



ANÁLISIS DEL RIESGO ECONÓMICO CAUSADO POR EL CAMBIO CLIMÁTICO EN TRES DESTINOS TURÍSTICOS EN MÉXICO

— REPORTE PARA LA RIVIERA MAYA —

Proyecto: Adaptación al Cambio Climático basada
en Ecosistemas con el Sector Turismo (ADAPTUR)

Publicación

Julio de 2020

Autoría

Martín A. Morales, E-blocks
José G. Posada Gallego, E-blocks
Daniel A. Revollo, E-blocks
Jaqueline A. Mera, E-blocks
José J. Hernández, ERN
César A. Arredondo, ERN
Leonel Álvarez, INECC
Thomas Schneider, GIZ
Daniela Valera Aguilar, GIZ
Rosaura Cuevas Villar, GIZ

Colaboradores

Nancy F. Hernández González, SECTUR
Gloria Cuevas Guillaumin, SEMARNAT
Isabel M. Hernández Toro, INECC
Pilar Salazar Vargas, INECC
Yusif S. Nava Assad, INECC
Pilar Jacobo Enciso, CONANP
Graciela Saldaña Freire, SEMA Q. Roo
Andrés Aguilar Becerril, SEDETUR, Q. Roo
Juan Ramón Díaz Calderón, CONAGUA
Alejandra Mayorga Rodríguez, Aguakan
Alejandro López Tamayo, Centinelas del agua
Fernando del Valle, Asociación de Hoteles de la Riviera Maya
Fernando Secaira Fajardo, *The Nature Conservancy*
Brigitta Van Tussenbroek, UNAM
Alfonso Torres, Asociación de Prestadores de Servicios Acuáticos de Riviera Maya
Pablo Pantoja, Asociados Náuticos de Quintana Roo
Melina Soto, *Healthy Reefs for Healthy People*

Créditos fotográficos

GIZ - ADAPTUR

Edición, diseño y maquetación

E-blocks S.A. de C.V., Ciudad de México

Financiado por

Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (BMU) de Alemania.

Instituciones responsables

Este documento forma parte de la consultoría realizada por las empresas E-blocks, S.A de C.V. y ERN S.A. de C.V., en el marco del proyecto Adaptación al Cambio Climático basada en Ecosistemas con el Sector Turismo (ADAPTUR).

ADAPTUR es liderado por la Secretaría de Turismo (SECTUR) en coordinación con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), e implementado por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, por encargo del BMU.

Deslinde de responsabilidad: Los hallazgos, interpretaciones y conclusiones expresados en los materiales están basados en la información compilada por GIZ, sus consultores y colaboradores. La GIZ no garantiza la precisión o integridad de la información en este sistema y no puede ser responsable por errores, omisiones o pérdidas que surjan de su uso.

INTRODUCCIÓN

©ADAPTUR/Mariana Rodríguez Aguilera

Cada año se suman más crisis ambientales en el mundo, desde incendios forestales desmedidos, inundaciones extremas, intrusión del océano, pérdida de la biodiversidad, arribo de sargazo a las playas, sequías y pandemias, entre otras. Es claro que estas afectaciones impactan la economía, pero también el desarrollo y bienestar de la población.

En México, una de las actividades económicas que más se vinculan con el medio ambiente es el turismo. Nuestro país se encuentra entre las naciones más visitadas del mundo y por ello aproximadamente el 8.7% del Producto Interno Bruto (PIB) se genera por esta actividad terciaria (INEGI, 2019).

En 2017, México se ubicó en sexto lugar de la afluencia turística internacional, con 99.3 millones de visitantes (DATATUR, 2018). La Riviera Maya (que abarca los municipios de Solidaridad, Puerto Morelos y Tulum) y Cancún, se encuentran entre los destinos preferidos por el turismo internacional (DATATUR, 2014). Tan solo en 2019 estos destinos recibieron un total de 13.52 millones de turistas, ubicándose en el primer y cuarto lugar, respectivamente, del ranking nacional (DATATUR, 2020). Sin embargo, estos destinos se encuentran vulnerables y en riesgo frente a los efectos del cambio climático y otras variables antropogénicas.

Con mayor frecuencia los pobladores de este destino enfrentan huracanes, la pérdida de playas, contaminación de playas y acuíferos, la intrusión salina en las reservas subterráneas de agua dulce, la llegada de sargazo y días más calurosos, en resumen, una verdadera batalla ambiental contra reloj.

Los impactos climáticos y antropogénicos tienen importantes repercusiones socioambientales y económicas. Por mencionar un ejemplo, el huracán Wilma ocasionó una disminución de casi el cuatro por ciento de la afluencia turística de 2005, afectando la derrama económica del sector (DATATUR, 2018).

Ante tal preocupación y los retos que plantea el cambio climático, es necesario reflexionar y preguntarse si realmente estamos adaptados para futuras crisis, y si contamos con la información necesaria para tomar decisiones al respecto.

El presente estudio, *Análisis del riesgo económico causado por el cambio climático en tres destinos turísticos en México – Reporte para la Riviera Maya*, ofrece por primera vez al sector del turismo, un acercamiento sobre el costo económico de los daños que podría ocasionar el cambio climático, tanto a los activos empresariales y la infraestructura estratégica, como a los activos naturales y los servicios ecosistémicos de los cuáles depende el turismo.

El estudio está dirigido principalmente a los empresarios y las autoridades del sector turismo. Se basa en escenarios de cambio climático y análisis probabilísticos, y sus resultados deben considerarse como escenarios posibles de lo que podría ocurrir en el futuro, con las respectivas limitaciones metodológicas y sus grados de incertidumbre.

El *Análisis* se divide en cinco apartados. En los primeros tres se exponen los objetivos, el alcance y la metodología; el cuarto apartado muestra los resultados de la estimación del riesgo económico y en el último, se presentan recomendaciones concretas para hacer de la Riviera Maya un destino turístico adaptado al cambio climático.

Esperamos que este estudio sirva para subrayar localmente la importancia de incluir los riesgos climáticos en las decisiones empresariales, y fomente la creación de alianzas y esfuerzos entre todos los sectores de la sociedad.

Es vital agradecer a los empresarios de la Riviera Maya que participaron con sus experiencias e insumos, así como a los expertos académicos y de la sociedad civil que aportaron información científica y técnica. Asimismo, al gobierno del estado de Quintana Roo, por las gestiones realizadas.

Finalmente, se extiende este agradecimiento al Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (BMU) de la República Federal de Alemania por el financiamiento de este estudio en el marco del proyecto ADAPTUR.

RESUMEN EJECUTIVO



©ADAPTUR/Mariana Rodríguez Aquilera

La Riviera Maya es reconocida en el mundo por el invaluable patrimonio que posee. La riqueza cultural y paisajística de este destino ha hecho posible que el sector terciario donde se encuentra el turismo aporte alrededor del 88.28% del Producto Interno Bruto a la economía del estado de Quintana Roo (SEDE, 2017).

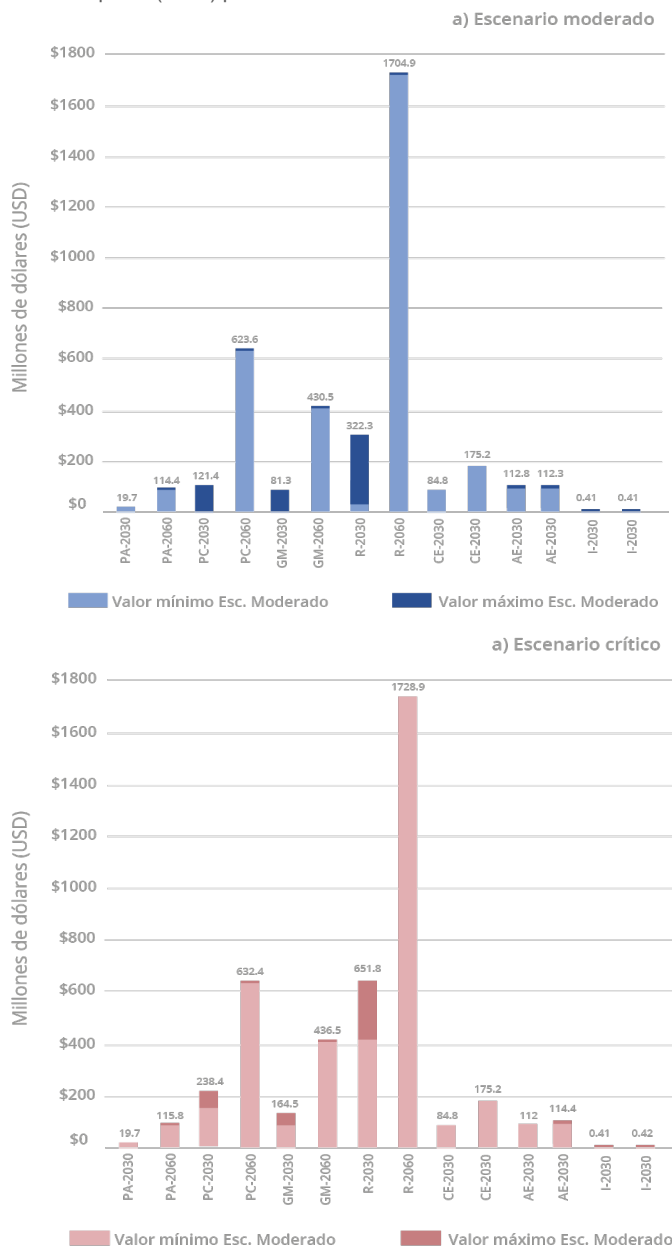
Para las próximas décadas se proyecta un incremento en la llegada de turistas y la oferta de alojamiento, basado en tendencias recientes. Sin embargo, el destino enfrentará cambios en el clima relacionados con el incremento de la temperatura y la disminución de la precipitación; así como variaciones en el nivel del mar, la erosión costera, la refracción del oleaje y la frecuencia e intensidad de los fenómenos climáticos extremos (ANIDE 2014, Appendini *et al* 2019). Estos impactos podrían poner en riesgo el negocio turístico.

El objetivo de este estudio fue estimar el riesgo económico que podría ocasionar el cambio climático en el sitio piloto Riviera Maya, que considera los municipios de Benito Juárez, Puerto Morelos, Solidaridad, Tulum y Cozumel. Por un lado, debido a la afectación de los servicios ecosistémicos de provisión de agua, protección costera, generación de materiales (arena y rocas), recreación y control de la erosión; y por otro, debido al impacto directo en los activos empresariales (hoteles) y en la infraestructura estratégica (aeropuertos, carreteras, subestaciones eléctricas).

Este documento se realizó con la colaboración de las asociaciones y organismos empresariales, así como las empresas turísticas, representantes de medio ambiente y turismo del gobierno estatal, además de los integrantes de la sociedad civil y la academia. Los resultados presentan el riesgo a corto (2030) y mediano plazo (2060) para el sector, y consideran los escenarios de cambio climático moderado (RCP 4.5) y crítico (RCP 8.5).

Como principal resultado, se estimó un riesgo económico anual entre \$879 y \$1,272 MDD a corto plazo (2030); y entre \$3,191 y \$3,204 MDD a mediano plazo (2060), en un escenario crítico. La Figura 1 muestra el riesgo económico anual por tipo de elemento analizado para ambos periodos de tiempo.

Figura 1. Comparativo del riesgo económico anual a corto (2030) y mediano plazo (2060) para el sector turismo.



Costo Adicional Provisión de Agua (PA), Pérdida en Protección Costera (PC), Pérdida en Generación de Materiales (GM), Pérdida en Recreación (R), Pérdida en control de la erosión (CE), Pérdida en Activos Empresariales (AE), Pérdida en Infraestructura Estratégica (I).

Fuente: Elaboración propia

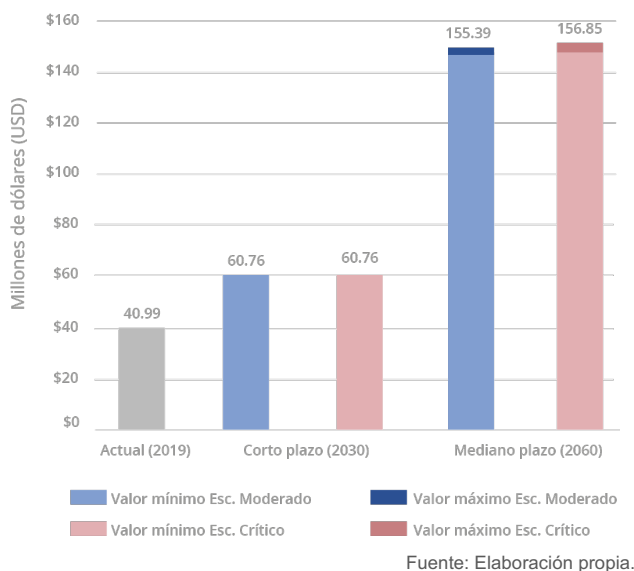
Riesgo por impacto en servicios ecosistémicos

Los impactos del cambio climático podrían afectar la distribución de los activos naturales (selva) y ocasionar una menor recarga del acuífero. Esta situación, aunada a la disminución de la lente de agua dulce por la intrusión salina y la contaminación por las descargas residuales, podría conducir a un déficit en el suministro de agua, y con ello a la necesidad de obtenerla de alguna fuente alterna como las plantas desalinizadoras.

