding of climate change and its potential impacts on their community must be strengthened. This could be achieved, through well-oriented outreach campaigns.

To evaluate RP, RE and PEB in small communities that are economically dependent on ecosystems vulnerable to climate change, it is suitable to use models that integrally incorporate cognitive, sociodemographic and cultural variables, in addition to personal experience variables. We believe these models should be adapted considering each local context (particularly in terms of CC knowledge) and include local socio-economic variables. Perceptions in small communities can be highly diverse and influenced by many factors, in this case primarily threats perceived prioritize immediate economic impacts over longer-term environmental threats, making these models valuable as they allow to capture in detail the community's opinions (and connections among them) regarding CC risk perception and potential threats.

CRedit authorship contribution statement

María de los Angeles Milanes-Salinas: ´ Writing – review & editing, Writing – original draft, Methodology, Conceptualization. **Carlos Orion Norzagaray:** ´ Writing – review & editing, Writing – original draft, Methodology, Funding acquisition, Conceptualization. **Georges Seingier:** Writing – review & editing, Writing – original draft, Conceptualization. **Guadalupe Gomez-Hernández:** ´ Writing – review & editing, Writing – original draft, Methodology, Conceptualization. **Jose Alberto Zepeda-Domínguez:** ´ Writing – review & editing. **Luis Felipe Beltran-Morales:** ´ Writing – review & editing.

Declaration of competing interest

The authors declare the following financial interests/personal relationships which may be considered as potential competing interests: Carlos Orion Norzagaray Lopez reports financial support was provided by National Council of Science and Technology. If there are other authors, they declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgments

This study was partially funded by the Sectorial Education Fund from Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) [CB- 2017-18-A1-S-21581 to CON]. We thank CONAHCyT for the scholarship to MAMS [CVU 269141]. We want to thank to “Amigos para la Conservación de Cabo Pulmo” for its help during the surveys. We are also thankful to CONANP staff, specially to MSc. María Jossue Navarro, for their help during surveys. Finally, we thank Andrea Lievana MacTavish for translation and editing of the manuscript. We also thank the two anonymous reviewers for their valuable comments.

Appendix A. Supplementary data

Supplementary data to this article can be found online at <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2025.101194>.

Data availability

Data will be made available on request.

Supplementary Material

SUPPLEMENTARY MATERIAL 1 [SM1]

Drivers of pro-environmental behaviors and risk perception to climate change in small coastal communities: An insight from the Mexican Pacific

Milanés-Salinas, María de los Ángeles^a; Norzagaray, Carlos Orión^{a*}; Seingier, Georges^b; Gómez-Hernández, Guadalupe^b; Zepeda-Domínguez, José Alberto^b; Beltrán-Morales, Luis Felipe^c.

^a Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO), Universidad Autónoma de Baja California. Carretera Ensenada-Tijuana No. 3917, Fracc. Playitas, C.P. 22860. Ensenada, México.

^b Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California. Carretera Ensenada-Tijuana No. 3917, Fracc. Playitas, C.P. 22860. Ensenada, México.

^c Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C., Km. 1 Carretera a San Juan de La Costa "El Comitán" La Paz, C.P. 23205. La Paz, México.

*Email: orion.norzagaray@uabc.edu.mx

SUPPLEMENTARY MATERIAL 1 [SM1]

Components and criteria for sociodemographic, predictor and model variables.

Type of variable	Variable/Acronym	Components (questions)	Answer options and criteria	Scores
Sociodemographic	Gender (GEN)	1. ¿Wich gender do you identify with?	-Female. -Male. -Other. -I would rather no answer.	NA
	Age (AGE)	1. ¿How old are you?	-Open answer question.	Participant's age
	Education: highest level of attainment (SCH)	1. ¿What was the last grade you attended?	-Elementary school. -Middle school. -High school. -University/college degree.	-Elementary school= 1 -Middle school= 2 -High school= 3 -University/college degree= 4
	Years of residence in Cabo Pulmo (YRS)	1. ¿How many years have you been living in Cabo Pulmo?	-Open answer question.	Number of years living in Cabo Pulmo
	Activity carried out in Cabo Pulmo (ACT)	1. ¿What are your activities in Cabo Pulmo?	Direct: -Sport fishing. -Handicrafts. -Housekeeper. -Diving guide. -Fishing. -Other (open answer). Indirect: - Receptionist - Waitress - Maintenance manager - Cook assistant	Direct activity= 2 Indirect activity= 1

			-Other (open answer) Criteria: daily interaction with coral reef could improve understanding of climate change.	
--	--	--	--	--

Type of variable	Variable/Acronym	Components (questions)	Answer options and criteria	Scores
Risk perception' predictor	Belief certainty (BC)	1. I'm sure that climate change is really happening. 2. Have you ever heard about climate change?	- Not at all, a little, moderate and to a great extent (item 1). - Yes/ No (item 2). Criteria: Certainty in the respondents' belief in the existence of climate change.	1= Not at all to 4= great extent (item 1) No=1 and Yes=2 (item 2)
	Perceived residential exposure (PRE)	1. Have you ever suffered any property loss or damage due to a hurricane, tropical storm or flood 2. ¿How serious was the material loss or damage suffered? 3. What has been the degree to which coral bleaching has affected your work? 4. How has the increase in sea temperature affected your work?	- Yes/ No (item 1). - Not at all, a little, moderate and to a great extent (items 2, 3, 4 and 5). Criteria: Perceived exposure to natural disasters or extreme weather in the place where they live (e.g., direct experience of their home).	No=1 and Yes=2 (item 1) 1= Not at all to 4= great extent (items 2 to 5)

Risk perception' predictor		5. How much has sea level rise affected your work?		
	Direct experience with natural disasters or extreme weather events (DPE)	1. Have you witnessed any very strong waves, hurricanes, tropical storms or flooding events? 2. If you answered "yes", could you tell me how many?	- Yes/ No (item 1). - Open answer question (item 2). Criteria: To assess if the respondent has witnessed any natural disasters in Cabo Pulmo and how many during living in the park.	No=1 and yes=2 (item 1) Total number of events witnessed (item 2)
	Connection to nature (CN)	1. It does not really hurt me if the coral reef is destroyed by natural causes (hurricane, tropical storm, strong waves, etc.). 2. How important is it for your personal, family and community well-being that there is government support to restore the coral reefs? 3. How important is it for your personal, family and community well-being to use cars that pollute less?	- Not at all, a little, moderate and to a great extent (item 1). - Not at all, a little, moderate, important and very important (items 2 and 3). Criteria: Helps to measure the degree to which individuals feel part of the natural world.	4= Not at all to 1= great extent; (item 1). 1= Not at all to 5= very important. (items 2 and 3).

	Knowledge (K)	See SM2.	Criteria: Measures the degree of agreement of personal opinion about climate change regarding constructed definition.	See SM2.
--	---------------	----------	---	----------

Type of variable	Variable/Acronym	Components (questions)	Answer options and criteria	Scores
Model' variable	Pro-environmental behavior (PEB)	1. I separate garbage into containers for recycling. 2. My family and I have participated in beach cleanup programs in our community. 3. I mostly use public transportation, bicycle, or walk instead of using a car.	- Not at all, a little, moderate and to a great extent (item 1). - Not at all, a little, moderate, important and very important (items 2 and 3). Criteria: To determine the extent to which respondents relate to environmental activities carried out in Cabo Pulmo.	1= Not at all to 4= great extent (item 1) 1= Not at all to 5= very important (items 2 and 3)
	Response efficacy (RE)	1. I believe that my actions have an influence on climate change. 2. I mostly use public transportation, bicycle, or walk instead of using a car. 3. I trust scientists and researchers to solve	- Not at all, a little, moderate and to a great extent (all items). Criteria: Helps to measure the belief that personal actions will be effective and have desired conservation consequences.	1= Not at all to 4= great extent

Model' variable		the problems of climate change.		
	Risk perception to climate change (RP)	1. ¿Do you think climate change will affect your economic status in the future? (Economic aspect). 2. My family and I have social security and if we need to see a doctor we can go at any time (Social aspect). 3. How important is the conservation of the Park's corals to your personal, family and community well-being? (Environmental aspect).	- Yes/ No or I do not know (item 1). - Not at all, a little, moderate and to a great extent (item 2). - Not at all, a little, moderate, important and very important (item 3). Criteria: The process of discerning and interpreting signals from various sources about uncertain events, and forming a subjective judgment of the likelihood and severity of current or future harm associated with these events.	No=1 and yes=2; I do not know=0 (item 1) 1= Not at all to 4= great extent (item 2) 1= Not at all to 5= very important (item 3).

SUPPLEMENTARY MATERIAL 2 [SM2]

Drivers of pro-environmental behaviors and risk perception to climate change in small coastal communities: An insight from the Mexican Pacific

Milanés-Salinas, María de los Ángeles^a; Norzagaray, Carlos Orión^{a*}; Seingier, Georges^b; Gómez-Hernández, Guadalupe^b; Zepeda-Domínguez, José Alberto^b; Beltrán-Morales, Luis Felipe^c.

^a Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO), Universidad Autónoma de Baja California. Carretera Ensenada-Tijuana No. 3917, Fracc. Playitas, C.P. 22860. Ensenada, México.

^b Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California. Carretera Ensenada-Tijuana No. 3917, Fracc. Playitas, C.P. 22860. Ensenada, México.

^c Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C., Km. 1 Carretera a San Juan de La Costa "El Comitán" La Paz, C.P. 23205. La Paz, México.

*Email: orion.norzagaray@uabc.edu.mx

SUPPLEMENTARY MATERIAL 2 [SM2]

Proposed definition of climate change for this work, based on the definition by the United Nations and Mexican Government:

"Climate change refers to long-term changes in temperature and weather patterns. Global warming is the most evident manifestation of climate change, and it refers to the global average increase in land and sea temperatures. Since the 19th century, human activities, mainly the burning of fossil fuels such as coal, oil, and gas, have been the main driver of climate change, and have surpassed records prior to 1850."

1. Definition of climate change by the United Nations (UN):

Climate change refers to long-term changes in temperatures and weather patterns. These changes can be natural, for example, through variations in the solar cycle. But since the 19th century, human activities have been the main driver of climate change, mainly due to the burning of fossil fuels such as coal, oil and gas.