A corto plazo (2030) se espera un incremento máximo del 48% en los costos anuales para proveer de agua al sector turismo y a los habitantes de la Riviera Maya, en el escenario crítico, y bajo los supuestos de que se dispondrá de suficiente agua en el acuífero para su extracción, se proveería un porcentaje a través de plantas desalinizadoras, y se tratará un volumen de las descargas residuales.

A mediano plazo (2060), el costo podría incrementarse hasta en un 282% en el escenario crítico, alcanzando los \$156.8 MDD, en caso de que llegue el día crítico (momento en que la afectación a la lente de agua dulce limita su aprovechamiento), y la provisión del líquido se realice por medio de plantas desalinizadoras (Figura 2). Existen otros costos indirectos que no se incluyeron en la estimación, pero se refieren de forma cualitativa en el capítulo 4.

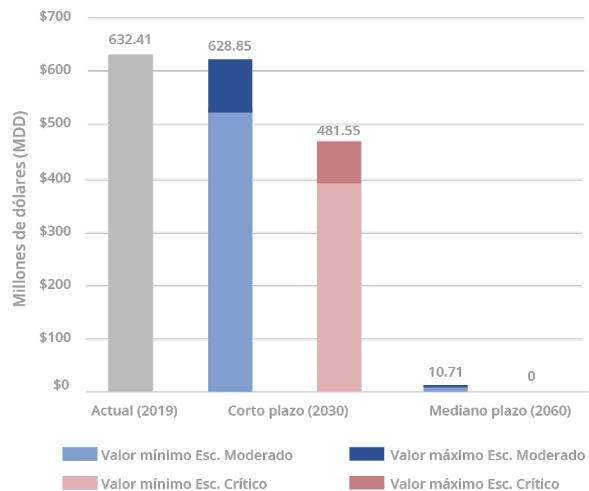
Figura 2. Variación en el costo anual del servicio de provisión de agua por impacto del cambio climático.



La pérdida de los servicios de protección costera, generación de materiales (arena y rocas) y recreación en un futuro, se asoció a las proyecciones de blanqueamiento de los arrecifes coralinos por aumento de temperatura del mar que causa el cambio climático.

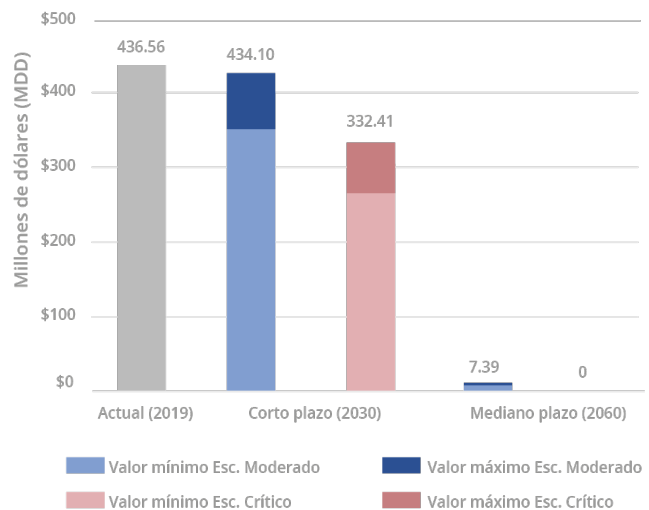
La valoración del servicio de protección costera mostró que a corto plazo (2030) el beneficio económico podría disminuir hasta un 38%, con respecto al valor actual (\$632.41 MDD), ubicándose en \$393.99 MDD; mientras que a mediano plazo (2060) la pérdida podría ser del 100% del beneficio económico debido a la pérdida total de los arrecifes (Figura 3).

Figura 3. Pérdida económica anual ocasionada por el impacto del cambio climático en el servicio de protección costera.



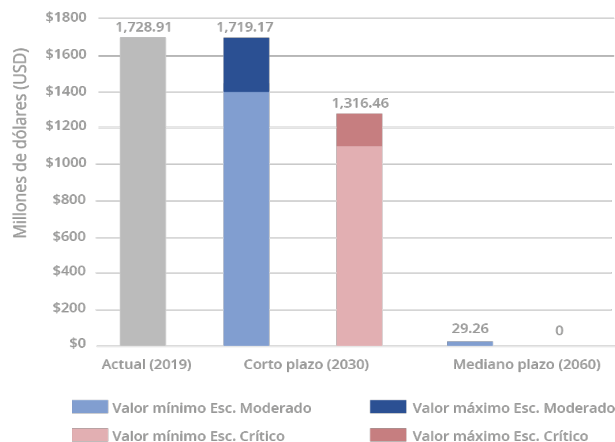
En el caso del servicio de generación de materiales (arena y rocas), el beneficio económico a corto plazo (2030) podría disminuir hasta un 38%, con respecto al valor actual (\$436.56 MDD), ubicándose en \$271.97 MDD; mientras que a mediano plazo (2060) la pérdida podría ser del 100% del beneficio económico debido a la pérdida total de los arrecifes.

Figura 4. Pérdida económica anual ocasionada por el impacto del cambio climático en el servicio de generación de materiales.



Para el servicio de recreación se identificó que el beneficio económico a corto plazo (2030) podría disminuir hasta un 38%, con respecto al valor actual (\$1,728 MDD), ubicándose en \$1,077 MDD; mientras que a mediano plazo (2060) la pérdida podría ser del 100% del beneficio económico debido a la pérdida total de los arrecifes.

Figura 5. Pérdida económica anual ocasionada por el impacto del cambio climático en el servicio de recreación.

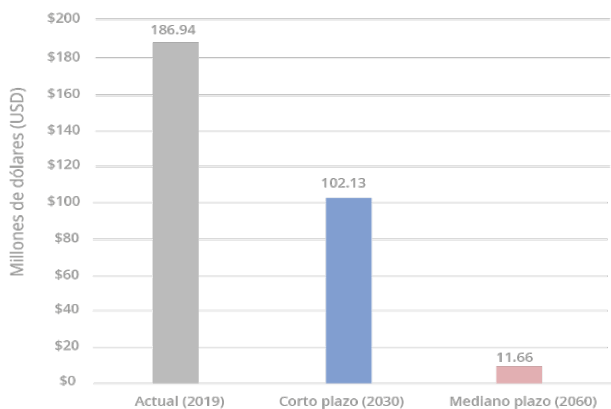


Fuente: Elaboración propia

La pérdida del servicio de control de la erosión se obtuvo a partir de la reducción global que se ha observado en las praderas de pastos marinos, relacionada con factores como la descarga de residuos urbanos, industriales y agrícolas al mar, el desarrollo costero, proceso de dragado, pesca no regulada y el cambio climático (UNEP, 2020). Es importante mencionar que para este estudio no se consideró la reducción de pastos marinos que ocasiona la pérdida de los arrecifes, ni la reducción producida por los recales masivos de sargazo que ocurren en el Caribe Mexicano desde el año 2013. En el capítulo 4 se abordan algunas de las implicaciones de la presencia de sargazo para este servicio.

Para realizar el ejercicio se consideró una extensión total de 9,166.4 ha. A partir de esta extensión se obtuvo que a corto plazo (2030) el beneficio económico podría disminuir en un

Figura 6. Pérdida económica anual ocasionada por la disminución de los pastos marinos en el servicio de control de la erosión.



Fuente: Elaboración propia

39.5% con respecto al valor actual (\$186.94 MDD), ubicándose en \$113.12 MDD; mientras que a mediano plazo (2060) la pérdida podría ser del 93.1% del beneficio (Figura 6).

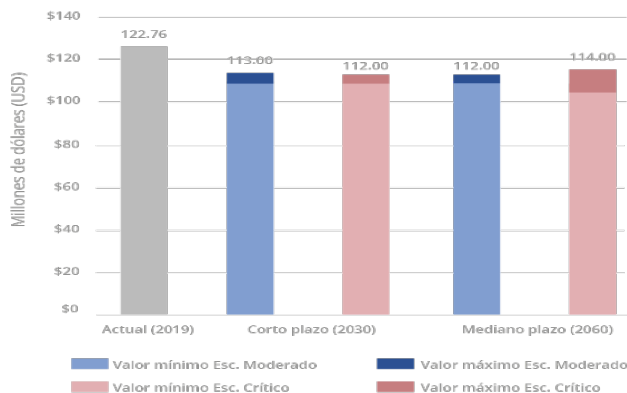
Riesgo por impacto en activos empresariales e infraestructura estratégica

Esta estimación se realizó considerando las amenazas de inundación pluvial, viento huracanado y marea de tormenta. Como se muestra en el primer capítulo, la pérdida promedio anual (AAL) que se obtuvo para los activos empresariales y la infraestructura estratégica, analizados en este estudio, se encuentra en el rango de pérdidas que se han observado en el periodo del 2000 al 2015, relacionado con el impacto de fenómenos climáticos extremos.

Los modelos de inundación mostraron a corto (2030) y mediano plazo (2060), que el valor máximo podría alcanzar un metro para los escenarios moderado y crítico. En términos económicos, la AAL por inundación en 2019 fue de \$122.6 MDD. Este monto equivale al 0.85% del valor físico de todos los activos. Es importante mencionar que para obtener la AAL se consideró la información histórica disponible de los eventos de inundación de 1950 al 2000, a pesar de que no fue posible realizar un análisis puntual por año, la información histórica integra las oscilaciones por fenómenos como las Oscilaciones del Sur (El Niño y La Niña).

Al considerar las variaciones de la precipitación por el cambio climático, a corto plazo (2030) se obtuvo una disminución del riesgo en un máximo del 13.25%, y a mediano plazo (2060) una reducción de hasta 14.37%, en relación con el 2019 (Figura 7). Esto significa que, en promedio, el riesgo económico por inundación tiende a ser menor a lo observado. No obstante, es importante considerar el riesgo latente que podría suscitarse por lluvias no esperadas ocasionada por eventos extremos, y que pudieran presentar daños superiores a los registrados en los eventos históricos. Sin mencionar los daños ocasionados por periodos de estiaje prolongados (mayor propensión a incendios forestales, menor recarga de acuíferos, etc.).

Figura 7. Pérdida promedio anual ocasionada por inundación en los activos empresariales e infraestructura estratégica.



Fuente: Elaboración propia

Como se mencionó anteriormente, la precipitación ocasionada por el cambio climático será, en promedio, menor a la actual, por esta razón el riesgo ante inundaciones también resultó menor al evaluar los modelos de cambio climático. Es importante mencionar que los resultados de inundación presentados en este estudio toman en cuenta únicamente el agua de lluvia y la forma como esta agua satura el suelo y provoca anegaciones.

A diferencia de la amenaza de inundación, donde se utilizaron los modelos de cambio climático a corto (2030) y mediano plazo (2060), para el viento huracanado y marea de tormenta, ambas amenazas relacionadas a un ciclón tropical, se obtuvieron pérdidas únicamente para el año actual (considerando eventos históricos y simulados). Lo anterior debido a que para hacer modelos probabilistas, se requiere de datos como la presión central y velocidad del viento en el Océano Atlántico y Mar Caribe para los modelos de cambio climático, y esta información no se encuentra disponible al momento de realizar el presente estudio. Sin embargo, es importante recalcar que algunas modelaciones (Appendini *et al* 2019), muestran que en el futuro lejano (2070) la variación e intensidad de fenómenos climáticos extremos como los ciclones tropicales podría aumentar incrementando el nivel de riesgo.

La modelación del viento huracanado mostró el mismo nivel de amenaza en toda la zona de la Riviera Maya, con una intensidad máxima estimada de 120 km/h. La pérdida promedio anual por viento huracanado fue de \$30.8 MDD en 2019. Este monto equivale a 0.21% del valor físico de los activos, tanto activos empresariales como infraestructura estratégica.

Como se sabe, la marea de tormenta afectará principalmente a las construcciones cercanas a la costa y su nivel de daño dependerá de las características propias de cada inmueble, por ejemplo: sobre elevación de desplante de la construcción, muros de contención, cuarto de máquinas en sótanos, entre otros. A partir del modelo probabilista utilizado en el presente estudio, la pérdida promedio anual por marea de tormenta resultó de \$116.1 MDD en 2019 y equivale a 0.80% del valor físico de los activos. Como se mencionó anteriormente, estos resultados corresponden al escenario actual, es decir, no toman en cuenta los modelos de cambio climático

Conclusiones y recomendaciones

Uno de los propósitos del informe es brindar sugerencias puntuales para que las empresas, los gobiernos y la sociedad en conjunto implementen soluciones de adaptación al cambio climático. Es importante recalcar que los impactos que se esperan revelan la existencia de riesgos, pero también oportunidades para el destino turístico.

Los resultados muestran que el principal riesgo se encuentra en el servicio de recreación, que a corto plazo (2030) podría disminuir hasta en un 38% (\$651.8 MDD) el beneficio económico que brinda al sector. Este impacto está relacionado principalmente el incremento de la temperatura superficial del mar y su efecto en los corales, que se proyecta con el cambio climático.

De forma similar se espera una reducción considerable en el beneficio económico de los servicios de provisión de agua, protección costera, generación de materiales, y control de la erosión. **Por el contrario, se espera un menor riesgo por el daño directo en los activos empresariales y la infraestructura estratégica ante las amenazas de inundación pluvial.** Por ello, se debe poner especial atención en la conservación y restauración de los activos naturales que proveen los servicios ecosistémicos en el destino, ya que los costos económicos podrían ser muy altos a mediano plazo.

Adicionalmente, se debe considerar que estos riesgos podrían detonar distintos problemas socioambientales que afectarían la imagen de la Riviera Maya, como uno de los destinos turísticos mexicanos más destacados en el mundo.

Finalmente, algunas de las recomendaciones para atender esta problemática de manera integral y coordinada parte del orden público y privado son:

Basadas en ecosistemas

- Esquemas de protección y restauración en los ecosistemas costeros como son los arrecifes, pastos marinos, dunas costeras, humedales y las selvas para garantizar la continuidad de los servicios ecosistémicos y disminuir la vulnerabilidad de las poblaciones costeras a los impactos del cambio climático.
- Impulsar esquemas de manejo integrado de la zona costera acorde a la íntima interdependencia y conexión de los ecosistemas marino-costeros.
- Esquemas de manejo y uso de buenas prácticas en ecosistemas icónicos y frágiles como son los ríos subterráneos y cenotes, sumado a la adecuación del marco legal acorde a las características hidrogeológicas de la región.
- Diseñar e implementar una política para el manejo integral del agua para el acuífero de Riviera Maya, incluyendo cenotes, y por ende sus zonas de captación e infiltración de agua.

Soluciones habilitadoras

- Diversificación del turismo de naturaleza a través del uso sustentable de los ecosistemas.
- Impulsar la colaboración público-privada para el manejo de la zona costera.

- Impulso a instrumentos como seguros y garantías para proteger los activos naturales, como es el caso del Seguro Paramétrico del Arrecife del Gobierno del Estado.
- Implementación de política efectiva para el manejo y tratamiento de agua residuales provenientes tanto del sector turístico como de los hogares.
- Incentivos fiscales para la implementación de medidas de ahorro del agua en los hoteles y otros sectores.
- Involucrar a todos los sectores en la conservación de los servicios ecosistémicos en cuestión. Por ejemplo, no dejar de lado el sector industrial o agricultura.
- Involucrar a los municipios para atender y llevar a cabo acciones de mejoramiento en la infraestructura que sea importante para el sector hotelero con mayor riesgo.
- Considerar las áreas con mayor peligro de inundación en la planeación de futuros proyectos.
- Impulsar el trabajo colaborativo y las alianzas para distintas organizaciones puedan establecer objetivos y acciones comunes, innovar y hacer sinergia.
- Identificar las áreas de oportunidad para el fortalecimiento de capacidades y la generación de conocimiento técnico para que aporten a la toma de decisiones.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	3
RESUMEN EJECUTIVO	4
SIGLAS Y ACRÓNIMOS	10
LISTADO DE FIGURAS	11
LISTADO DE TABLAS	11
1. EL TURISMO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO	12
2. OBJETIVOS Y ALCANCE	13
3. METODOLOGÍA	14
4. RESULTADOS	20
4.1. Subsectores y unidades económicas	20
4.2. Activos naturales y servicios ecosistémicos	22
4.3. Cambio climático en la Riviera Maya	23
4.4. Ubicación geográfica de amenazas climáticas	30
4.5. Riesgo económico en el sector turismo por el impacto del cambio climático en los servicios ecosistémicos.....	32
4.6. Riesgo económico en el sector turismo por el impacto del cambio climático en los activos empresariales y la infraestructura estratégica.....	36
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	38
6. GLOSARIO	40
7. REFERENCIAS	41

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AAL	Pérdida Promedio Anual
ADAPTUR	Adaptación al Cambio Climático basada en Ecosistemas con el Sector Turismo
APR	Análisis Probabilista de Riesgo
BMU	Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear
CICES	Clasificación Internacional Común de Servicios de los Ecosistemas
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CONANP	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
DENUE	Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas
ECA	Guía Económica de la Adaptación Climática
EEA	Agencia Ambiental Europea
ERN	Evaluación de Riesgos Naturales y Antropogénicos
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GIZ	Cooperación Alemana al Desarrollo Sustentable
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
IPBES	Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático
LGCC	Ley General de Cambio Climático
MDD	Millones de dólares
PBT	Producto Bruto Total
PBTT	Producto Bruto Total del Sector Turístico
PCN	Protocolo de Capital Natural
PIB	Producto Interno Bruto
RCP	Trayectorias Representativas de Concentración
SECTUR	Secretaría de Turismo
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SIRE	Sistema de Información de Riesgo Económico
UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
UNIATMOS	Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales
VEP	Pérdida en un escenario crítico

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Comparativo del riesgo económico anual a corto (2030) y mediano plazo (2060) para el sector turismo.	4
Figura 2. Variación en el costo anual del servicio de provisión de agua por impacto del cambio climático.	5
Figura 3. Pérdida económica anual ocasionada por el impacto del cambio climático en el servicio de protección costera.	5
Figura 4. Pérdida económica anual ocasionada por el impacto del cambio climático en el servicio de generación de materiales.	5
Figura 5. Pérdida económica anual ocasionada por el impacto del cambio climático en el servicio de recreación.	6
Figura 6. Pérdida económica anual ocasionada por la disminución de pastos marinos en el servicio de control de la erosión.	6
Figura 7. Pérdida promedio anual ocasionada por inundación en los activos empresariales e infraestructura estratégica.	6
Figura 8. Costos acumulados del cambio climático para México en 2100 en el escenario crítico.	12
Figura 9. Pérdidas económicas ocasionadas por eventos climáticos en Quintana Roo (2000-2015).	12
Figura 10. Etapas de la metodología participativa.	14
Figura 11. Ejercicio de priorización de servicios ecosistémicos con el sector privado.	15
Figura 12. Ejercicio de priorización de servicios ecosistémicos con el sector privado.	15
Figura 13. Modelo para representar la relación del cambio climático y el riesgo.	16
Figura 14. Cadena de impactos del cambio climático en activos naturales, servicios ecosistémicos y turismo.	17
Figura 15. Metodología para el APR en activos empresariales e infraestructura estratégica.	18
Figura 16. Aporte económico del sector turismo en la Riviera Maya.	20
Figura 17. Unidades económicas del sector turismo en la Riviera Maya.	21
Figura 18. Distribución de las unidades económicas del sector turismo en la Riviera Maya.	21
Figura 19. Resultados de la priorización de servicios ecosistémicos por el sector turismo en la Riviera Maya*.	22
Figura 20. Activos naturales y algunos servicios ecosistémicos en la Riviera Maya.	22
Figura 21. Resultados de la priorización por criterio de análisis en la Riviera Maya.	23
Figura 22. Memoria fotográfica de la sesión ejecutiva en la Riviera Maya.	23
Figura 23. Cambios de temperatura media anual en la Riviera Maya a corto plazo (2030).	24
Figura 24. Cambios de temperatura media anual en la Riviera Maya a mediano plazo (2060).	25
Figura 25. Cambios en la cobertura vegetal (área en rojo) por incremento de 1.5°C en el mediano plazo (2060) en el área de estudio.	26
Figura 26. Blanqueamiento de arrecifes de coral por incremento de la temperatura causado por cambio climático en el mediano plazo (2060) en la Riviera Maya. El área en rojo muestra el año en que se afectará más del 50% de la cobertura arrecifal.	27
Figura 27. Cambios de la precipitación por cambio climático a corto plazo (2030) en la Riviera Maya.	28
Figura 28. Cambios de la precipitación por cambio climático a mediano plazo (2060) en la Riviera Maya.	29
Figura 29. Cambios en la precipitación media mensual por cambio climático en la Riviera Maya.	29
Figura 30. Comparativo de tirantes máximos de inundación entre modelo actual y modelos con cambio climático en Riviera Maya.	30
Figura 31. Modelo actual de viento huracanado para un periodo de retorno de 20 años.	31
Figura 32. Modelo actual de marea de tormenta para un periodo de retorno de 20 años.	31
Figura 33. Cadena de impactos del cambio climático en el servicio de provisión de agua para la Riviera Maya.	32
Figura 34. Variación del costo anual en el servicio de provisión de agua por impacto del cambio climático.	33

Figura 35. Cadena de impactos del cambio climático en los servicios de protección costera, generación de materiales, recreación y control de la erosión.	33
Figura 36. Pérdida económica anual ocasionada por el impacto del cambio climático en el servicio de protección costera.	34
Figura 37. Pérdida económica anual ocasionada por el impacto del cambio climático en el servicio de generación de materiales.	34
Figura 38. Pérdida económica anual ocasionada por el impacto del cambio climático en el servicio de recreación.	35
Figura 39. Pérdida económica anual ocasionada por el impacto del cambio climático en el servicio de control de la erosión.	35
Figura 40. Distribución de pérdida promedio anual por inundación para los activos empresariales y la infraestructura estratégica en el modelo actual (2019).	36
Figura 41. Pérdida promedio anual ocasionada por inundación en los activos empresariales e infraestructura estratégica.	36
Figura 42. Comparativo del riesgo económico anual a corto (2030) y mediano plazo (2060) para el sector turismo.	37

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Criterios para la priorización de activos naturales en el sector turismo.	15
Tabla 2. Supuestos del servicio de provisión de agua otorgado por la selva.	17
Tabla 3. Supuestos del servicio de protección costera provisto por arrecifes de coral.	18
Tabla 4. Supuestos del servicio de generación de materiales provisto por arrecifes de coral.	18
Tabla 5. Supuestos del servicio de recreación provisto por arrecifes de coral.	18
Tabla 6. Supuestos del servicio de control de la erosión provisto.	18

1. EL TURISMO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

©ADAPTUR/Mariana Rodríguez Aguilera

Muchas empresas alrededor del mundo han comenzado a prepararse ante la posibilidad de que el cambio climático afecte sus utilidades en los próximos años. Las empresas, los inversionistas y las instituciones bancarias se cuestionan sobre los costos que generará el cambio climático, o qué tan graves serán las pérdidas económicas que podrían ocasionar las afectaciones a los activos naturales de los que depende el sector empresarial. Todos ellos coinciden en la importancia de atender las problemáticas lo antes posible para garantizar la operación de sus negocios.

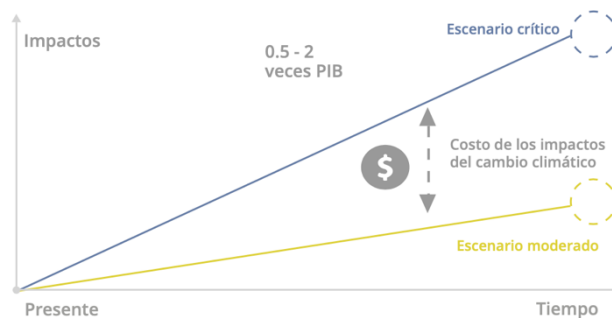
Los estudios más recientes sugieren que en México, ante un escenario de inacción, en el que no se implementan medidas para reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), ni se ponen en marcha soluciones de adaptación, el cambio climático podría tener un costo acumulado para el año 2100 entre 0.5 y 2 veces el Producto Interno Bruto (PIB) de 2010 (Figura 8), lo que equivale a una pérdida anual entre 6.7 y 26.8 mil millones de dólares (INECC, 2018).

Ante tal panorama, el sector turismo ha sido señalado como uno de los sectores que podrían experimentar mayores costos económicos por los impactos del cambio climático (SEMARNAT, 2018). De forma que su contribución económica actual, que equivale al 8.7% al PIB de México, podría disminuir en función del daño que experimenten los activos naturales y los servicios ecosistémicos, que emplea en su operación y que lo distingue del resto del mundo.

En los últimos veinte años el estado de Quintana Roo ha presentado al menos 15 eventos asociados a fenómenos climáticos extremos (lluvias y ciclones tropicales), que cuentan con un registro de las pérdidas económicas. En la Figura 9 se observa que cinco de los diez eventos registrados tienen un orden superior a los \$10 MDD de pérdidas. Estos valores pueden incluir tipos de infraestructura que no es estratégica para el sector turismo. Sin embargo, sirve de referencia para visualizar que el valor de la AAL estimada en este estudio está en el rango de valores observados en el pasado.