Source: <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change>. Accessed 19 July 2024.

2. Definition of climate change adopted by Mexican Government:

It can be defined as any significant change in the planet's climate system, which lasts for decades or longer. Global warming is the most obvious manifestation of climate change and refers to the average increase in global land and sea temperatures. Over the past three decades, the Earth's surface has become increasingly warmer, surpassing records for any time prior to 1850.

Source: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/que-es-el-cambio-climatico-134038>. Accessed 19 July 2024.

Key words defined:

Temperature warming/increase
Human activities
CO₂ emissions
Temperature change
Climate change

In the following table respondents' personal opinion and the score obtained (this is, the raw number of topics that agrees to the five keywords defined from the proposed definition) are shown:

Respondent' ID	Personal opinion on climate change definition (per participant)	Score (1-5)
2	"Global warming affects the ocean."	1
3	"That it is hotter and there is no water because of low rainfall."	2
4	"Presence of hurricanes, extreme weather."	1
5	"Many things, there is more heat."	1
6	"Switching from hot to cold, diseases."	1
7	"Change in temperature, warmer summer."	1
8	"Damage to the earth, atmosphere, extreme weather, major temperature changes."	2
9	"Alteration of the normal temperature, hotter summers."	2
10	"I imagine it's the heat that has increased."	1
11	"The human being is running out the planet."	1
12	"Change in the sea that causes whale sightings or some other animals to change, seasons move. There is no beach."	1
13	"Human activities that affect. Misuse of the natural resource."	1
14	"It is the alteration or how we humans affect the planet and that is reflected in the climate."	2
15	"Weather that cannot be predicted, sometimes hotter than before. Increase in temperature."	2
16	"Alteration of temperature. Changes, hotter summers, colder winters both in the mountains and at sea."	2
17	"Main alteration of the ecosystem and changing, unpredictable weather conditions."	1
18	"Negative change of humans on the planet that modifies the environment and resources."	1
19	"Change of temperature in the environment, affecting the environment such as the sea, affecting and benefiting the landscape. Little or excessive rainfall."	1
20	"Unpredictable changes in climate and ecosystems."	1
21	"Variation in the planet's temperature resulting in more frequent and intense weather changes, hurricanes, rainfall, floods and environmental imbalance."	2
22	"Damage and pollution to the environment unconsciously by humans."	1
23	"All the changes that humans have caused, which does not make it sustainable, due to corruption in the exploitation of the resource only for the present and not for the future."	1
24	"Phenomenon that occurs due to ozone layer degradation, melting ice and temperature increase."	1
25	"Human-affected climate change."	2
26	"When it is warmer than other years and this affects the planet."	1
27	"More heat in the world."	1

Respondent' ID	Personal opinion on climate change definition (per participant)	Score (1-5)
28	"Order and disorder of nature, it is something natural that must happen, an adaptation to the times, natural changes in the climate due to natural movements."	0
29	"Changes in global climate and resources."	1
30	"I hear the earth is warming up."	1
31	"Change in the weather, it is no longer as it used to be, now it is warmer."	2
32	"Natural event being accelerated by humans."	1
33	-	0
34	"Changes in the ecosystem, damages at all levels."	0
35	"I have heard little about climate change, I think it is the affectation for the planet."	0
36	"Environmental change."	0
37	"I think climate change is a lie, the climate is naturally changing. I see no evidence that climate is changing. Humans do affect ecosystems."	0
38	"Sudden changes in temperature."	1
39	"Rain where there was none before, drought where there was none, and little preparation for change."	1
40	"When changes in the weather occur that had not happened before, such as too much heat."	2
41	"There is drought when it should be raining, the sighting animals do not arrive or move away."	1
42	"Changes in climate that are perceived as anthropological damage, but they are natural."	1
43	"Changes in climate due to pollution, higher and lower temperatures."	3
44	"Global warming."	1
45	"Changes in climate affecting the planet."	1
46	"We are seeing more global warming, more hurricanes and damage to the environment."	1
47	"That there will be droughts and a lot of heat."	1
48	"Humans have polluted the planet so much that the planet changes."	1

SUPPLEMENTARY MATERIAL 3 [SM3]

Drivers of pro-environmental behaviors and risk perception to climate change in small coastal communities: An insight from the Mexican Pacific

Milanés-Salinas, María de los Ángeles^a; Norzagaray, Carlos Orión^{a*}; Seingier, Georges^b; Gómez-Hernández, Guadalupe^b; Zepeda-Domínguez, José Alberto^b; Beltrán-Morales, Luis Felipe^c.

^a Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO), Universidad Autónoma de Baja California. Carretera Ensenada-Tijuana No. 3917, Fracc. Playitas, C.P. 22860. Ensenada, México.

^b Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California. Carretera Ensenada-Tijuana No. 3917, Fracc. Playitas, C.P. 22860. Ensenada, México.

^c Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C., Km. 1 Carretera a San Juan de La Costa "El Comitán" La Paz, C.P. 23205. La Paz, México.

*Email: orion.norzagaray@uabc.edu.mx

SUPPLEMENTARY MATERIAL 3 [SM3]

	AGE [§]	YRS [§]	ACT [§]	SCH [§]	BC [¥]	K [¥]	PRE [¥]	DPE [¥]	CN [¥]	PEB [‡]	RE [‡]	RP [‡]
Age (AGE) [§]		0.01	0.14	<0.01	0.12	0.94	0.06	0.42	0.01	0.94	0.07	0.07
Years of residence in CP (YRS) [§]	0.37		0.70	0.05	0.03	0.17	0.10	0.02	0.11	0.25	0.67	0.27
Activity in CP (ACT) [§]	-0.22	-0.06		0.01	0.15	0.38	<0.01	0.03	0.43	0.95	0.02	0.07
Education (SCH) [§]	-0.58	-0.29	0.39		0.25	0.41	0.01	0.89	0.59	0.94	0.13	0.03
Belief certainty (BC) [¥]	-0.23	0.33	0.22	0.17		0.94	0.02	0.13	0.06	0.01	0.13	0.94
Knowledge (K) [¥]	0.01	0.20	0.13	-0.12	0.01		0.99	0.76	0.96	0.18	0.57	0.06
Perceived residential exposure (PRE) [¥]	-0.28	0.24	0.44	0.41	0.34	0.00		0.23	0.33	0.73	0.16	0.02
Direct personal experiences (DPE) [¥]	0.12	0.34	0.32	0.02	0.23	-0.05	0.18		0.05	1.00	0.64	0.78
Connection to nature (CN) [¥]	0.00	0.24	0.12	-0.08	0.28	0.01	0.15	0.29		0.44	0.75	0.06
Pro environmental behavior (PEB) [‡]	-0.01	0.17	0.01	-0.01	0.36	-0.20	0.05	0.00	0.12		0.01	0.66
Efficacy response (RE) [‡]	-0.27	0.06	0.34	0.23	0.23	0.09	0.21	-0.07	-0.05	0.37		0.33
Risk Perception (RP) [‡]	-0.21	-0.12	0.27	0.32	0.01	-0.28	0.34	0.04	0.27	0.07	0.15	

Spearman's correlation matrix. Sociodemographic (§), predictor (¥) and model (‡) variables were included. Values below the diagonal indicate the Spearman correlation value and above the diagonal, the significance values. Significant correlations are shown in bold.

References

- Aburto-Oropeza, O., Erisman, B., Galland, G.R., Mascareñas-Osorio, I., Sala, E., Ezcurra, E., 2011. Large recovery of fish biomass in a No-take marine reserve. *PLoS One* 6 (8), e23601. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023601>.
- Adger, W.N., Hughes, T.P., Folke, C., Carpenter, S.R., Rockstrom, J., 2005. Social-ecological resilience to coastal disasters. *Science* 309 (5737), 1036–1039.
- Adhikari, B., Taylor, K., 2012. Vulnerability and adaptation to climate change: a review of local actions and national policy response. *Clim. Dev.* 4 (1), 54–65. <https://doi.org/10.1080/17565529.2012.664958>.
- Álvarez Del Castillo, P.A., Herrero-Pérezrul, M.D., Reyes-Bonilla, H., Cupul-Magaña, A.C., 2021. Valoración económica por servicios ambientales de recreación, el caso del buceo autónomo y esnórquel en el Parque Nacional Cabo Pulmo. *El Periplo Sustentable* 39, 410–432. <https://doi.org/10.36677/elperiplo.v0i39.11494>.
- Ángeles, V., Gámez, A., Menares, B., 2008. Análisis de las condiciones de la calidad de vida. In: first ed. *Turismo y sustentabilidad en Cabo Pulmo, Baja California Sur*. San Diego State University, Universidad Autónoma de Baja California and Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, San Diego, p. 316.
- Antronico, L., Coscarelli, R., De Pascale, F., Di Matteo, D., 2020. Climate change and social perception: a case study in Southern Italy. *Sustainability* 12 (17), 6985. <https://doi.org/10.3390/su12176985>.
- Arbuckle, J.G., Prokopy, L.S., Haigh, T., Hobbs, J., Knoot, T., Knutson, C., Loy, A., Mase, A.S., McGuire, J., Morton, L.W., Tyndall, J., Widhalm, M., 2013. Climate change beliefs, concerns, and attitudes toward adaptation and mitigation among farmers in the Midwestern United States. *Clim. Change* 117 (4), 943–950. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0707-6>.
- Arif, S., Graham, N.A.J., Wilson, S., MacNeil, M.A., 2022. Causal drivers of climate-mediated coral reef regime shifts. *Ecosphere* 13 (3), e3956. <https://doi.org/10.1002/ecs2.3956>.
- Arroyo, A.L., Moo, C.M.J., Segrado, P.R.G., 2022. Percepción social del aprovechamiento turístico en Áreas Naturales Protegidas. *Revista Brasileira de Pesquisa em Turismo* 16. <https://doi.org/10.7784/rbtur.v162222.e-222>.
- Asare-Kyei, D., Renaud, F.G., Kloos, J., Walz, Y., Rhyner, J., 2017. Development and validation of risk profiles of West African rural communities facing multiple natural hazards. *PLoS One* 12 (3), e0171921. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171921>.
- Aslam, A., Rana, I.A., 2022. Impact of the built environment on climate change risk perception and psychological distancing: empirical evidence from Islamabad, Pakistan. *Environ. Sci. Pol.* 127, 228–240. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.10.024>.