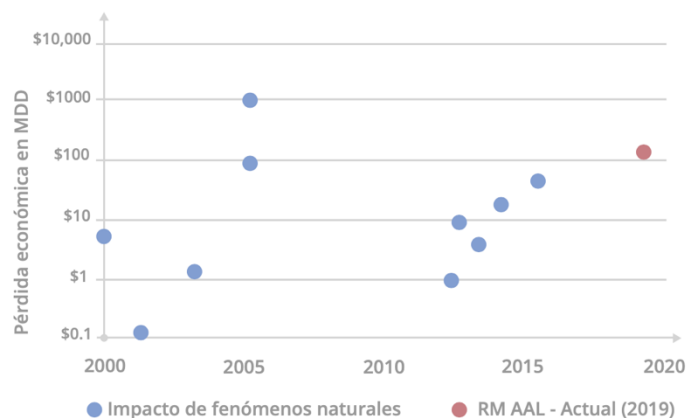
En las próximas décadas, la Riviera Maya enfrentará cambios con el incremento en la temperatura media anual, la disminución de la precipitación; así como variaciones en el nivel del mar, la erosión costera, la refracción del oleaje y la frecuencia e intensidad de los fenómenos climáticos extremos (ANIDE 2014, Appendini *et al* 2019), lo cual podrían ocasionar la pérdida de servicios ecosistémicos fundamentales para el bienestar de la población.

Figura 8. Costos acumulados del cambio climático para México en 2100 en el escenario crítico.



Fuente: SEDEMA, 2017.

Figura 9. Pérdidas económicas ocasionadas por eventos climáticos en Quintana Roo (2000-2015).



Fuente: CENAPRED, 2017.

2. OBJETIVOS Y ALCANCE

©ADAPTUR/Mariana Rodríguez Aguilera

General

Identificar el riesgo económico que podría ocasionar el cambio climático a corto (2030) y mediano plazo (2060) en el sector turismo.

Específicos

- Identificar los activos naturales y servicios ecosistémicos prioritarios para el sector turismo en el destino.
- Estimar el riesgo económico futuro que podría causar el impacto del cambio climático en los activos naturales y servicios ecosistémicos prioritarios.
- Estimar el riesgo económico futuro que podría causar el impacto directo del cambio climático en los activos empresariales y la infraestructura estratégica.
- Elaborar un Sistema de Información de Riesgo Económico (plataforma web) que permita visualizar los resultados, realizar nuevas estimaciones de riesgo económico, y ser un material de apoyo en la toma de decisiones.

Alcance

El análisis se realizó en tres de los destinos turísticos más importantes del país: San Miguel de Allende en Guanajuato; Riviera Nayarit-Jalisco (Puerto Vallarta, Jalisco y Bahía de Banderas, Nayarit); y Riviera Maya en Quintana Roo (Tulum, Solidaridad, Puerto Morelos, Benito Juárez y Cozumel).

Este informe presenta los resultados para el destino turístico Riviera Maya, que incluye Cancún y Cozumel.

3. METODOLOGÍA

©ADAPTUR/Mariana Rodríguez Aguilera

La metodología concibe a los participantes como agentes activos en la construcción del conocimiento, y busca su involucramiento en todas las etapas que la integran. Considera tres componentes de otras propuestas metodológicas:

- i. El ciclo de mejora propuesto en los procesos de valoración de la naturaleza del “Protocolo de valoración y evaluación de la Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos” (IPBES, por sus siglas en inglés).
- ii. El proceso de identificación, medición y valoración de la dependencia y los impactos que tienen las actividades del sector privado sobre el capital natural, el cual se estandariza en el “Protocolo del Capital Natural” (PCN) de la Coalición de Capital Natural.
- iii. La secuencia metodológica para el análisis de las amenazas climáticas que se presenta en la “Guía de la Economía de la Adaptación Climática” (ECA, por sus siglas en inglés) que publicó el Banco de Crédito para la Reconstrucción.

La metodología se diseñó con el equipo ADAPTUR (representantes de SECTUR, SEMARNAT, CONANP, INECC y GIZ), y los actores clave del destino turístico. Consta de seis etapas y ocho pasos, los cuales se describen a continuación y se resumen en la Figura 10.

Paso 1.1. Identificación de subsectores y actores clave

Los subsectores se identificaron de acuerdo con el *Censo Económico* de INEGI (2014), y las unidades económicas reportadas en el *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas* (DENUE). Los actores clave se seleccionaron a partir de criterios de interés sobre el tema del cambio climático (instrumentos, presupuesto, acciones realizadas y experiencia), y criterios de influencia en el destino (vinculación con otros actores, participación en acciones, redes, etc.).

Figura 10. Etapas de la metodología participativa.



ETAPA	PASOS
Etapa 1. Objetivo Establecer por qué los empresarios del sector turismo deben realizar la evaluación del riesgo económico.	1.1. Identificación de subsectores y actores clave. 1.2. Identificación y priorización de activos naturales y servicios ecosistémicos.
Etapa 2. Alcance Determinar qué se incluirá en la evaluación.	2.1. Identificación de amenazas climáticas y escenarios de cambio climático.
Etapa 3. Evaluación Evaluar las principales fuentes de riesgo económico por los impactos del cambio climático.	3.1. Evaluación del riesgo económico por impacto en los activos naturales y los servicios ecosistémicos. 3.2. Evaluación del riesgo económico por impacto en los activos empresariales y la infraestructura estratégica.
Etapa 4. Integración Incorporar la información requerida en el Sistema de Información de Riesgo Económico (SIRE-ADAPTUR).	4.1. Integración de resultados en el Sistema de Información de Riesgo Económico (SIRE-ADAPTUR).
Etapa 5. Comunicación Analizar los hallazgos de las evaluaciones e identificar posibles acciones y recomendaciones.	5.1. Comunicación de resultados.
Etapa 6. Revisión Revisión de aciertos y fallas para proponer mejoras en el proceso.	6.1. Revisión del proceso.

Fuente: Elaboración propia.

Paso 1.2. Identificación y priorización de activos naturales y servicios ecosistémicos

Los activos naturales son todos aquellos recursos (ecosistemas, especies emblemáticas) que permiten el funcionamiento de una empresa y forman parte de su oferta turística. Estos pueden ser recursos naturales renovables (flora, fauna, agua, etc.) y no renovables (minerales, gas natural, petróleo, etc.), los cuales a su vez producen el flujo de servicios ecosistémicos al sector turismo. Los servicios ecosistémicos se definen como el conjunto de beneficios que los sistemas humanos adquieren de los ecosistemas, es decir de los activos naturales (Constanza et al., 1997; MEA, 2005).

En un primer momento, el equipo ADAPTUR analizó de manera interna seis activos naturales mediante un modelo multicriterio (Tabla 1). Como resultado se obtuvieron tres activos prioritarios: las selvas, los arrecifes y las praderas de pastos marinos. Estos activos se caracterizaron con la cartografía oficial de INEGI, CONAGUA, CONAFOR Y CONABIO; y se les asociaron los servicios ecosistémicos más relevantes para el sector turismo (provisión de agua dulce, protección costera control de erosión, recreación y protección costera), acorde con la Clasificación Internacional Común de Servicios de los Ecosistemas (CICES) de la Agencia Ambiental Europea (EEA, 2019).

Tabla 1. Criterios para la priorización de activos naturales en el sector turismo.

CRITERIO	DESCRIPCIÓN
Beneficios	El activo natural proporciona servicios tangibles e intangibles que benefician al sector turismo.
Cambio climático	Se cuenta con estudios sobre el impacto del cambio climático en el activo natural.
Conservación	Existen medidas de manejo y conservación para el activo natural.
Insumos	Se cuenta con información técnica sobre el estado actual del activo natural.

Posteriormente, se priorizaron los servicios ecosistémicos con la participación de 18 representantes del sector privado, y algunos expertos de la academia, sociedad civil y gobierno de turismo y medio ambiente. Para ello se utilizó un modelo multicriterio que permitió recabar las preferencias individuales de los participantes a partir de comparaciones pareadas (Figura 11). El ejercicio se realizó a través de una herramienta interactiva (*Google Forms*) con el apoyo de teléfonos inteligentes y tabletas (Figura 12). Los resultados se analizaron mediante el *software SuperDecisions*.

Los servicios ecosistémicos priorizados por los actores clave de la Riviera Maya fueron la provisión de agua y la protección costera.

Considerando que los servicios ecosistémicos se extienden más allá de los límites administrativos, se establecieron las cuencas hidrológicas clasificadas por CONAGUA como las unidades geográficas de análisis.

Figura 11. Ejercicio de priorización de servicios ecosistémicos con el sector privado.



DESCRIPCIÓN

Infraestructura: servicios que brindan protección a la infraestructura y activos empresariales prioritarios.

Operación: servicios que son prioritarios para el funcionamiento del negocio turístico.

Mercado: servicios que favorecen la competencia del negocio en el mercado turístico.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 12. Ejercicio de priorización de servicios ecosistémicos con el sector privado.

Infraestructura 1 de 6

¿Entre la provisión de agua dulce y el control de la erosión qué servicio es preferible para proteger el negocio turístico? *

Provisión de agua dulce

Control de la erosión

Son igualmente preferibles

Fuente: Elaboración propia.

Paso 2.1. Identificación de amenazas climáticas y escenarios de cambio climático

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), define al cambio climático como “el cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables” (IPCC, 2013).

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) concibe al riesgo como el producto de la interacción de tres componentes: el peligro o amenaza, la vulnerabilidad y la exposición (IPCC, 2012). El riesgo trae consecuencias adversas para la vida, los medios de subsistencia, la salud, los ecosistemas y las especies, los bienes económicos, sociales y culturales, los servicios (incluidos los servicios ecosistémicos) y la infraestructura (IPCC, 2014).

En el modelo ilustrado en la Figura 13 (IPCC, 2014), el peligro o amenaza se refiere a los cambios en la temperatura y precipitación proyectados por el cambio climático, y a los fenómenos climáticos extremos; la exposición comprende los activos naturales, los activos empresariales, la infraestructura estratégica, las personas, etc., presentes en los destinos y que podrían afectarse negativamente; y la vulnerabilidad es una propiedad de los sistemas naturales y humanos que define su propensión o predisposición a experimentar daños.

Las amenazas que se consideraron en la Riviera Maya, de acuerdo con la información técnica disponible para el destino fueron: inundación, marea de tormenta y viento huracanado. Para establecer los escenarios de cambio climático se consideraron las Trayectorias de Concentración Representativa (RCP, por sus siglas en inglés), las cuales son escenarios que abarcan series temporales de emisiones y concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI), desde la actualidad hasta finales del siglo XXI (IPCC, 2014).

El estudio consideró el escenario RCP 4.5, el cual supone cierta estabilidad de las emisiones para el año 2100; y el escenario RCP 8.5, que supone tasas de emisiones altas de GEI, sin el implemento de soluciones de mitigación y adaptación al cambio climático. Para facilitar el uso de un lenguaje sencillo, de aquí en adelante se denominarán escenario moderado y escenario crítico, respectivamente.

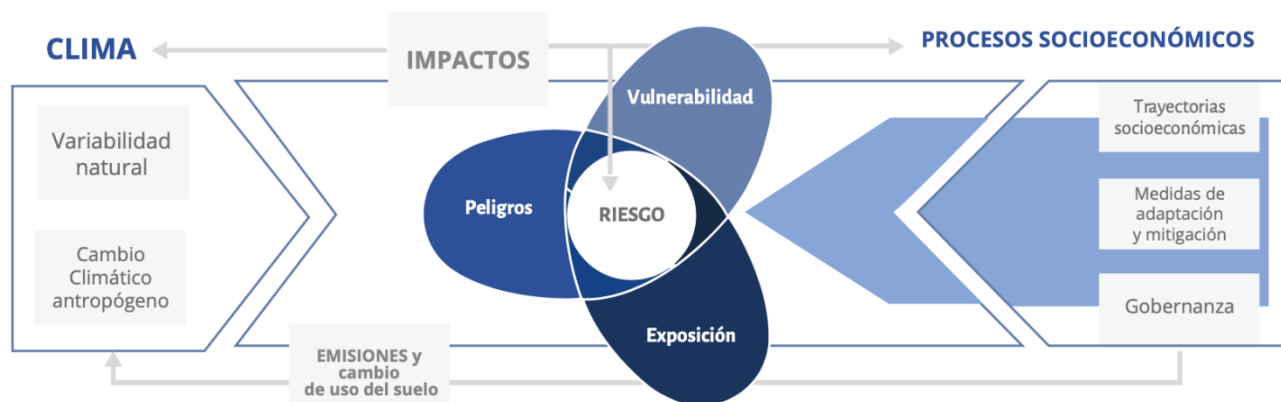
La modelación de las variaciones de temperatura y precipitación mensual, a escala nacional, se realizó con los datos que se obtuvieron del portal UNIATMOS del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM. Para ello se utilizaron cuatro modelos de circulación general: CNRMCM5 (Francia), GFDL_CM3 (Estados Unidos), HADGEM2_ES (Reino Unido) y MPI_ESM_LR (Alemania), correspondientes a los escenarios moderado y crítico a corto (2015-2039) y mediano plazo (2045-2069). Los modelos se procesaron a través del uso del *software* ArcGis 10.4 y QGIS 3.4.12.