- Bamberg, S., Möser, G., 2007. Twenty years after Hines, Hungerford, and Tomera: a new meta-analysis of psycho-social determinants of pro-environmental behaviour. *J. Environ. Psychol.* 27 (1), 14–25. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2006.12.002>.
- Barberi, F., Davis, M.S., Isaia, R., Nave, R., Ricci, T., 2008. Volcanic risk perception in the Vesuvius population. *J. Volcanol. Geoth. Res.* 172 (3–4), 244–258. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2007.12.011>.
- Bartelet, H.A., Barnes, M.L., Zoeller, K.C., Cumming, G.S., 2022. Social adaptation can reduce the strength of social–ecological feedbacks from ecosystem degradation. *People and Nature* 4 (4), 856–865. <https://doi.org/10.1002/pan3.10322>.
- Bertoni, M., Lopez, M.J., 2010. Percepciones sociales ambientales Valores y actitudes hacia la conservación de la Reserva de Biosfera “Parque Atlántico Mar Chiquita” – Argentina. *Estud. Perspect. Tur.* 9 (5), 835–849.
- Bradley, G.L., Babutsidze, Z., Chai, A., Reser, J.P., 2020. The role of climate change risk perception, response efficacy, and psychological adaptation in pro- environmental behavior: a two nation study. *J. Environ. Psychol.* 68 (101410). <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2020.101410>.
- Cariño, M., Valle, E., Monteforte, M., Arizpe, O., Aceves, J.S., 2008. La creación del Área Natural Protegida: Actores, procesos y retos. In: *Turismo y sustentabilidad en Cabo Pulmo, Baja California Sur*, first ed. San Diego State University, Universidad Autónoma de Baja California and Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, San Diego, p. 316.
- Carlton, S.J., Jacobson, S.K., 2013. Climate change and coastal environmental risk perceptions in Florida. *J. Environ. Manag.* 130, 32–39. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.08.038>.
- Carriquiry, J.D., Cupul-Magaña, A.L., Rodríguez-Zaragoza, F., Medina-Rosas, P., 2001. Coral bleaching and mortality in the Mexican Pacific during the 1997–98 El Niño and prediction from a remote sensing approach. *Bull. Mar. Sci.* 69 (1), 237–249.
- Castorena-Davis, L., Santelices-Letelier, P., Pacheco-Valaguez, M., 2008. Mujeres de sal: Género y turismo sustentable en Cabo Pulmo. In *Turismo y sustentabilidad en Cabo Pulmo, Baja California Sur*, first ed. San Diego State University, Universidad Autónoma de Baja California and Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, San Diego, p. 316.
- Cheung, W.W.L., Lam, V.W.Y., Sarmiento, J.L., Kearney, K., Watson, R., Zeller, D., Pauly, D., 2010. Large-scale redistribution of maximum fisheries catch potential in the global ocean under climate change. *Glob. Change Biol.* 16 (1), 24–35. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01995.x>.
- Cinner, J.E., McClanahan, T.R., Graham, N.A.J., Daw, T.M., Maina, J., Stead, S.M., Wamukota, A., Brown, K., Bodin, O., 2012. Vulnerability of coastal communities to key impacts of climate change on coral reef fisheries. *Glob. Environ. Change* 22 (1), 12–20. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.09.018>.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, (CONANP)., 2009. Programa de Conservación y manejo Parque Nacional Cabo Pulmo. CONANP, México.

- Comisión Nacional del Sistema de Ahorro para el Retiro (CONSAR), 2021. Ley de los sistemas de ahorro para el retiro [Government]. <https://www.gob.mx/consar/documentos/normativa-ley-de-los-sistemas-de-ahorro-para-el-retiro>.
- Corral-Verdugo, V., Frias Armenta, M., González-Lomeli, D., 2003. Percepción de riesgos, conducta proambiental y variables demográficas en una comunidad de Sonora, México. *Región Soc.* 15 (26), 49–72.
- Corraliza, J.A., Moll, A., 2021. La percepción del cambio climático en Áreas protegidas: Estudio en el Parque Nacional de Garajonay y Parque Regional de Sierra Espuña, Informe final. In: *Co-Adaptación 2021: conocimiento colaborativo para acelerar la adaptación al cambio climático*, p. 93.
- Ellis, J.I., Jamil, T., Anlauf, H., Coker, D.J., Curdia, J., Hewitt, J., Jones, B.H., Krokos, G., Kürten, B., Hariprasad, D., Roth, F., Carvalho, S., Hoteit, I., 2019. Multiple stressor effects on coral reef ecosystems. *Glob. Change Biol.* 25 (12), 4131–4146. <https://doi.org/10.1111/gcb.14819>.
- Folke, C., Pritchard, L., Berkes, F., Colding, J., Svedin, U., 2007. The problem of fit between ecosystems and institutions. *Ecol. Soc.* 12 (1). JSTOR. <http://www.jstor.org/stable/26267849>.
- Fronzel, M., Simora, M., Sommer, S., 2017. Risk perception of climate change: empirical evidence for Germany. *Ecol. Econ.* 137, 173–183. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.02.019>.
- Gholamrezai, S., Aliabadi, V., Ataei, P., 2021. Understanding the pro-environmental behavior among green poultry farmers: application of behavioral theories. *Environ. Dev. Sustain.* 23 (11), 16100–16118. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01331-1>.
- Gosling, E., Williams, K.J.H., 2010. Connectedness to nature, place attachment and conservation behaviour: testing connectedness theory among farmers. *J. Environ. Psychol.* 30 (3), 298–304. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2010.01.005>.
- Hall, T.E., Slothower, M., 2009. Cognitive factors affecting homeowners' reactions to defensible space in the Oregon coast range. *Soc. Nat. Resour.* 22 (2), 95–110. <https://doi.org/10.1080/08941920802392187>.
- Halpern-Felsher, B.L., Millstein, S.G., Ellen, J.M., Adler, N.E., Tschann, J.M., Biehl, M., 2001. The role of behavioral experience in judging risks. *Health Psychol. : Official Journal of the Division of Health Psychology, American Psychological Association* 20 (2), 120–126.
- Harborne, A.R., Rogers, A., Bozec, Y.-M., Mumby, P.J., 2017. Multiple stressors and the functioning of coral reefs. *Ann. Rev. Mar. Sci.* 9 (1), 445–468. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010816-060551>.
- Hines, J.M., Hungerford, H.R., Tomera, A.N., 1987. Analysis and synthesis of research on responsible environmental behavior: a meta-analysis. *J. Environ. Educ.* 18 (2), 1–8. <https://doi.org/10.1080/00958964.1987.9943482>.

- Hughes, T.P., Kerry, J.T., Álvarez-Noriega, M., Álvarez-Romero, J.G., Anderson, K.D., Baird, A.H., Babcock, R.C., Beger, M., Bellwood, D.R., Berkelmans, R., Bridge, T. C., Butler, I.R., Byrne, M., Cantin, N.E., Comeau, S., Connolly, S.R., Cumming, G.S., Dalton, S.J., Diaz-Pulido, G., Wilson, S.K., 2017. Global warming and recurrent mass bleaching of corals. *Nature* 543 (7645), 373–377. <https://doi.org/10.1038/nature21707>.
- Huntington, H.P., Brown-Schwalenberg, P.K., Frost, K.J., Fernandez-Gimenez, M.E., Norton, D.W., Rosenberg, D.H., 2002. Observations on the workshop as a means of improving communication between holders of traditional and scientific knowledge. *Environ. Manag.* 30 (6), 778–792. <https://doi.org/10.1007/s00267-002-2749-9>.
- Ibáñez-Pérez, R., 2016. Capacidad de carga turística como base para el manejo sustentable de actividades ecoturísticas en Unidades de Manejo Ambiental (UMA) de Baja California Sur (BCS). *El Periplo Sustentable* 1 (30), 37–76.
- Ibáñez-Pérez, R., 2018. Measurement of tourism sustainability in a small coastal town through indicators, barometers and consultation with experts. *Nova Scientia* 10 (21), 475–523.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECOL), 2018. Que es el cambio climático? [Government]. <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/que-es-el-cambio-climatico>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2023. Principales resultados del Censo de Población y Vivienda 2020, Baja California Sur, p. 146. INEGI.
- Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC), 2023. Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, first ed. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>.
- Kellstedt, P.M., Zahran, S., Vedlitz, A., 2008. Personal efficacy, the information environment, and attitudes toward global warming and climate change in the United States. *Risk Anal.* 28 (1), 113–126. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2008.01010.x>.
- Lachapelle, P.R., Albrecht, D.E., 2019. Addressing Climate Change at the Community Level in the United States, first ed. Routledge.
- Lavigne, F., De Coster, B., Juvin, N., Flohic, F., Gaillard, J.-C., Texier, P., Morin, J., Sartohadi, J., 2008. People's behaviour in the face of volcanic hazards: perspectives from Javanese communities, Indonesia. *J. Volcanol. Geoth. Res.* 172 (3–4), 273–287. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2007.12.013>.
- Lévy-Leboyer, C., Bonnes, M., Chase, J., Ferreira-Marques, J., Pawlik, K., 1996. Determinants of pro-environmental behaviors. *Eur. Psychol.* 1 (2), 123–129. <https://doi.org/10.1027/1016-9040.1.2.123>.
- Libarkin, J.C., Gold, A.U., Harris, S.E., McNeal, K.S., Bowles, R.P., 2018. A new, valid measure of climate change understanding: associations with risk perception. *Clim. Change* 150 (3–4), 403–416. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2279-y>.