Paso 3.1. Evaluación del riesgo económico por impacto en los activos naturales y servicios ecosistémicos

El análisis del riesgo en los activos naturales se realizó bajo la siguiente lógica: *¿cuál es el riesgo que representa la pérdida o deterioro de los activos naturales y servicios ecosistémicos de los que depende el sector turismo?*

Para contestar esta pregunta, se elaboró una cadena de impactos que muestra: *i.* los impactos que podrían causar los cambios de temperatura y precipitación (datos mostrados en los escenarios de cambio climático) en los activos naturales y servicios ecosistémicos, y *ii.* de qué manera estos impactos podrían interrumpir la operación de los negocios turísticos y causar un riesgo económico al sector (Figura 14). La información técnica-científica sobre los impactos del cambio climático se obtuvo a partir de publicaciones del IPCC y reportes técnicos sobre valoración económica.

Figura 13. Modelo para representar la relación del cambio climático y el riesgo.



Fuente: IPCC, 2014.

Adicionalmente, se realizó un análisis geográfico para identificar las áreas que muestran un aumento de 1.5°C fuera del rango térmico adecuado para cada activo natural, el cual supone una afectación directa a dichos elementos y a sus servicios que provee. Para ello, se consideró la metodología propuesta en el estudio *Caracterización de la exposición al Cambio Climático: Caso de manglares en Sian Ka'an*, que desarrolló el INECC.

Para estimar el riesgo económico actual y futuro, se empleó información oficial económica proveniente de instituciones de gobierno local y de bases de datos que proporcionaron las empresas turísticas del destino, así como diversos métodos de valoración económica que permitieran conocer el valor de los servicios ecosistémicos para el turismo y lo que representa su degradación por cambio climático, tanto a corto (2030) como a mediano plazo (2060).

Si bien, existen otros factores antropogénicos como el cambio acelerado del uso de suelo, el crecimiento demográfico mal planificado, la inseguridad, las pandemias y otros eventos que también pueden causar pérdidas económicas, no se consideraron en el análisis, pero sí en las recomendaciones. A continuación, se muestra una breve descripción metodológica para cada servicio ecosistémico analizado.

Provisión de agua

El análisis del servicio ecosistémico de provisión de agua se llevó a cabo con la metodología de costo de reemplazo, basada en el supuesto de que es posible calcular los costos financieros que implicaría la sustitución de determinados activos naturales que han sido afectados por las actividades humanas (Penna, J. A. y Cristeche, E., 2008), así como en un análisis costo-beneficio complementario. El ejercicio consideró los aspectos más relevantes que condicionan la disponibilidad de agua en el destino, a través de una serie de supuestos:

a) Los cambios en la temperatura y la precipitación por el cambio climático y sus impactos en los activos naturales que proveen el servicio, y como consecuencia las variaciones en las tasas de infiltración de agua al acuífero a corto (2030) y mediano plazo (2060).

b) El volumen de agua que actualmente se obtiene a partir de algunas plantas desalinizadoras, la información disponible sobre el espesor actual de la lente de agua dulce, [el volumen de agua residual tratado de acuerdo con información de CONAGUA \(2018\)](#), y la información de las tasas estimadas de crecimiento de la afluencia turística y la población del destino (SECTUR, 2019).

c) La provisión de agua potable actual se obtiene del acuífero a través de las operadoras AGUAKAN y CAPA, con un costo aproximado de \$8 pesos/m³. En el futuro, se contará con una cantidad limitada de la lente de agua dulce en los acuíferos Península de Yucatán e Islas de Cozumel, y el costo aumentará por el tratamiento de agua y por la producción mediante plantas desalinizadoras (18.6 pesos/ m³).

d) Dado que se desconoce el volumen remanente de la lente de agua dulce, se estableció un “día crítico”, el cual representa el momento hipotético en el que la disponibilidad de agua dulce sería insuficiente para atender la demanda. Para garantizar la operatividad del sector, el déficit de [agua, a partir del día crítico, se tendría que cubrir con plantas desalinizadoras. Los supuestos considerados se presentan a continuación en la \[Tabla 2\]\(#\)](#). Las principales alternativas tecnológicas para proveer agua al destino son plantas desalinizadoras. Es importante resaltar que estas alternativas no son las más adecuadas desde el punto de vista económico, social y ambiental, pero se consideraron para el estudio porque es la única información disponible por parte de las dependencias públicas, sobre los costos de producción del agua potable por fuentes alternas.

Tabla 2. Supuestos del servicio de provisión de agua otorgado por la selva.

Supuestos/Escenario	Corto plazo (2030)		Mediano plazo (2060)	
	Moderado	Crítico	Moderado	Crítico
Porcentaje de recarga del acuífero afectada por aumento de 1.5°C.	0%	0%	0% - 19.90%	5.21% - 72.19%
Porcentaje de recarga vertical del acuífero afectada por cambios en precipitación	+4 a -6%	+4 a -6%	+4 a -6%	+5 a -12%
Consumo de agua per cápita de los habitantes y turistas	115 l/hab	115 l/hab	115 l/hab	115 l/hab
	800 l/tur	800 l/tur	800 l/tur	800 l/tur
Tratamiento de agua residual de uso doméstico y turístico	40%	40%	60%	60%
Porcentaje de agua requerido mediante plantas desalinizadoras.	40%	40%	57.10 a 59.50%	57.50 a 81.00%

Figura 14. Cadena de impactos del cambio climático en activos naturales, servicios ecosistémicos y turismo.



Fuente: Elaboración propia.

Protección costera, generación de materiales y recreación

El ejercicio considera el hecho de que los arrecifes de coral de la región proveen los servicios ecosistémicos de protección costera, generación de materiales (arena y roca) y recreación, y al verse afectada su salud por el cambio climático, repercutirá en la economía proveniente del sector turismo.

El servicio de protección costera se refiere a la protección que brindan los arrecifes de coral al disminuir la fuerza del oleaje, y funcionar como zonas de amortiguamiento, sobre todo durante la ocurrencia de eventos extremos. El análisis incluye pérdidas por daños a los inmuebles y el cierre de operaciones; el servicio de generación de materiales considera el beneficio que otorgan los arrecifes en la producción constante de arena y roca que conforman las playas. Las cifras consideran las pérdidas y costos que asumirá el sector por la recuperación de playas, por ej. costos para comprar arena; el servicio de recreación asocia todas las actividades que se llevan en torno al arrecife, como el buceo, snorkel, observación de fauna marina. Los valores representan las pérdidas de ingresos por la cancelación de estas actividades.

Tomando en cuenta lo anterior, se utilizó la metodología transferencia de beneficios, la cual permitió obtener el beneficio económico de cada servicio a partir de diversos estudios técnicos-científicos, y adaptarlo al contexto de la Riviera Maya.

Los servicios de protección costera, provisión de materiales y recreación consideraron las proyecciones de blanqueamiento de arrecifes de coral por impacto del cambio climático realizadas por el servicio de vigilancia y monitoreo satelital de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, 2019). [Estas variaciones muestran la pérdida de la cobertura arrecifal, que podría ocurrir en los próximos años, por efecto de periodos de estrés térmico en los arrecifes \(DHW, por sus siglas en inglés\), ocasionados por el aumento de la temperatura media mensual de la superficie marina \(Glynn y D'Croz, 1990\).](#)

[Otro de los supuestos que se integró en la valoración fue el porcentaje de salud del arrecife, que se obtuvo a partir del Reporte del Arrecife Mesoamericano de Melanie *et al* \(2020\). Este supuesto considera el porcentaje del arrecife que se encuentra en óptimas condiciones y por lo tanto representa la cobertura que se aprovecha para la provisión de los servicios ecosistémicos.](#)

Para los servicios de protección costera y generación de materiales se definió un potencial del arrecife. Este supuesto se refiere al porcentaje de la cobertura arrecifal total que el sector turismo aprovecha, al considerar factores como la ubicación geográfica y accesibilidad del activo natural.

En el caso del servicio de recreación el área con potencial para el servicio de recreación se obtuvo a partir de la subzonificación de las Áreas Naturales Protegidas de la CONANP y el análisis de los planes de manejo para obtener la superficie arrecifal que cuenta con permiso de buceo.

Tabla 3. Supuestos del servicio de protección costera provisto por arrecifes de coral.

Supuestos/Escenario	Corto plazo (2030)		Mediano plazo (2060)	
	moderado	crítico	moderado	crítico
Salud del arrecife	56%			
Potencial del arrecife	70%			
Valor económico por hectárea	\$142,536 MNX/Ha.			

Tabla 4. Supuestos del servicio de generación de materiales provisto por arrecifes de coral.

Supuestos/Escenario	Corto plazo (2030)		Mediano plazo (2060)	
	moderado	crítico	moderado	crítico
Salud del arrecife	56%			
Potencial del arrecife	70%			
Valor económico por hectárea	\$98,394 MNX/Ha.			

Tabla 5. Supuestos del servicio de recreación provisto por arrecifes de coral

Supuestos/Escenario	Corto plazo (2030)		Mediano plazo (2060)	
	moderado	crítico	moderado	crítico
Salud del arrecife	56%			
Valor económico por hectárea	\$1,306,247 MNX			

Control de la erosión

El análisis considera la evidencia de que las praderas de pastos marinos controlan la erosión de playa al mantener firme el sustrato (James et al 2019), y que las algas calcáreas asociadas producen anualmente más de 815 g / m² de arena (Van Tussenbroek y Van Dijk, 2007). Se empleó la metodología de transferencia de beneficios, y se definió el valor económico de las praderas de pastos marinos por hectárea a partir de la revisión de artículos científicos.

Debido a que existe poca información sobre los impactos del cambio climático en las praderas de pastos marinos de México, los supuestos que se establecieron integran factores distintos al cambio climático como causantes de la pérdida de este activo natural.

El supuesto para esta valoración comprende la estimación de una tasa pérdida anual, a partir de la pérdida que se ha observado en las comunidades de pastos de todo el planeta. Cabe mencionar que esta tasa de pérdida considera factores como la descarga de residuos urbanos, industriales y agrícolas al mar, el desarrollo costero, proceso de dragado, pesca no regulada y el cambio climático (UNEP, 2020). Como se mencionó previamente, para este estudio no se consideró la reducción de pastos marinos por impacto sinérgico ocasionado por la pérdida de arrecifes ni la reducción ocasionada por los recales masivos de sargazo que ocurren en el Caribe Mexicano desde el año 2013.

Debido a que no se cuenta con modelaciones sobre los posibles efectos del cambio climático en las praderas de pastos marinos, únicamente se establecieron los horizontes temporales, pero no se utilizaron los escenarios moderado y crítico.

Tabla 6. Supuestos del servicio de control de la erosión provisto por praderas de pastos marinos.

Supuestos/Escenario	Corto plazo (2030)		Mediano plazo (2060)	
Tasa de pérdida anual	7%			
Valor económico por hectárea	\$457,390 MNX/Ha.			

Paso 3.2. Evaluación del riesgo económico por impacto en los activos empresariales y la infraestructura estratégica

El análisis del riesgo económico en los activos empresariales (inmuebles) y en la infraestructura estratégica (aeropuerto, estación de bomberos, subestaciones eléctricas, puentes, hospitales y carreteras) se llevó a cabo a través del Análisis Probabilista de Riesgo (APR), el cual considera la amenaza, la exposición y la vulnerabilidad. El APR permite identificar indicadores del riesgo económico, comúnmente empleados en el sector asegurador, como la Pérdida Promedio Anual (AAL) y la pérdida ante un escenario crítico.

La AAL se refiere al valor promedio de la pérdida que se tendría en un año al considerar un periodo de exposición prolongado. Mientras que la pérdida ante un escenario crítico se refiere al evento que tiene mayor contribución a la AAL. En la Figura 15 se ilustran las fases del análisis. Las primeras fases consideraron el mismo polígono de los activos naturales (cuencas hidrográficas de CONAGUA) y los mismos escenarios de cambio climático.

La modelación probabilista de las amenazas consideró los parámetros históricos establecidos con un periodo de retorno de 20 años. Para la amenaza de inundación, se ajustó el modelo probabilista incorporando los cambios en la precipitación según los escenarios de cambio climático. Para marea de tormenta y viento huracanado no se incluyeron debido a limitaciones metodológicas, aunque se reconoce la importancia de estas amenazas para la zona.

La evaluación de los activos empresariales consideró la revisión de las características constructivas¹ de 791 unidades económicas de hospedaje, de un total de 898 unidades reportadas en el DENUE. De estas unidades económicas, se realizó una inspección en campo de 20 empresas (14 hoteles, 2 marianas, 3 parques acuáticos y 1 centro de turismo ecológico), y el resto de las unidades se evaluó a distancia.

Para la evaluación de la infraestructura estratégica se realizó una consulta de información disponible en el Marco Geoestadístico Nacional y la Red Nacional de Caminos 2018 del INEGI, la base de datos de aeródromos y helipuertos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, el Atlas Nacional de Riesgos del Centro Nacional de Prevención y Desastres, y la Comisión Federal de Electricidad. Los resultados incluyen el análisis de 5 puertos, 6 aeropuertos, 10 estaciones de bomberos, 28 subestaciones eléctricas, 24 puentes, 89 hospitales, 21,945 km de carreteras.