- Mackay, C.M.L., Schmitt, M.T., 2019. Do people who feel connected to nature do more to protect it? A meta-analysis. *J. Environ. Psychol.* 65 (101323). <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2019.101323>.
- Martínez-Salgado, C., 2012. El muestreo en investigación cualitativa: Principios básicos y algunas controversias. *Ciência Saúde Coletiva* 17 (3), 613–619. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232012000300006>.
- Mayer, F.S., Frantz, C.M., 2004. The connectedness to nature scale: a measure of individuals' feeling in community with nature. *J. Environ. Psychol.* 24 (4), 503–515. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2004.10.001>.
- McMichael, A.J., Woodruff, R.E., Hales, S., 2006. Climate change and human health: present and future risks. *Lancet* 367 (9513), 859–869. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(06\)68079-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(06)68079-3).
- McNamara, K.E., Clissold, R., Westoby, R., Piggott-McKellar, A.E., Kumar, R., Clarke, T., Namoumou, F., Areki, F., Joseph, E., Warrick, O., Nunn, P.D., 2020. An assessment of community-based adaptation initiatives in the Pacific Islands. *Nat. Clim. Change* 10 (7), 628–639. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0813-1>.
- Méndez-Vasconcelos, M.E., Rodríguez, E.A., Jurado-Ybarra, E., Aguirre-Calderón, O.A., 2014. Percepción social de problemas ambientales en una comunidad estudiantil del Norte de México. *Ciencia UANL*, 65(1). <https://cienciauanl.uanl.mx/?p=814/>.
- Nelson, D.R., Adger, W.N., Brown, K., 2007. Adaptation to environmental change: contributions of a resilience framework. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 32 (1), 395–419. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.32.051807.090348>.
- Nisbet, E.K., Zelenski, J.M., Murphy, S.A., 2009. The nature relatedness scale: linking individuals' connection with nature to environmental concern and behavior. *Environ. Behav.* 41 (5), 715–740. <https://doi.org/10.1177/0013916508318748>.
- Olmos-Martínez, E., González-Avila, M.E., Contreras-Loera, M.R., 2013. Percepción de la población frente al cambio climático en Áreas Naturales Protegidas de Baja California Sur, México. *POLIS, Revista Latinoamericana* 12 (35), 1–17.
- Otto, A., Kern, K., Haupt, W., Eckersley, P., Thieken, A.H., 2021. Ranking local climate policy: assessing the mitigation and adaptation activities of 104 German cities. *Clim. Change* 167 (1–2), 5. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03142-9>.
- O'Connor, R.E., Bord, R.J., Fisher, A., 1999. Risk perceptions, general environmental beliefs, and willingness to address climate change. *Risk Anal.* 19 (3), 461–471. <https://doi.org/10.1023/A:1007004813446>.
- Prins, G., 2013. *Threats without Enemies, Facing Environmental Security*, 0 ed., vol. 17. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315066196>.
- Quintana Bustamante, R., 2022. “Ya no necesitamos ir a pescar”: Turistificación, terciarización económica y reconfiguraciones socio-ambientales en el Parque Nacional Cabo Pulmo, Baja California Sur (México). *ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS SCRIPTA* 8 (2), 17–43. <https://doi.org/10.18242/anpscripta.2022.08.08.02.0002>.

- Quiroz-Niño, C., Murga-Menoyo, M., 2017. Social and solidarity economy, sustainable development goals, and community development: the mission of adult education & training. *Sustainability* 9 (12), 2164. <https://doi.org/10.3390/su9122164>.
- Reser, J.P., Bradley, G.L., 2020. The nature, significance, and influence of perceived personal experience of climate change. *WIREs Climate Change* 11 (5), e668. <https://doi.org/10.1002/wcc.668>.
- Reyes-Bonilla, H., Cárdenas, P., Calderon-Aguilera, L., Ricárdez, C., Fernández-Rivera Melo, F., Frausto, T., Salguero, B., Moreno-Sánchez, X., Torres, M., Orión, N.-L., Petatán, D., 2014. Servicios ambientales de arrecifes coralinos: El caso del Parque Nacional Cabo Pulmo, B.C.S.
- Reyna-Fabian, M., Espinoza Tenorio, A., Seingier, G., Ortiz-Lozano, L., Espejel, I., 2018. De la evaluación ecológica a la socio-ecológica: La vulnerabilidad de los arrecifes de coral ante los factores de estrés asociados al cambio climático. *Sociedad y Ambiente* 6 (17), 59–92. <https://doi.org/10.31840/sya.v0i17.1840>.
- Riegl, B., Bruckner, A., Coles, S.L., Renaud, P., Dodge, R.E., 2009. Coral reefs: threats and conservation in an era of global change. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 1162 (1), 136–186. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04493.x>.
- Rife, A.N., Erisman, B., Sanchez, A., Aburto-Oropeza, O., 2013. When good intentions are not enough ... Insights on networks of “paper park” marine protected areas. *Conservation Letters* 6 (3), 200–212. <https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2012.00303.x>.
- Rioja-Nieto, R., Álvarez-Filip, L., 2019. Coral reef systems of the Mexican Caribbean: status, recent trends and conservation. *Mar. Pollut. Bull.* 140, 616–625. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.07.005>.
- Rios, Bocanegra, E. E., Thomson, C.S., 2024. Developing climate change adaptation plans for the health sector at the subnational level. *Sustainability* 16 (3), 1090. <https://doi.org/10.3390/su16031090>.
- Salvadeo, C., Morzaria-Luna, H.N., Reyes-Bonilla, H., Ivanova-Bonchera, A., Ramírez, D.P., Juárez-León, E., 2021. Fisher’s perceptions inform adaptation measures to reduce vulnerability to climate change in a Mexican natural protected area. *Mar. Pol.* 134, 104793. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104793>.
- Sandoval, J., Castañón-Puga, M., Gaxiola-Pacheco, C., Suarez, E., 2017. Identifying Clusters of Complex Urban–Rural Issues as Part of Policy Making Process Using a Network Analysis Approach: A Case Study in Bahía de Los Angeles, Mexico. *Sustainability* 9 (6), 1059. <https://doi.org/10.3390/su9061059>.
- Santos-Lacueva, R., Clavé, S.A., Saladié, O., 2017. The vulnerability of coastal tourism destinations to climate change: the usefulness of policy analysis. *Sustainability* 9 (11), 2062. <https://doi.org/10.3390/su9112062>.

- Schultz, P.W., Shriver, C., Tabanico, J.J., Khazian, A.M., 2004. Implicit connections with nature. *J. Environ. Psychol.* 24 (1), 31–42. [https://doi.org/10.1016/S0272-4944\(03\)00022-7](https://doi.org/10.1016/S0272-4944(03)00022-7).
- Siegrist, M., ´Arvai, J., 2020. Risk perception: reflections on 40 Years of research. *Risk Anal.* 40 (S1), 2191–2206. <https://doi.org/10.1111/risa.13599>.
- Simpson, N.P., Mach, K.J., Constable, A., Hess, J., Hogarth, R., Howden, M., Lawrence, J., Lempert, R.J., Muccione, V., Mackey, B., New, M.G., O'Neill, B., Otto, F., Pörtner, H.-O., Reisinger, A., Roberts, D., Schmidt, D.N., Seneviratne, S., Strongin, S., Trisos, C.H., 2021. A framework for complex climate change risk assessment. *One Earth* 4 (4), 489–501. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.03.005>.
- Soares, D., Sandoval-Ayala, N.C., 2016. Perceptions of vulnerability to climate change in a rural community in Yucatán. *Tecnología y Ciencias Del Agua* 7 (4), 113–128.
- Sun, Y., Han, Z., 2018. Climate change risk perception in Taiwan: correlation with individual and societal factors. *Int. J. Environ. Res. Publ. Health* 15 (1), 91. <https://doi.org/10.3390/ijerph15010091>.
- Treviño-Aguilar, D., Almendarez-Hernández, L., Zepeda-Domínguez, J.A., 2019. Evaluación Integral del Parque Nacional Cabo Pulmo. In: Economía, manejo y conservación en Áreas protegidas de México, first ed., vol. 1. Universidad Autónoma de Baja California Sur and Universidad Autónoma Chapingo, pp. 211–252.
- United Nations (UN), 2023a. The Sustainable Development Goals, Report 2023: Special Edition, towards a Rescue Plan for People and Planet, p. 80. United Nations.
- United Nations (UN), 2023b. Desafíos globales, Cambio climático. Definición de Cambio Climático. <https://www.un.org/es/global-issues/climate-change>.
- Van Der Linden, S., 2015. The social-psychological determinants of climate change risk perceptions: towards a comprehensive model. *J. Environ. Psychol.* 41, 112–124. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2014.11.012>.
- Van Valkengoed, A.M., Steg, L., 2019. Meta-analyses of factors motivating climate change adaptation behaviour. *Nat. Clim. Chan.* 9 (2), 158–163. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0371-y>.
- Wachinger, G., Renn, O., Begg, C., Kuhlicke, C., 2013. The risk perception paradox—implications for governance and communication of natural hazards. *Risk Anal.* 33 (6), 1049–1065. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2012.01942.x>.
- Wang, C., Geng, L., Rodríguez-Casallas, J.D., 2021. How and when higher climate change risk perception promotes less climate change inaction. *J. Clean. Prod.* 321 (128952). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128952>.
- Whitmarsh, L., 2008. Are flood victims more concerned about climate change than other people? The role of direct experience in risk perception and behavioural response. *J. Risk Res.* 11 (3), 351–374. <https://doi.org/10.1080/13669870701552235>.

- Williams, C., 2002. "New security" risks and public educating: the significance of recent evolutionary brain science. *J. Risk Res.* 5 (3), 225–248. <https://doi.org/10.1080/13669870110048268>.
- World Health Organization (WHO), 2014. Guidance to Protect Health from Climate Change through Health Adaptation Planning, p. 23. WHO. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241508001>.
- Xie, B., Brewer, M.B., Hayes, B.K., McDonald, R.I., Newell, B.R., 2019. Predicting climate change risk perception and willingness to act. *J. Environ. Psychol.* 65 (101331). <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2019.101331>.
- Yu, T.-K., Chang, Y.-J., Chang, I.-C., Yu, T.-Y., 2019. A pro-environmental behavior model for investigating the roles of social norm, risk perception, and place attachment on adaptation strategies of climate change. *Environ. Sci. Pollut. Control Ser.* 26 (24), 25178–25189. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05806-7>.
- Zar, J.H., 1999. *Biostatistical Analysis*, fourth ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.

Capítulo 4. Discusión y conclusiones generales

4.1 Vulnerabilidad socioecológica y percepción social

Hay una diversidad de modelos que evalúan sistemas socioecológicos, y todos ellos tienen la capacidad de integrar diversas disciplinas naturales y sociales en indicadores para fundamentar teóricamente hipótesis sobre las dinámicas e implicaciones de las interacciones socioecológicas (Leslie *et al.*, 2015; Partelow, 2018). Además, permiten proponer esquemas de gestión que persiguen alcanzar metas de sustentabilidad que benefician tanto a las sociedades humanas como a la naturaleza. En este caso, podemos observar que el subsistema social del modelo socioecológico implementado en Cabo Pulmo muestra que la comunidad ha desarrollado una alta dependencia económica sobre una pequeña parte de las actividades económicas permitidas, excluyendo otras potenciales. Esta dependencia y/o preferencia de la comunidad a un reducido número de actividades es una potencial amenaza a su economía a largo plazo, ya que consideran como poco importante explorar otras opciones de ingresos, o diversificar sus actividades laborales futuras, dada la necesidad inmediata de asegurar los ingresos diarios. Este es un patrón común en múltiples estudios relacionados a la evaluación de la percepción del riesgo ante algún estresor, donde se priorizan las necesidades inmediatas, dejando de lado los riesgos a largo plazo (Wachinger *et al.*, 2013; Milanés-Salinas *et al.*, 2025). Esto es observable en el modelo propuesto, y que corresponde al segundo término de la ecuación 1 utilizada para evaluar la sensibilidad social, el cual puede variar (o verse modificado) a favor del indicador, al disminuir el nivel de sensibilidad vía el aumento en el número de hogares que se dedican a más categorías profesionales (diversificación laboral), lo que puede favorecer la disminución de la vulnerabilidad (Lavign *et al.*, 2008; Tao and Wall, 2009; Prins 2013). Este tipo de estrategias es clave, y representa una potencial adaptación de la comunidad a efectos de CC.

La capacidad adaptativa del modelo describe la disposición de los encuestados a reaccionar ante cualquier cambio en las actividades económicas que llevan a cabo (Álvarez del Castillo, 2012; Cinner *et al.*, 2013), sin embargo, las puntuaciones finales de capacidad adaptativa pueden ser sensibles a las ponderaciones, en particular, por ejemplo, la ponderación otorgada a la multiplicidad ocupacional. Esto implicaría que la estimación de este indicador puede influir en su interpretación, esto es, si se le asigna una ponderación alta a este indicador, en especial por su importancia para la capacidad adaptativa, las comunidades más pobres y menos desarrolladas pero que tienen una alta multiplicidad

ocupacional se evaluarían como si tuvieran una mayor capacidad adaptativa. Por el contrario, las ponderaciones de los indicadores de capacidad adaptativa que dieran prioridad a la importancia de los bienes materiales y las infraestructuras afectarían la puntuación de este indicador de estas comunidades (Cinner *et al.*, 2013).

Aunque este trabajo se enfocó en el caso de servicios ecoturísticos de una comunidad costera a escala local, la evaluación de la vulnerabilidad con respecto al blanqueamiento como un estresor hacia el arrecife, el marco de referencia (modelo) y el instrumento que se desarrolló por medio de los indicadores, son adaptables para estudiar otros sistemas socioecológicos, tipos de actividad o sistemas sociales dependientes de recursos naturales. Del mismo modo, el marco podría adaptarse para explorar la vulnerabilidad ante otros tipos de presiones ambientales, económicas o sociales y priorizando el uso de metodologías de investigación que involucren indicadores sociales y cognitivos-conductuales (Bené *et al.*, 2009; Schwarz *et al.*, 2011; Mills *et al.*, 2011).

Respecto a la percepción social del riesgo al cambio climático, como se explicó en el capítulo 3, la comunidad considera principalmente el riesgo del cambio climático como una amenaza futura para su lugar de residencia, y no parecen reconocer el impacto sobre el ecosistema del que dependen económicamente, lo cual les permite enfocarse en el presente para asegurar el sustento diario y no considerar escenarios futuros donde se vean afectadas las actividades económicas que les generan el ingreso (Barberi *et al.*, 2008; Lavigne *et al.*, 2008; Wachinger *et al.*, 2013; Milanés-Salinas *et al.*, 2025). Esta percepción coincide con el indicador de sensibilidad social del modelo de vulnerabilidad, y sugiere que, al no considerar un riesgo del cambio climático sobre el arrecife, no se presenta la necesidad de diversificar las actividades económicas, lo cual aumenta la vulnerabilidad a largo plazo, sumado a que las actividades turísticas tienen sus propios riesgos asociados (p. ej., competencia económica, cambio en el precio de los combustibles, desastres naturales, etc.; Zhao y Brent Ritchie, 2007) y actualmente ya no es posible volver a las actividades pesqueras dentro del parque (CONANP, 2009; Santos-LaCueva *et al.*, 2017).

4.2 Escenarios de vulnerabilidad socioecológica

El Pacífico central mexicano puede ser considerado como un sitio natural para el estudio del impacto del cambio climático sobre los arrecifes de coral, debido al tipo de condiciones que lo caracterizan como lo son aguas más frías y con bajo pH, nutridas por las surgencias que ocurren en las costas, etc., pero también expuesto a eventos episódicos de ENSO, algunos de los cuales han sido catalogados como eventos catastróficos aislados (p. ej., baja probabilidad de ocurrencia) con alto impacto biológico (Calderón-Aguilera, 2007; Manzello *et al.*, 2017; Cortes *et al.*, 2017; Findlay *et al.*, 2025). Utilizando como herramienta el modelo de vulnerabilidad socioecológica propuesto, y las variables evaluadas en el capítulo anterior, se pueden establecer distintos escenarios en los que se mejoran los valores de los indicadores que podrían disminuir la vulnerabilidad, bajo el supuesto de implementar estrategias dirigidas a la comunidad, y a la par se aumentan aquellas variables que se relacionan con el cambio climático. De esta manera, se proponen tres escenarios distintos de vulnerabilidad socioecológica, considerando una visión en el corto, mediano y largo plazo, en los cuales se representan situaciones de aumento en la exposición del arrecife de coral al blanqueamiento debido al cambio climático, así como cambios en la sensibilidad de la comunidad y en su capacidad adaptativa (Anexos).

Para observar mejor la tendencia de los escenarios, se establecieron cuadrantes en los ejes de sensibilidad y capacidad adaptativa (x,y) dentro de una gráfica. Este diagrama se interpreta como que el primer cuadrante (C1) contempla una menor vulnerabilidad socioecológica ya que involucra una sensibilidad baja y una capacidad adaptativa alta; el cuadrante dos y tres (C2 y C3) contemplan variaciones en ambos indicadores, manifestando una vulnerabilidad socioecológica intermedia y, finalmente, el cuadrante cuatro (C4) contempla una vulnerabilidad socioecológica alta con sensibilidad social elevada y capacidad adaptativa mínima. En estos escenarios, el grado de exposición a estrés por blanqueamiento de coral (bajo, medio o alto) continúa graficado de acuerdo con el diámetro del círculo (tomar como referencia lo establecido en la Fig. II-5, del capítulo 2).

Escenario 1: "El peor de los escenarios socioecológicos"

Debido a que la temperatura y su intervalo de variación es una de las variables de mayor consideración como el factor de más peso que intervienen en el proceso del blanqueamiento de coral (Lesser, 2011; Hoegh-Guldberg, 2011), este escenario se desarrolla bajo el supuesto de un aumento de la exposición del arrecife de coral a estrés

por blanqueamiento debido al cambio climático en un 50%. Como ya se ha documentado, este aumento en la exposición arrecifal puede desencadenar una afectación al arrecife, haciendo que su atractivo turístico disminuya, lo que lleva a menos visitas de turistas y por consiguiente menos ingresos económicos a la comunidad (capítulo 1 y 3). Respecto al comportamiento socioeconómico, este escenario contempla: 1) la decisión de la comunidad de no diversificar las actividades ecoturísticas, lo cual repercute en un 25% algunas variables de capacidad adaptativa, como la capacidad de cambio, multiplicidad ocupacional, movilidad ocupacional, estilo de vida material, acceso al crédito y podría incrementar las deudas y 2) aumentar la preferencia de las actividades económicas actuales, dando como resultado un incremento aproximado de 25% la sensibilidad social (dada la costumbre de la comunidad de mantener como familiar los negocios).

Este escenario se considera como un escenario a largo plazo, donde las nuevas generaciones se han responsabilizado del negocio familiar y continúan con la dependencia a las actividades económicas actuales y el cambio climático sigue su avance, lo cual se refleja como un aumento de ~50% en el indicador de vulnerabilidad (de 0.44 a 0.86) (Anexo 1; tabla IV-1).

Tabla IV-1. Valores estimados de vulnerabilidad socioecológica y sus indicadores de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa para el escenario 1.