El análisis de riesgo se realizó con el *software* R-Plus, en el cual se asignó una función de vulnerabilidad a cada elemento constructivo, la cual caracteriza el comportamiento físico de las construcciones durante la ocurrencia de una amenaza específica. A partir de los resultados se obtuvo la AAL y la pérdida ante un escenario crítico (ERN, 2020).

¹ Las características constructivas consideran el tipo de construcción, los materiales, los acabados y otros aspectos propios de los inmuebles.

Paso 4.1. Integración de resultados en el Sistema de Información de Riesgos Económicos (SIRE)

Se desarrolló una plataforma web denominada Sistema de Información de Riesgo Económico (SIRE-ADAPTUR), con el objetivo de presentar los resultados del estudio a los empresarios del sector turismo y a las autoridades locales, así como proveer información que facilite la toma de decisiones sobre posibles soluciones de adaptación. La plataforma incluye una herramienta que permite actualizar los análisis de riesgo económico para el servicio de provisión de agua, llamada "simulador".

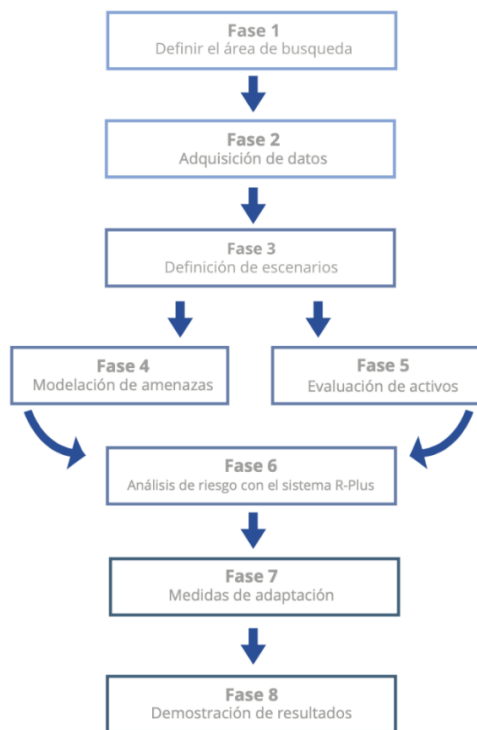
Paso 5.1. Comunicación de resultados

Finalmente, se presentaron los resultados a los actores clave, de forma virtual debido a la contingencia por la pandemia de COVID-19, y posteriormente se realizó la entrega formal del informe final.

Paso 6.1 Revisión del proceso

La revisión del proceso comprende la última etapa de la metodología participativa. Durante este paso se solicitó a las empresas, dependencias de gobierno y organizaciones de la sociedad civil participantes, a dar su retroalimentación sobre las actividades y productos que se generaron en la consultoría, con el objetivo de realizar mejoras que pudieran aplicarse a un nuevo ciclo de evaluación.

Figura 15. Metodología para el APR en activos empresariales e infraestructura estratégica.



Fuente: Elaboración propia. Adaptado de ECA (2014).

4. RESULTADOS

©ADAPTUR/Mariana Rodríguez Aguilera

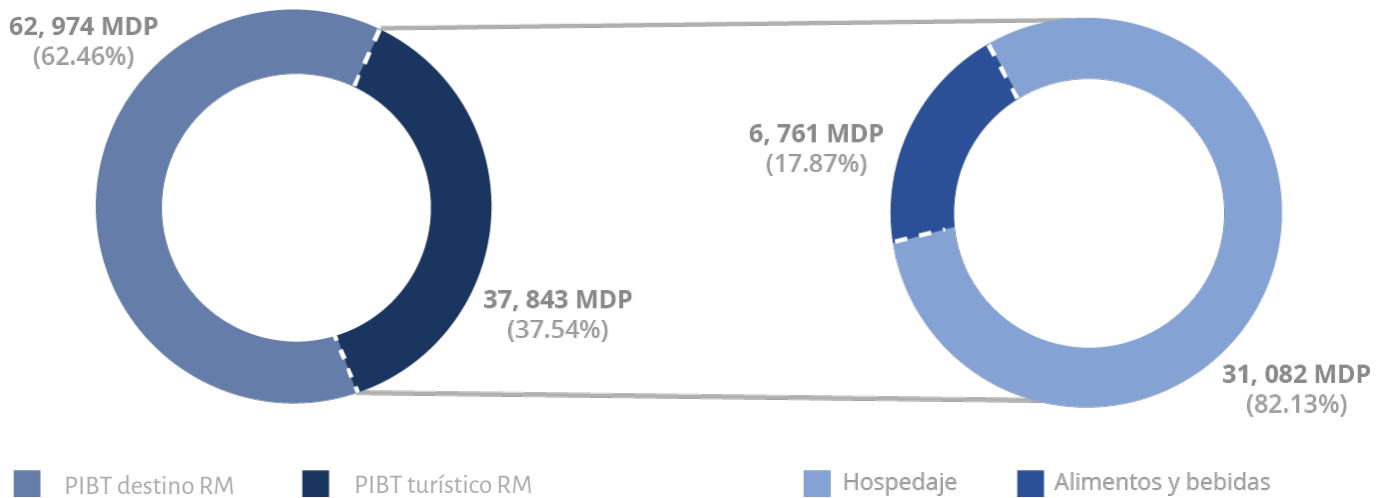
4.1. Subsectores y unidades económicas

La Riviera Maya se integra por los destinos turísticos con más afluencia de turistas y gasto promedio de México. En el último censo económico que realizó el INEGI, el Producto Interno Bruto Turístico (PIBT) que se reportó para estos destinos fue de \$37,843 millones de pesos, lo que representó el 37.54% del Producto Bruto Total (PBT) de los municipios de Benito Juárez, Puerto Morelos, Solidaridad, Tulum y Cozumel, en el estado de Quintana Roo (INEGI, 2014).

En 2019, la derrama turística de los destinos se ubicó en más de \$15,000 MDD (SEDETUR, 2020). La relevancia que ha adquirido el sector turismo en el desarrollo económico de la Riviera Maya hace prioritario el conocimiento de los posibles impactos del cambio climático, con el objeto de que las empresas turísticas diseñen un esquema de operación que se adapte a los retos futuros.

La Figura 16 muestra la distribución de la derrama económica de los subsectores de hospedaje y alimentos y bebidas, de acuerdo con el PBT de 2014.

Figura 16. Aporte económico del sector turismo en la Riviera Maya.

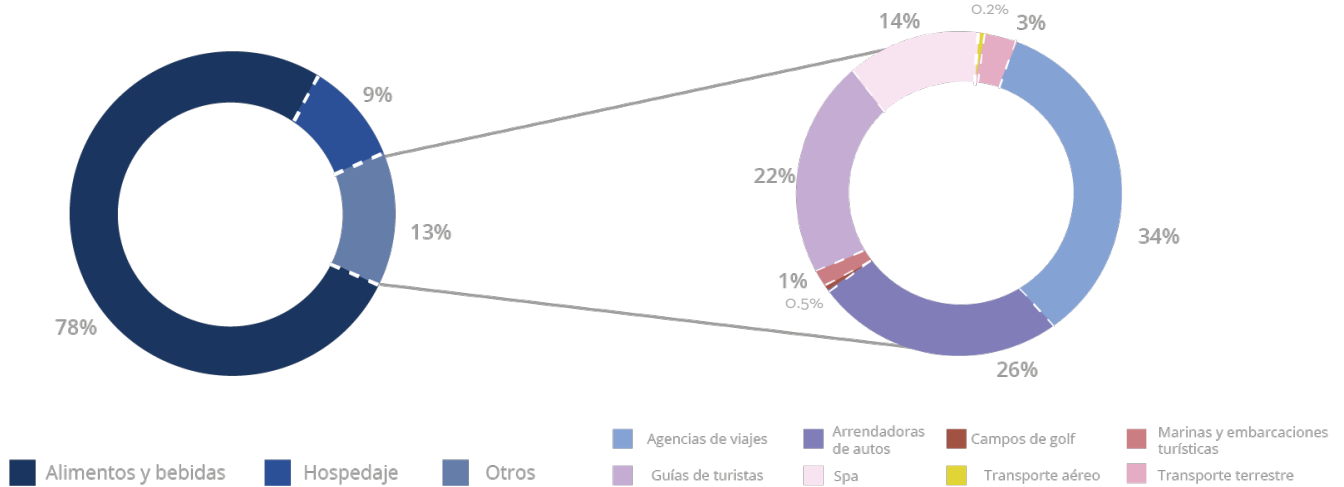


Fuente: Elaboración propia con datos de DENU.

De acuerdo con el DENU, la Riviera Maya cuenta actualmente con 48,330 unidades económicas. De estas, 9,564 corresponden a los subsectores turísticos que operan en el destino² (INEGI, 2019). La Figura 17 muestra la distribución de las empresas turísticas en la Riviera Maya, de acuerdo con el subsector turístico al que pertenecen.

El subsector hospedaje de la Riviera Maya cuenta con 898 unidades económicas, que representan el 9% de las empresas turísticas en el destino turístico.

Figura 17. Unidades económicas del sector turismo en la Riviera Maya.

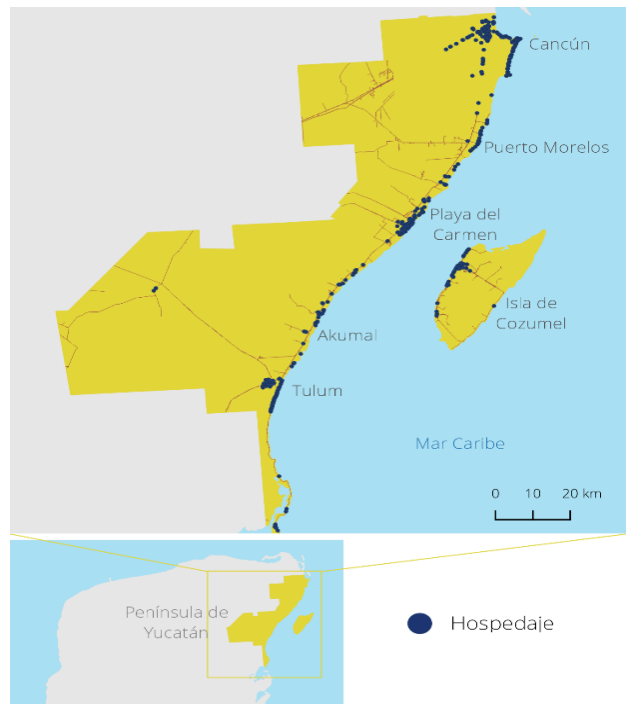


Fuente: Elaboración propia con datos de DENU.

El análisis realizado se centró en el subsector Hospedaje de los municipios de Benito Juárez, Puerto Morelos, Solidaridad, Tulum y Cozumel. Este conjunto cuenta con 898 empresas, que representan el 9% de las unidades económicas turísticas en el sitio de estudio, las cuales tienen una aportación de 30.83% al PBT de los municipios (INEGI, 2014).

Figura 18. Distribución de las unidades económicas del sector turismo en la Riviera Maya.

Para dimensionar el tamaño de las empresas, el DENU reporta que el 60.2% de las unidades del subsector Hospedaje son microempresas, que cuentan de uno a 10 empleados, el 27.1% está integrado por pequeñas y medianas empresas con la ayuda de hasta 100 empleados, y las unidades restantes corresponden a grandes empresas con la ayuda de más de 100 empleados y representan el 12.7% (DENU, 2019).



En la Figura 18 se ilustra la distribución de las empresas hoteleras en el área de estudio.

Fuente: Elaboración propia con datos de DENU.

² La Riviera Maya cuenta con 10 subsectores de los 13 identificados por SECTUR, estos son: Agencias de viaje, Alimentos y bebidas, Arrendadoras de autos, Campos de golf, Convenciones y ferias, Destinos turísticos, Guías de turistas, Hospedaje, Spa, Transporte terrestre.





4.2. Activos naturales y servicios ecosistémicos

La población y las empresas turísticas en el destino reciben una gran cantidad de beneficios de los activos naturales presentes en el área de estudio, los cuales se denominan servicios ecosistémicos (Figura 20). Para este estudio, sólo se analizaron algunos servicios relacionados con el turismo, reconociendo que existen muchos otros.

De acuerdo con el ejercicio de priorización, el servicio ecosistémico más importantes para el sector turismo en la Riviera Maya es la protección costera, la cual se asocia a la protección de infraestructura.

Para este estudio, los resultados globales muestran que existe una percepción generalizada sobre la importancia del servicio de protección costera que brindan los arrecifes de coral, y que permiten mitigar los efectos de fenómenos climáticos extremos como los huracanes (Figura 19). No obstante, hay otros ecosistemas que brindan el mismo servicio (como manglares, dunas costeras y pastos marinos) que no fueron considerados.

Figura 19. Resultados de la priorización de servicios ecosistémicos por el sector turismo en la Riviera Maya*.