$V_{SocEcol} = E_{Ecol} + S_{Soc} - (AC_{Soc})$	Exposición	Sensibilidad	Capacidad adaptativa
	0.72	0.60	0.46
V=	0.86		

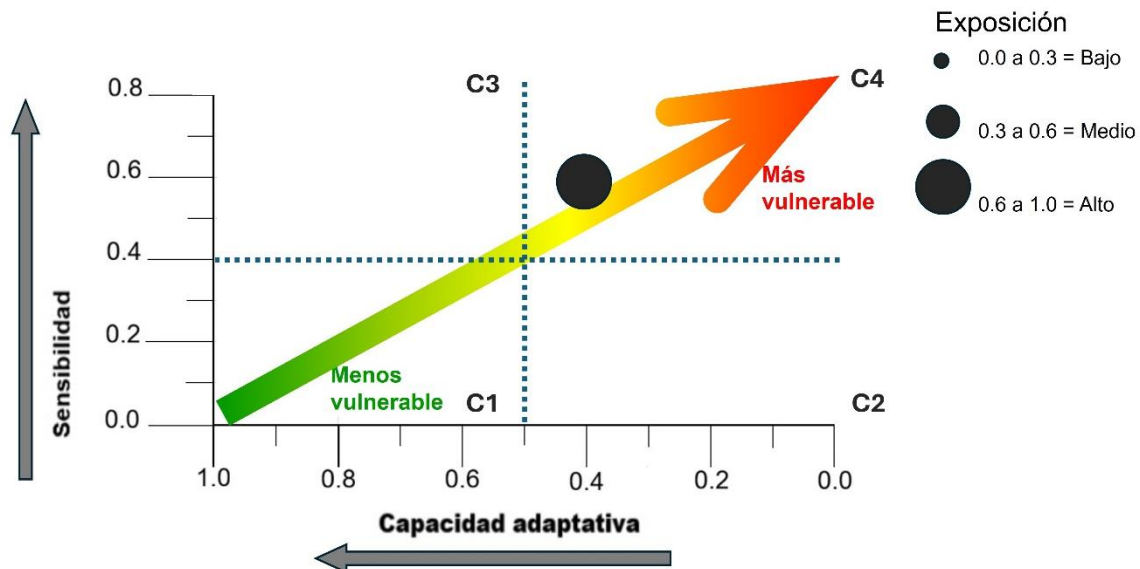


Figura IV-1. Escenario 1: "El peor de los escenarios socioecológicos". Este escenario considera una escala temporal de largo plazo, en el cual la exposición arrecifal es alta, la sensibilidad social aumenta y algunas variables de la capacidad adaptativa disminuyen dado el aumento de la sensibilidad. Se muestran los cuadrantes (C1 al C4). En la tabla IV-1 se muestran los valores estimados.

Bajo este escenario, la exposición del arrecife se encuentra en el rango de exposición alto, colocando la vulnerabilidad en el cuadrante C4 de la figura IV-1 y aumentando un 51%, de 0.44 a 0.86.

Escenario 2: "Diversificar para adaptar"

Este escenario se desarrolla bajo el supuesto de un aumento de la exposición del arrecife de coral a estrés por blanqueamiento debido al cambio climático en un 50% y respecto al comportamiento socioeconómico, se presenta una sensibilidad social reducida en un 50% de lo observado actualmente, dada la baja dependencia por parte de la comunidad hacia el arrecife (tabla IV-2). Esta reducción de la sensibilidad social se puede lograr por medio de la implementación de estrategias de diversificación laboral, ya que en comunidades costeras, se ha observado que la diversificación es una característica central en las estrategias de medios de vida de la mayoría de los hogares (Ellis, 1999; Ellis, 2000; Ellis and Allison, 2004). Para ello, es necesaria la participación de la comunidad, con la academia y las autoridades del parque para encontrar otras opciones de actividad económica que se ajuste al manejo del parque. Esta estrategia de diversificación laboral y disminución de la dependencia de las actividades laborales actuales, pueden impactar en la mejora de algunas variables de la capacidad adaptativa como la capacidad de cambio, multiplicidad

ocupacional, estilo de vida material y la tecnología (Anexo 1). Bajo este escenario, la vulnerabilidad socioecológica ha disminuido debido a la respuesta de la comunidad respecto a adicionar actividades económicas no relacionadas directamente con el arrecife de coral, aunque la exposición del arrecife alcance niveles esperados debido al cambio climático.

Tabla IV-2. Valores estimados de vulnerabilidad socioecológica y sus indicadores de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa para el escenario 2.

$V_{SocEcol} = E_{Ecol} + S_{Soc} - (AC_{Soc})$	Exposición	Sensibilidad	Capacidad adaptativa
	0.72	0.24	0.57
V=	0.40		

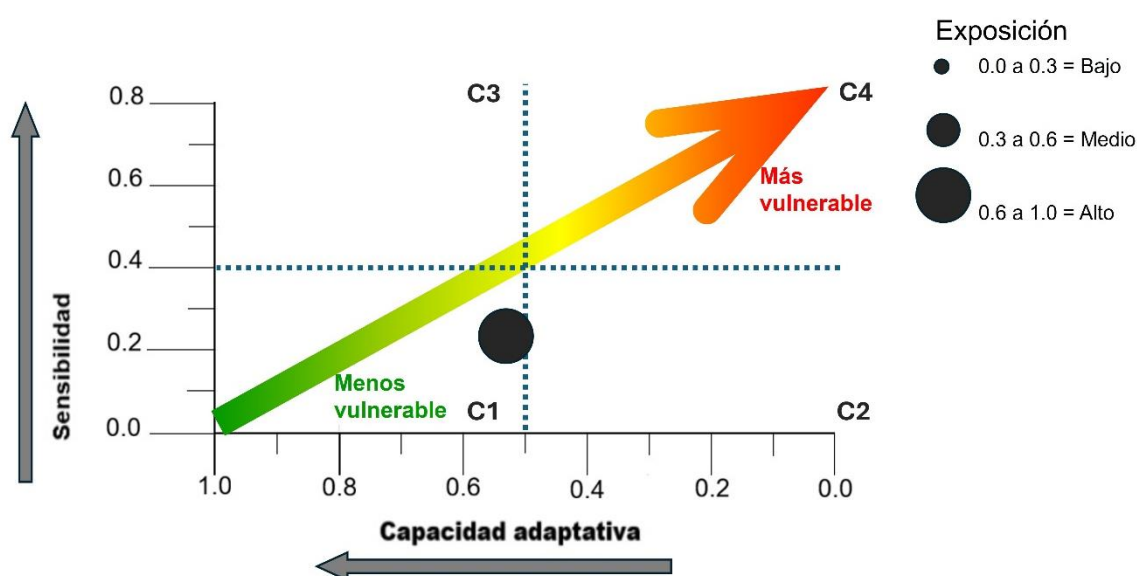


Figura IV-2. Escenario 2: "Diversificar para adaptar". Este escenario considera una escala temporal de mediano plazo, en el cual la exposición arrecifal es alta, la sensibilidad social disminuye y algunas variables de la capacidad adaptativa se ven mejoradas debido a la disminución de la sensibilidad. Se muestran los cuadrantes (C1 al C4). En la tabla IV-2 se muestran los valores estimados.

Es importante mencionar que las actividades económicas para aumentar la diversificación deben ser acordadas por la misma comunidad, ya que este escenario no funciona cuando se imponen actividades por actores externos (Ruiz-Ballesteros y del Campo Tejedor, 2020; Kimbu y Booyens, 2022). Aunque este escenario se ubica en el cuadrante C1, un resultado

positivo, aún sigue cerca del límite del C2 ya que la vulnerabilidad es de 0.40 (vulnerabilidad intermedia).

Escenario 3: "Cabo Pulmo bajo el escenario ideal"

Este escenario se considera como el ideal, debido a que se desarrolla en una escala a corto plazo bajo el supuesto de una exposición a blanqueamiento del arrecife actual (la evaluada en este trabajo), y se mejora la sensibilidad social reduciendo la dependencia sobre las actividades actuales en un 50% (tabla IV-3), así como una mejora de algunos componentes de la capacidad adaptativa actual. Para ello, se propone promover la diversificación laboral y aplicar una iniciativa de estrategia participativa para mejorar la percepción social del riesgo al cambio climático, que se desarrolló en el capítulo 3 de este trabajo. Además, este tipo de cambios (p. ej., concientización de la problemática actual) en la comunidad, se refleja en algunos componentes de la capacidad adaptativa, como la capacidad de agencia humana, además de la capacidad de cambio, multiplicidad ocupacional, estilo de vida material y la tecnología (Anexo 1). Bajo este escenario, considerando un plazo corto y abordando dos temas importantes de mejora para la comunidad, que son 1) una baja dependencia sobre los ingresos económicos relacionados con solo actividades en el parque, y 2) mejorando la percepción social del riesgo al cambio climático, se lograría reducir la vulnerabilidad socioecológica en un 27%, de 0.44 a 0.12. Cabe mencionar que, si se hace un ejercicio extra considerando este escenario, pero con una exposición alta (escenario 1: $E = 0.72$) simulando un largo plazo, la vulnerabilidad socioecológica se mantiene baja (de 0.44 a 0.36).

Tabla IV-3. Valores estimados de vulnerabilidad socioecológica y sus indicadores de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa para el escenario 3.

$V_{SocEcol} = E_{Ecol} + S_{Soc} - (AC_{Soc})$	Exposición	Sensibilidad	Capacidad adaptativa
	0.48	0.24	0.6
V=	0.12		

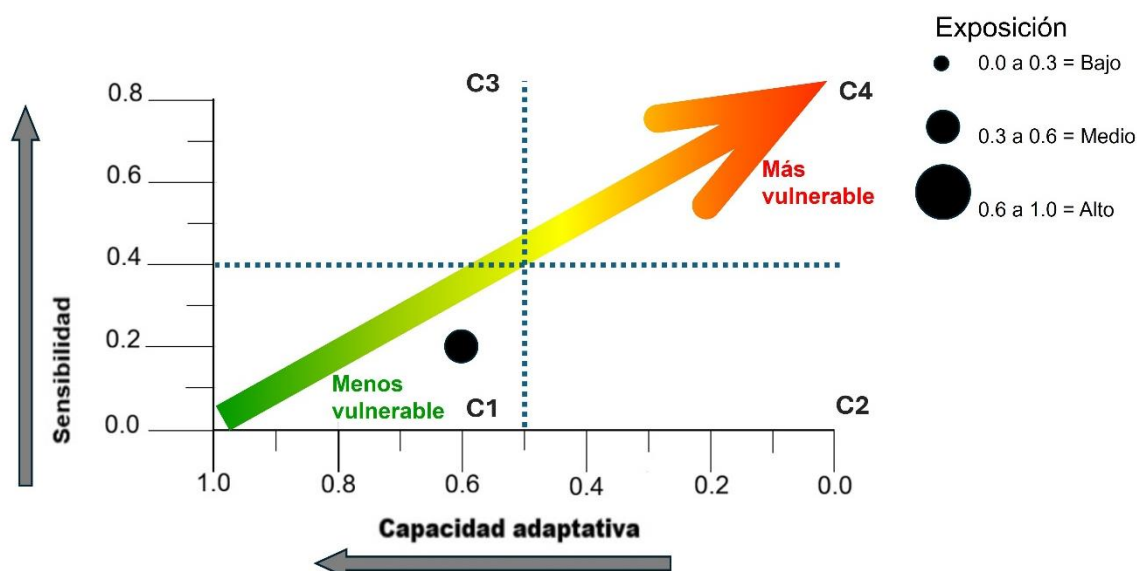


Figura IV-3. Escenario 3: "Cabo Pulmo bajo el escenario ideal". Este escenario considera una escala temporal de corto plazo, en el cual la exposición arrecifal es intermedia (la actual encontrada en este trabajo), la sensibilidad social disminuye y algunas variables de la capacidad adaptativa aumentan debido a la disminución de la sensibilidad. Se muestran los cuadrantes (C1 al C4).

Mantener la vulnerabilidad socioecológica en el cuadrante C1 con una exposición del arrecife baja sería el escenario teórico ideal, pero la exposición a estrés por blanqueamiento relacionada al cambio climático conlleva procesos complejos a escala global que pueden provocar cambios en los ecosistemas de todo el planeta (Walther *et al.*, 2002). Sin embargo, lograr implementar el escenario 3 es factible, dada la disposición de la comunidad a trabajar y desarrollar estrategias participativas con las organizaciones de la sociedad civil, las cuales están activas actualmente en el parque (Capítulo 2). Además, este tipo de planes estratégicos con la comunidad se pueden respaldar con el modelo hipotético aditivo que se desarrolló en el capítulo 3, donde se prioriza el entendimiento del riesgo al cambio climático por parte de la comunidad, el cual debería garantizar un vínculo entre las acciones de comportamiento proambiental y la percepción del riesgo del cambio climático, en lugar de estar impulsado por razones económicas inmediatas y/o el cumplimiento de las normas del parque.

Este tipo de ejercicios que permiten analizar distintos escenarios hipotéticos, respaldan el uso de modelos basados en indicadores socioecológicos para evaluar la vulnerabilidad, detectar variables o componentes clave, tanto de la sociedad como del ecosistema para desarrollar estrategias participativas que lleven a acciones para mejorar la capacidad adaptativa de las comunidades costeras, disminuir la dependencia económica de las

actividades laborales actuales y asegurar un patrimonio socioecológico futuro sostenible ante diversos escenarios de cambio climático.

4.3 Recomendaciones generales

Los modelos para evaluar la vulnerabilidad de socioecosistemas, como se mencionó anteriormente en el capítulo 1, son una herramienta valiosa para estimar potenciales impactos de estresores en los ecosistemas. En este trabajo lo hemos enfocado en evaluar la vulnerabilidad de Cabo Pulmo, una comunidad costera que depende fuertemente del ecoturismo, sin embargo, este trabajo es una propuesta que puede servir como marco de referencia para estudiar otros ambientes. Además, estos modelos son de gran relevancia, porque ofrecen una métrica que permite estimar (cuantitativamente) la vulnerabilidad como un índice, lo que se traduce en la posibilidad de poder contrastar entre diferentes sitios, cambios en el tiempo, o bien, potenciales respuestas a adaptaciones del componente social, incluyendo la interacción de efectos de eventos climáticos o estresores sobre el sistema biológico del cual dependen.

En el presente trabajo, se adaptó un modelo de vulnerabilidad socioecológica originalmente pensado para ser aplicado a extensiones mayores (p. ej., a nivel país o región) con actividades económicas relacionadas al aprovechamiento del arrecife por medio de la pesca, a una escala local y en el contexto de aprovechamiento indirecto (p. ej., ecoturismo de bajo impacto). Este “downscaling” es una necesidad para poder capturar mejor variables socioeconómicas, y así detectar indicadores clave, brindando la oportunidad de plantear escenarios para valorar la respuesta del índice de vulnerabilidad en la toma de decisiones para conservación y/o adaptación, en este caso, ver el capítulo 4, donde se formularon tres distintos escenarios ajustando variables (o indicadores) de la componente social del modelo. Además, en México es necesario establecer este tipo de adaptación de modelos de evaluación de vulnerabilidad al contexto local, ya que son muchas las comunidades que dependen, en mayor o menor grado, de los recursos naturales dentro de Áreas Naturales Protegidas (terrestres y marinas).

Con respecto a la evaluación de la exposición, en este trabajo se hace un análisis de un indicador usado a nivel global para valorar la exposición del arrecife a eventos de calentamiento, lo cual es un aporte novedoso al integrarlo en el modelo de vulnerabilidad,

donde existe un mecanismo bien estudiado sobre los efectos de este estresor. Este mecanismo asocia respuestas biológicas en los corales, esto es, un gradiente entre anomalías positivas acumuladas de temperatura del mar con la probabilidad de blanqueamiento hasta llegar a la mortalidad. Nuestros resultados indican que la estimación de la exposición de Cabo Pulmo tiene un nivel medio, en comparación a otros arrecifes del Pacífico central mexicano, indicando que otros arrecifes están más expuestos a estos eventos de calor acumulado. Este mecanismo del índice de exposición ha sido verificado por otros estudios para algunos eventos en particular, donde el porcentaje de blanqueamiento y mortalidad de corales estuvo asociado a eventos ENSO (p. ej., 2015-16 y 2023-24). Sin embargo, a pesar de la certeza en el uso de este indicador, es necesario resaltar que puede estar sujeto a falsos positivos, es decir, momentos cuando el indicador muestra valores que superan el umbral de respuesta de los corales, pero en el arrecife no se observó un efecto, o bien, este no fue evaluado o validado *in situ* durante o posterior a dicho evento.

Lo anterior resalta la necesidad de generar información regional con respecto a la causa-efecto de este estresor en el Pacífico central mexicano. Esta información fisiológica alimentaría el gradiente propuesto de la tabla II-1 (capítulo 2) respecto a la respuesta biológica, el cual está basado en la integración de respuestas de varios estudios, en diversas especies, y en diferentes lugares del mundo. Además, generar esta información especie-específica respecto a la respuesta al blanqueamiento y mortalidad es un aporte necesario, ya que permitiría, por un lado, calcular un valor de incertidumbre (umbrales más amplios de respuesta), mejorando así las estimaciones de respuestas negativas, pero además, incluir otros estresores. Esto es, otras variables ambientales, especialmente aquellas asociadas a estresores de largo plazo, como la acidificación oceánica, se ha reportado que tienen efectos sinérgicos sobre el metabolismo de estos organismos. Por ejemplo, especies del género *Pocillopora*, las especies más comunes que dominan los arrecifes de la región de Pacífico central mexicano, y que aportan más del 90% de la formación de estructuras arrecifales, son susceptibles a efectos negativos por temperaturas elevadas, donde además del blanqueamiento, mantienen la tasa de calcificación pero a un costo energético muy elevado, y que bajo escenarios de acidificación oceánica, la calcificación se detiene, afectando al mantenimiento del arrecife. Esto último resulta relevante, ya que tiene potenciales efectos secundarios sobre los servicios ecosistémicos

a largo plazo que brindan, y que se espera que continúen, como es el atractivo de las actividades turísticas en Cabo Pulmo.

Respecto a la percepción del riesgo al cambio climático por parte de la comunidad, en este trabajo encontramos que la comunidad no tiene una idea clara sobre este tipo de eventos de exposición, y aunque reconocen términos como “calentamiento del agua”, con base en sus respuestas consideramos que desconocen las causas, las posibles consecuencias directas sobre el arrecife (blanqueamiento y mortalidad al superar ciertos umbrales fisiológicos), pero también desconocen los efectos en cascada que pueden llegar a perjudicar los servicios ecosistémicos a largo plazo. Lo cual debe tomarse en consideración dado el perfil económico de la comunidad de Cabo Pulmo, ya que la mayoría de los negocios son encabezados por las familias fundadoras del parque y están manteniendo el manejo de las actividades económicas dentro de los integrantes de la misma familia.

Este estudio sobre la percepción del riesgo al cambio climático es un aporte importante, ya que si bien ha habido estudios realizados sobre la percepción en esta comunidad, se han enfocado específicamente en componentes económicos (sector privado) y/o sociales (líderes de la comunidad y actores clave), por lo que este es el primer trabajo que considera a la comunidad directamente, y nuestros resultados indican que dicha comunidad tiene una baja percepción del riesgo ante el cambio climático, sus indicadores y potenciales efectos negativos. Esto toma relevancia ya que la opinión pública tiene el poder de incentivar o perjudicar las acciones políticas, económicas y sociales destinadas a abordar el problema que plantea el cambio climático, lo que finalmente llega a niveles de gobierno donde se toman las medidas y las decisiones para todo el país. Además, permea hasta modificar el comportamiento de los individuos sobre las actividades diarias que en una escala global, puede influir en el proceso de mitigación y adaptación al cambio climático. Lo cual se abordó en el capítulo 3, donde se observó que al mejorar el conocimiento sobre el cambio climático y sus posibles impactos sobre el arrecife, la comunidad podrá realizar acciones en pro del ambiente basadas en una mejor comprensión de los impactos del cambio climático, lo que les permitirá adaptar sus actividades económicas en consecuencia.

4.4 Anexos

Valor promedio normalizado de los indicadores de capacidad adaptativa. Se muestra el 50% y 25% del valor del indicador y el valor promedio normalizado de cada indicador para cada tipo de escenario (1 al 3). Se muestra en azul aquellos indicadores que fueron modificados en cada escenario.

Indicadores de capacidad adaptativa	Valor promedio normalizado	50% del valor promedio normalizado	25% del valor promedio normalizado	Escenario 1: Capacidad adaptativa por indicador	Escenario 2: Capacidad adaptativa por indicador	Escenario 3: Capacidad adaptativa por indicador
Capacidad de agencia humana	0.46	0.23	0.11	0.34	0.46	0.69
Capacidad de cambio	0.34	0.17	0.08	0.25	0.51	0.51
Movilidad ocupacional	0.30	0.30	0.15	0.15	0.30	0.30
Multiplicidad ocupacional	0.26	0.13	0.06	0.19	0.39	0.39
Estilo de vida material	0.32	0.16	0.08	0.24	0.48	0.48
Tecnología	0.47	0.23	-	0.47	0.70	0.70
Infraestructura	0.50	-	-	0.50	0.50	0.50
Confianza	0.52	0.26	0.13	0.39	0.78	0.78
Acceso al crédito	0.72	0.72	0.18	0.54	0.72	0.72
Deudas	0.64	0.64	0.16	0.80	0.64	0.64

Capacidad Adaptativa para el escenario 1.