Nombre	Gráfico	Preferencia	Priorización
Protección costera		29%	1º
Control de erosión		25%	2º
Provisión de agua		24%	3º
Recreación		22%	4º

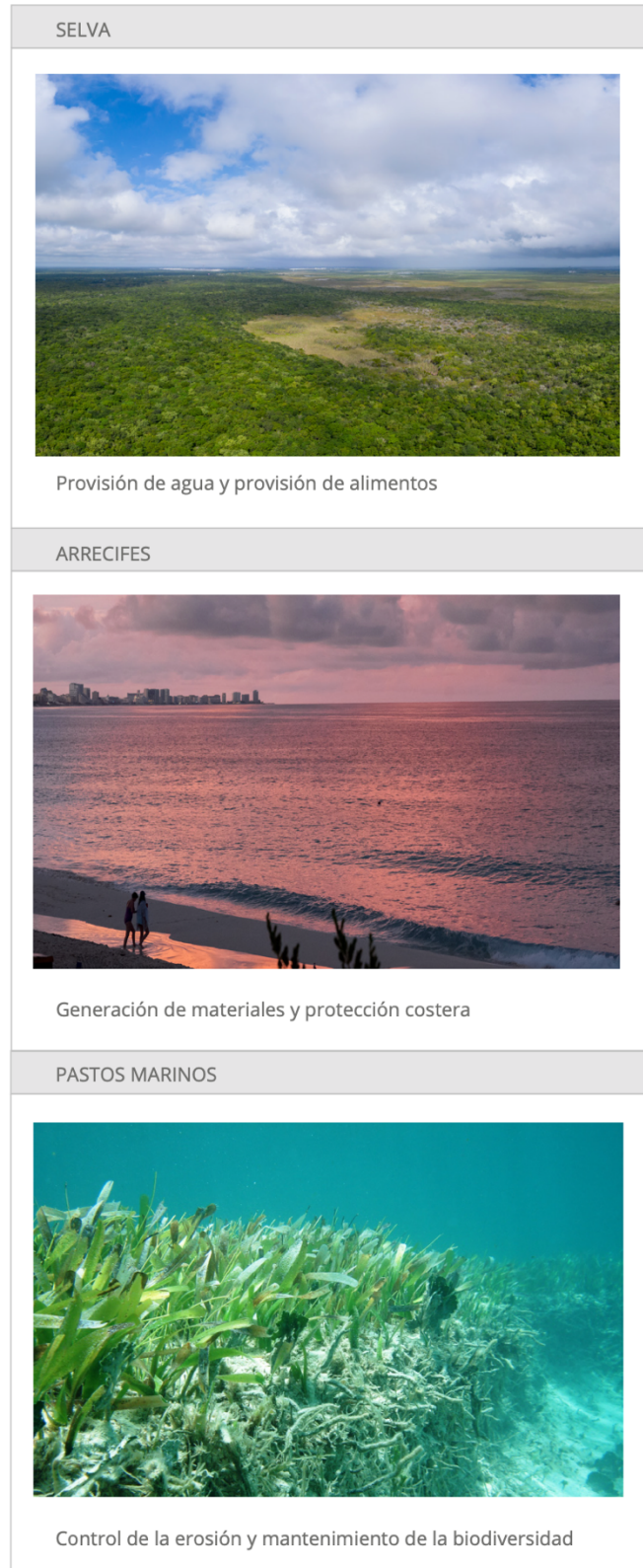
*En todos los casos, los resultados del índice de consistencia (IC) muestran que el ejercicio fue estadísticamente significativo.

Fuente: Elaboración propia.

Al desagregar las preferencias por criterios de análisis, se identificó que el servicio de protección costera es el más importante para la protección de la infraestructura; mientras que el servicio de recreación se identificó como prioritario para mantener la competitividad del destino en el mercado; y por último, el servicio de provisión de agua fue el mejor valorado para la operación de los negocios (Figura 21).

Es importante resaltar que los resultados integran las preferencias de 18 representantes, no solo de empresarios turísticos, sino también del sector público, académico y social relacionados con el sector (Figura 22).

Figura 20. Activos naturales y algunos servicios ecosistémicos en la Riviera Maya.



Fuente: Elaboración propia con fotos de GIZ-ADAPTUR (selva y arrecifes) y de Vanessa Francisco (pastos marinos).

Figura 21. Resultados de la priorización por criterio de análisis en la Riviera Maya.

Protección de infraestructura		Preferencia
Protección costera		43%
Control de la erosión		38%
Recreación		9.8%
Provisión de agua		9.2%

Competitividad en el mercado		Preferencia
Recreación		35%
Protección costera		24%
Control de la erosión		23%
Provisión de agua		18%

Operación de los negocios		Preferencia
Provisión de agua		39%
Recreación		24%
Protección costera		21%
Control de la erosión		16%

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: GIZ-ADAPTUR.

4.3. Cambio climático en la Riviera Maya

El cambio climático podría repercutir en los activos naturales ocasionando su pérdida y la de los servicios ecosistémicos que proveen beneficios a la población y a las empresas turísticas.

En las próximas décadas, la Riviera Maya enfrentará cambios en el clima relacionados con el incremento en la temperatura media anual, la disminución de la precipitación, el aumento del nivel del mar, cambios en la frecuencia e intensidad de los huracanes, entre otros (SECTUR, 2016). A continuación, se presenta el análisis de los cambios y su efecto en la distribución de los activos naturales que proporcionan los servicios ecosistémicos.

Variación de temperatura

En los últimos 50 años, la temperatura media anual en el destino fue de 25.6°C, con variaciones desde los 25.2°C hasta los 26.2°C, es decir una variación no mayor a 1°C.

Hacia el futuro, los escenarios de cambio climático a corto plazo (2030), muestran que la temperatura media anual podría variar entre 26.3°C y 27°C en el escenario moderado, y oscilar en el rango entre los 26.4°C a 27°C en el escenario crítico. En ambos casos el incremento de la temperatura podría alcanzar un rango entre 0.7°C a 1.4°C.

Figura 22. Memoria fotográfica de la sesión ejecutiva en la Riviera Maya.



Hacia el mediano plazo (2060), los efectos del cambio climático son más drásticos. Se podría alcanzar una temperatura media anual entre los 26.8°C y 27°C en el escenario moderado, o llegar entre 27.3°C y 28.6°C en el escenario crítico. Esto representa un incremento entre 1.1°C y 2.9°C, respecto a la temperatura actual.

La Riviera Maya podría incrementar su temperatura media anual entre 0.7°C y 1.4°C a corto plazo (2030), y de 1.1°C a 2.9°C a mediano plazo (2060).

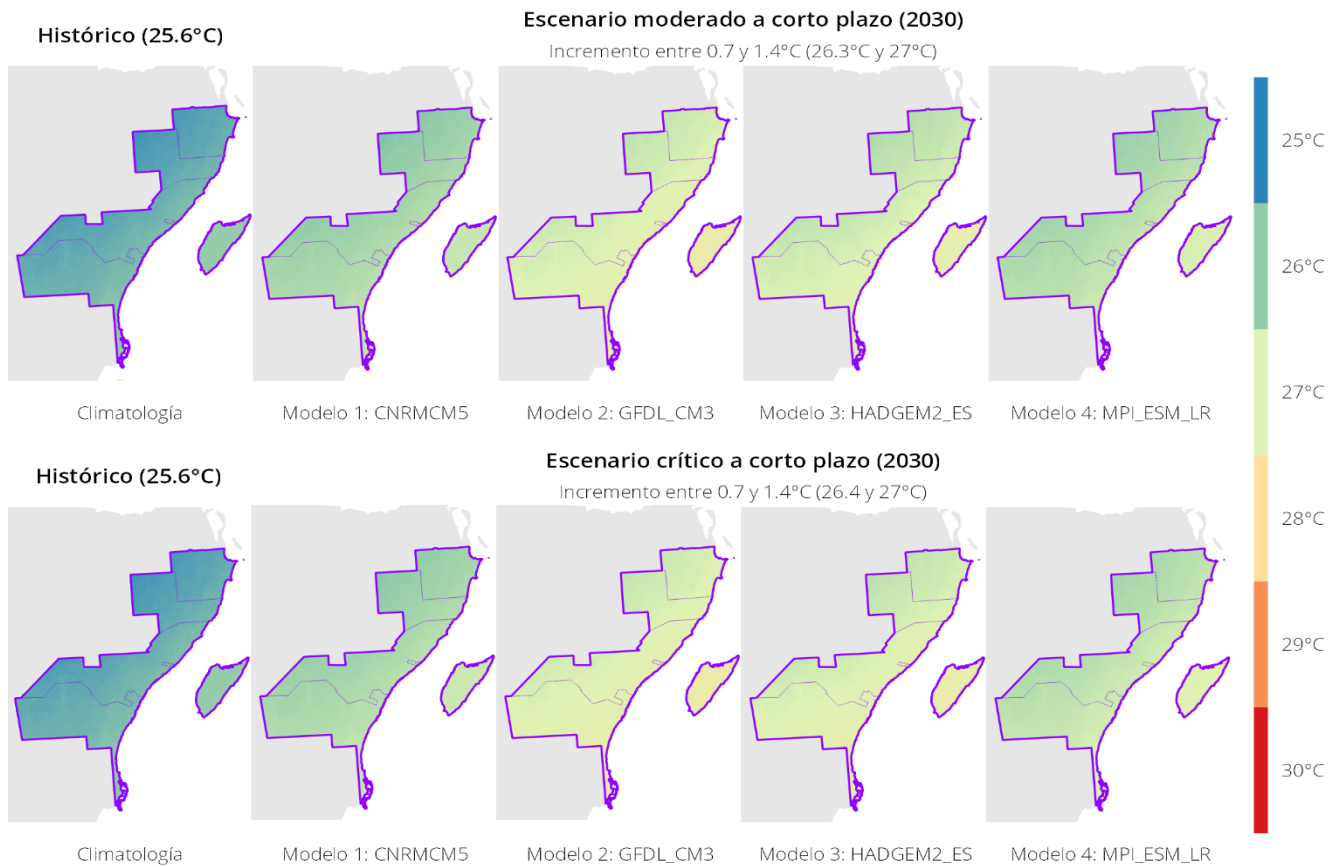
De acuerdo con el IPCC, los incrementos de temperatura mayores a los 1.5°C podrían ocasionar cambios en la distribución geográfica de distintas especies (IPCC, 2018). A corto plazo (2030), no se obtuvieron áreas afectadas debido a que el aumento de temperatura es menor a los 1.5°C y por lo tanto la cobertura vegetal permanece sin cambios. Sin embargo, a mediano plazo (2060) se observan áreas con incrementos mayores a los 1.5 °C. La Figura 25 ilustra el área de cada uno de los activos naturales cuyo umbral térmico⁴ de distribución podría afectarse a mediano plazo (2060) en la Riviera Maya.

En las figuras 23 y 24 se observan los cambios que se esperan a corto (2030) y mediano plazo (2060) para la Riviera Maya, así como la temperatura media de acuerdo con la climatología base (1950-2000). En ambos escenarios se observan cambios de temperatura acentuados a lo largo de la línea de costa y en la isla de Cozumel³.

³ Las variaciones de temperatura y precipitación se obtuvieron a partir de los modelos de circulación general (MCG). Estos son representaciones numéricas que permiten estudiar y simular el clima de acuerdo con las propiedades físicas, químicas y biológicas de los componentes del sistema, por ejemplo, la atmósfera y el océano. Los modelos utilizados fueron: CNRMCM5 (Francia), GFDL_CM3 (Estados Unidos), HADGEM2_ES (Reino Unido) y MPI_ESM_LR (Alemania).