Escenario 1			
	Valor promedio por indicador	Peso normalizado	Capacidad adaptativa por indicador
Capacidad de agencia humana	0.34	0.04	0.01
Capacidad de cambio	0.25	0.12	0.03
Movilidad ocupacional	0.15	0.14	0.02
Multiplicidad ocupacional	0.19	0.02	0.005
Estilo de vida material	0.24	0.04	0.00
Tecnología	0.47	0.07	0.03
Infraestructura	0.50	0	0
Confianza	0.39	0.07	0.03
Acceso al crédito	0.54	0.22	0.12
Deudas	0.80	0.24	0.19
Capacidad adaptativa			0.46

Capacidad Adaptativa para el escenario 2.

Escenario 2			
	Valor promedio por indicador	Peso normalizado	Capacidad adaptativa por indicador
Capacidad de agencia humana	0.46	0.04	0.02
Capacidad de cambio	0.51	0.12	0.06
Movilidad ocupacional	0.30	0.14	0.04
Multiplicidad ocupacional	0.39	0.02	0.01
Estilo de vida material	0.48	0.04	0.01
Tecnología	0.70	0.07	0.05
Infraestructura	0.50	0.0	0.0
Confianza	0.52	0.07	0.04
Acceso al crédito	0.72	0.22	0.16
Deudas	0.64	0.2	0.15
Capacidad adaptativa			0.56

Capacidad Adaptativa para el escenario 3.

Escenario 3			
	Valor promedio por indicador	Peso normalizado	Capacidad adaptativa por indicador
Capacidad de agencia humana	0.69	0.04	0.03
Capacidad de cambio	0.51	0.12	0.06
Movilidad ocupacional	0.30	0.14	0.04
Multiplicidad ocupacional	0.39	0.02	0.01
Estilo de vida material	0.48	0.04	0.01
Tecnología	0.70	0.07	0.05
Infraestructura	0.50	0.0	0.0
Confianza	0.78	0.07	0.06
Acceso al crédito	0.72	0.22	0.16
Deudas	0.64	0.24	0.15
Capacidad adaptativa			0.59

4.5 Referencias

- Barberi, F., Davis, M.S., Isaia, R., Nave, R., Ricci, T., 2008. Volcanic risk perception in the Vesuvius population. *J. Volcanol. Geoth. Res.* 172 (3–4), 244–258. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2007.12.011>.
- Béné, C. (2009). Are fishers poor or vulnerable? Assessing economic vulnerability in small-scale fishing communities. *Journal of Development Studies* 45(6): 1–23
- Calderón-Aguilera, L. E., Reyes-Bonilla, H., & Carriquiry, J. D. (2007). El papel de los arrecifes coralinos en el flujo de carbono en el océano: estudios en el Pacífico mexicano. *Carbono en ecosistemas acuáticos de México*, 215-226.
- Cinner, J.E., Huchery, C., Darling, E.S., Humphries, A.T., Graham, N.A.J., Hicks, C.C., Marshall, N., & McClanahan, T.R. (2013) Evaluating Social and Ecological Vulnerability of Coral Reef Fisheries to Climate Change. *PLoS ONE* 8(9): e74321. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0074321>
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, (CONANP). 2009. Programa de Conservación y manejo Parque Nacional Cabo Pulmo. CONANP, México.
- Cortés, J., Sibaja-Cordero, J., Hernández, J., Alvarado, J. J., Breedy, O., Cruz-Barraza, J. A., ... Zapata, F. A. (2017). Marine biodiversity of the Eastern Tropical Pacific coral reefs. In P. W. Glynn, D. Manzello & I. Enochs (Eds.), *Coral reefs of the Eastern Pacific: Persistence and loss in a dynamic environment* (pp. 203–250). Dordrecht, the Netherlands: Springer Science+Business Media.
- Ellis F (1999) Household strategies and rural livelihood diversification. *Journal of development studies* 35: 1–38.
- Ellis F (2000) The determinants of rural livelihood diversification in developing countries. *Journal of Agricultural Economics* 51: 289–302
- Ellis, F., & Allison, E. (2004). Livelihood diversification and natural resource access. *Overseas Development Group, University of East Anglia*.
- Findlay, H. S., Feely, R. A., Jiang, L.-Q., Pelletier, G., & Bednaršek, N. (2025). Ocean Acidification: Another Planetary Boundary Crossed. *Global Change Biology*, 31(6), e70238. <https://doi.org/10.1111/gcb.70238>
- Hoegh-Guldberg, O. (2011). The Impact of Climate Change on Coral Reef Ecosystems. En Z. Dubinsky & N. Stambler (Eds.), *Coral Reefs: An Ecosystem in Transition* (pp. 391–403). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0114-4_22
- Kimbu, A. N., Booyens, I., & Winchenbach, A. (2022). Livelihood diversification through tourism: Identity, well-being, and potential in rural coastal communities. *Tourism review international*, 26(1), 25-40.
- Lavign, F., DeCoster, B., Juvin, N., Flohic, F., Gaillard, J.C., Texier, P., Morin, J., Sartohadi, J. (2008). People's behaviour in the face of volcanic hazards: Perspective from Javanese communities, Indonesia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 172 (3-4), 273–287. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2007.12.013>.
- Leslie, H. M., Basurto, X., Nenadovic, M., Sievanen, L., Cavanaugh, K. C., Cota-Nieto, J. J., Erisman, B. E., Finkbeiner, E., Hinojosa-Arango, G., Moreno-Báez, M., Nagavarapu, S., Reddy, S. M. W., Sánchez-Rodríguez, A., Siegel, K., Ulibarria-Valenzuela, J. J., Weaver, A. H., & Aburto-Oropeza, O. (2015). Operationalizing the social-ecological systems framework to assess sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(19), 5979–5984. <https://doi.org/10.1073/pnas.1414640112>

- Lesser, M. P. (2011). Coral Bleaching: Causes and Mechanisms. En Z. Dubinsky & N. Stambler (Eds.), *Coral Reefs: An Ecosystem in Transition* (pp. 405–419). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0114-4_23
- Manzello, & I. C. Enochs (Eds.), *Coral Reefs of the Eastern Tropical Pacific: Persistence and Loss in a Dynamic Environment* (pp. 517–533). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-7499-4_18
- Manzello, D. P., Cunning, R., Karp, R. F., Baker, A. C., Bartels, E., Bonhag, R., Borreil, A., Bourque, A., Brown, K. T., Bruckner, A. W., Corbett, B., D'Alessandro, M., Dahlgren, C., Dilworth, J., Geiger, E., Gilliam, D. S., Gomez, M., Hanson, G., Harrell, C., ... Williamson, O. M. (2025). Heat-driven functional extinction of Caribbean *Acropora* corals from Florida's Coral Reef. *Science*, 390(6771), 361–366. <https://doi.org/10.1126/science.adx7825>
- Manzello, D. P., Mark Eakin, C., & Glynn, P. W. (2017). Effects of Global Warming and Ocean Acidification on Carbonate Budgets of Eastern Pacific Coral Reefs. En P. W. Glynn, D. P.
- Milanés-Salinas, M. de los Á., Norzagaray, C. O., Seingier, G., Gómez-Hernández, G., Zepeda-Domínguez, J. A., & Beltrán-Morales, L. F. (2025). Drivers of pro-environmental behaviors and risk perception to climate change in small coastal communities: An insight from the Mexican Pacific. *Environmental Development*, 55, 101194. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2025.101194>
- Mills, D., Béné, C., Ovie, S., Tafida, A., Sinaba, F., Kodio, A., Russell, A., Andrew, N., Morand, P. and Lemoalle, J. (2011), Vulnerability in African small-scale fishing communities. *J. Int. Dev.*, 23: 308-313. <https://doi.org/10.1002/jid.1638>
- Partelow, S. (2018). A review of the social-ecological systems framework: applications, methods, modifications, and challenges. *Ecology and Society* 23(4):36
- Prins, G. (2013). Threats without Enemies, Facing Environmental Security, 0 ed., vol. 17. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315066196>
- Ruiz-Ballesteros, E., & del Campo Tejedor, A. (2020). Community-Based Tourism as a Factor in Socio-Ecological Resilience. Economic Diversification and Community Participation in Floreana (Galapagos). *Sustainability*, 12(11), 4724. <https://doi.org/10.3390/su12114724>
- Santos-Lacueva, R., Clavé, S. A., & Saladié, Ò. (2017). The Vulnerability of Coastal Tourism Destinations to Climate Change: The Usefulness of Policy Analysis. *Sustainability*, 9(11). <https://doi.org/10.3390/su9112062>
- Schwarz, A.-M., Béné, C., Bennett, G., Boso, D., Hilly, Z., Paul, C., Posala, R., Sibiti, S., & Andrew, N. (2011). Vulnerability and resilience of remote rural communities to shocks and global changes: Empirical analysis from Solomon Islands. *Global Environmental Change*, 21(3), 1128–1140. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.04.011>
- Tao, T.CH. & Wall, G. (2009) Tourism as a sustainable livelihood strategy. *Tourism Management* 30: 90–98.
- Wachinger, G., Renn, O., Begg, C., Kuhlicke, C. (2013). The risk perception paradox—implications for governance and communication of natural hazards. *Risk Anal.* 33 (6), 1049–1065. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2012.01942.x>
- Walther GR, Post E, Convey P, Menzel A, Parmesan C, Beebee TJ, Fromentin JM, Hoegh-Guldberg O, Bairlein F (2002) Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416:389–395.
- Zhao, W. & Brent, Ritchie JR (2007) Tourism and poverty alleviation: an integrative research framework. *Current Issues in Tourism* 10(2 & 3): 119–143