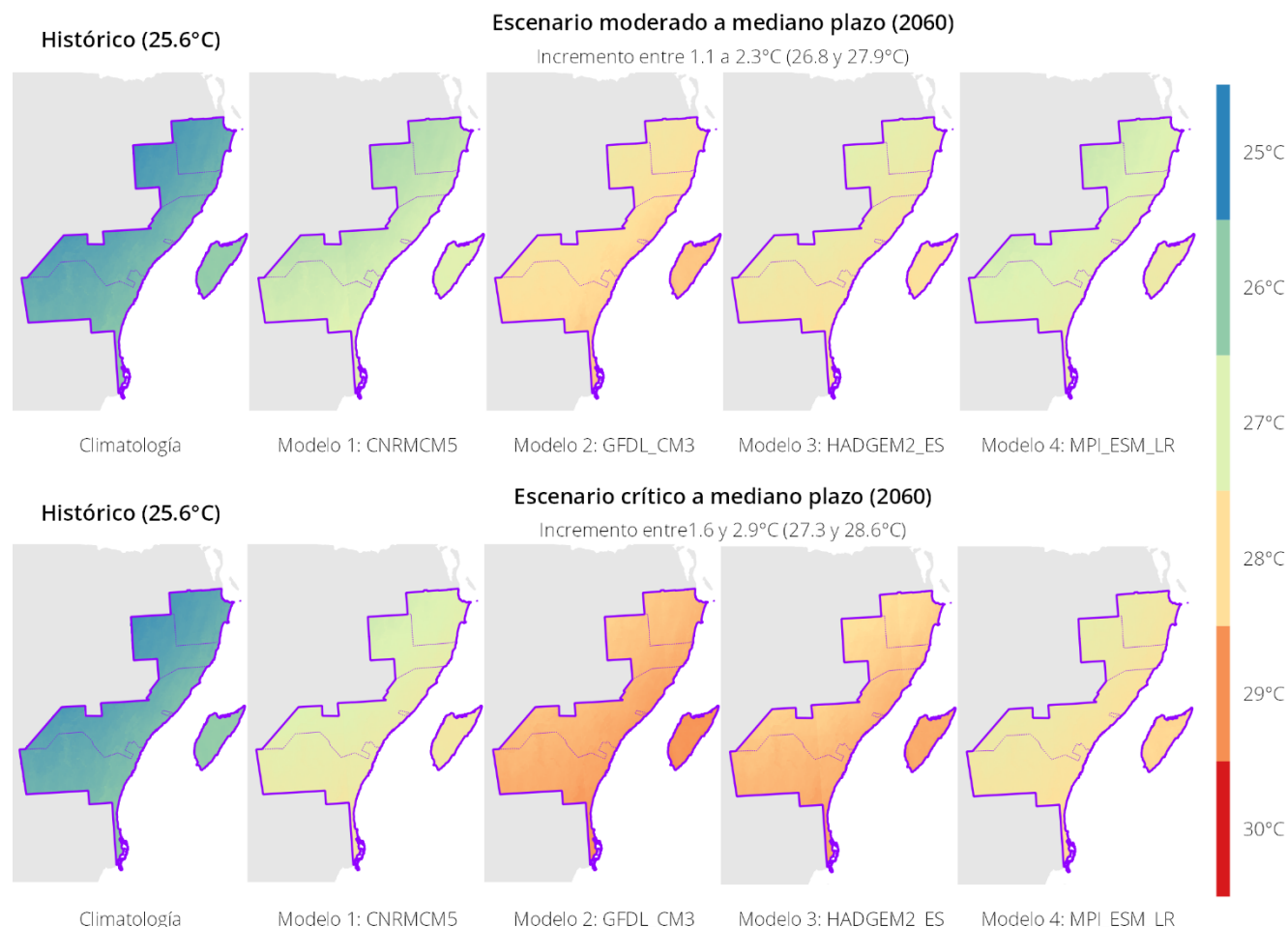
⁴ Rango de temperatura en el que se desarrolla un ecosistema.

Figura 23. Cambios de temperatura media anual en la Riviera Maya a corto plazo (2030).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 24. Cambios de temperatura media anual en la Riviera Maya a mediano plazo (2060).



Fuente: Elaboración propia.

El incremento de la temperatura a mediano plazo (2060) podría ocasionar afectaciones en un 72.2% (2,768,976 ha) de los activos naturales prioritarios en las cuencas de la Riviera Maya.

Por otro lado, los arrecifes se encuentran altamente expuestos ante los efectos del cambio climático, y uno de los principales efectos es su blanqueamiento debido al aumento de la Temperatura Superficial del Mar (TSM). Se ha demostrado que los arrecifes de coral comienzan a estresarse cuando la TSM aumenta 1°C en relación con la temperatura media mensual máxima (Dylnn y D'Croze, 1990).

De acuerdo con las proyecciones de blanqueamiento de coral elaboradas por Hooijdonk *et al.* (2014), ante un episodio de estrés térmico anual en el escenario moderado,

los corales de Riviera Maya sufrirán blanqueamiento progresivo a partir del año 2025, alcanzando afectaciones mayores al 50% de su cobertura en el 2040 y una afectación del 100% en el 2055.

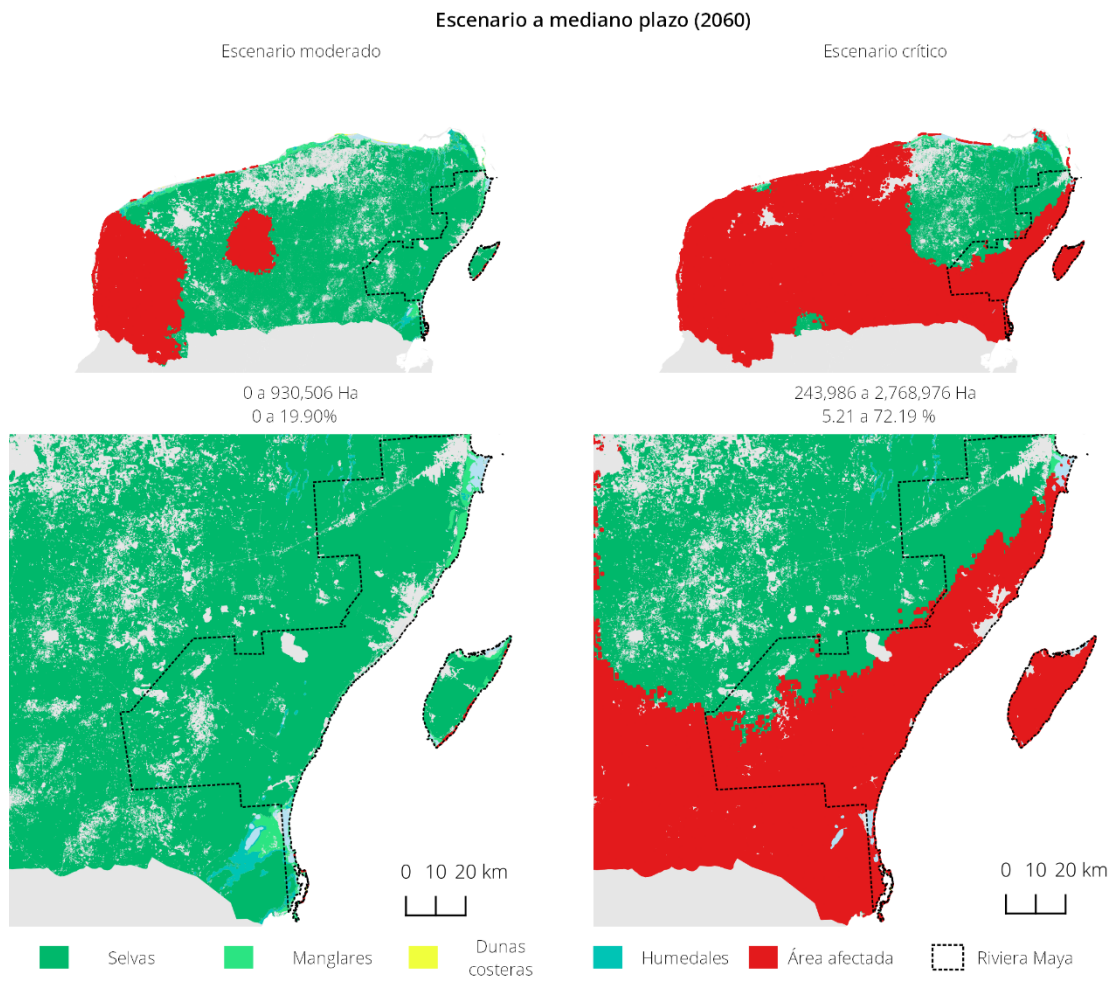
En un escenario crítico, ante la misma condición, los corales se verán igualmente afectados desde el 2025. Sin embargo, sus afectaciones se vuelven más agudas, pues para el 2035 más del 50% de las áreas de coral se verían afectadas, y tan solo 5 años después el 100% sufriría blanqueamiento (Figura 26).

El aumento de temperatura por cambio climático podría ocasionar el blanqueamiento del 50% de la cobertura de arrecifes de coral a partir del año 2035.



©ADAPTUR/Mariana Rodríguez Aguilera

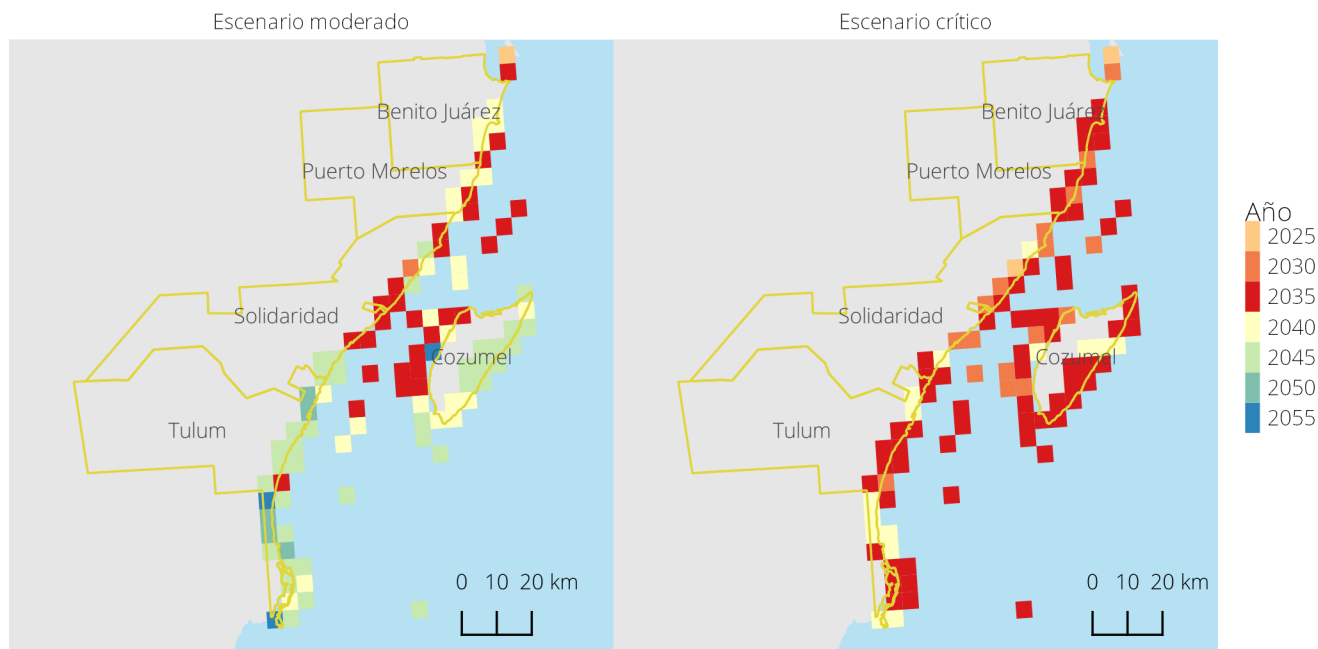
Figura 25. Cambios en la cobertura vegetal (área en rojo) por incremento de 1.5°C en el mediano plazo (2060) en el área de estudio.





©ADAPTUR/Mariana Rodríguez Aguilera

Figura 26. Blanqueamiento de arrecifes de coral por incremento de la temperatura causado por cambio climático en el mediano plazo (2060) en la Riviera Maya. El área en rojo muestra el año en que se afectará más del 50% de la cobertura arrecifal.



Fuente: Elaboración propia con datos de Hoidonk *et al.* (2014).

Finalmente, las praderas de pastos marinos cuentan con poca información sobre su respuesta ante el cambio climático, por lo que no es posible elaborar un mapa de afectación para este activo natural. Los impactos de cambio climático sobre las praderas de pastos marinos son variables, algunos estudios señalan que hay especies con una amplia tolerancia al incremento de temperatura (Birchenough, 2017; UNEP, 2020) y el incremento de CO₂ en el agua podría ser favorable para que puedan realizar fotosíntesis.

Aunado a ello se espera que los cambios en las condiciones del clima pueden aumentar la frecuencia e intensidad de fenómenos climáticos extremos afectando a los pastos marinos y la calidad o cantidad los servicios ecosistémicos que éstos prestan (Appendini, 2019; UNEP, 2020). Por otro lado, se considera que los pastos marinos estarán más expuestos al oleaje por deterioro de los arrecifes, este es un ejemplo muy claro de la importancia de la interconectividad

de los ecosistemas (B. I. Van Tussenbroek, comunicación personal, 24 de septiembre de 2020).

Se espera que los efectos del cambio climático sobre estos activos naturales puedan tener interacciones sinérgicas con otras actividades humanas (p. ej. pesca, deportes recreativos, turismo, vertidos de aguas residuales), lo que podría tener repercusiones ecológicas y en la distribución de estos. El conocimiento aun es limitado sobre cuál podría ser la magnitud de todos estos efectos (Monioudi *et al.*, 2018).

Cabe resaltar que este activo natural desempeña un papel importante en la adaptación y la mitigación del cambio climático, su afectación podría también impactar en otros activos como los son los arrecifes.

Variación de la precipitación

De acuerdo con los registros históricos, el índice de precipitación media anual en el destino es de 1198 mm, con variaciones en las zonas más secas de Benito Juárez y Puerto Morelos con alrededor de 1062 mm, así como en las zonas más húmedas que corresponden a la Isla de Cozumel y Playa del Carmen en el municipio de Solidaridad.

La Riviera Maya podría variar su precipitación media anual entre +3% y -5% al corto plazo (2030), y entre +2% y -10% a mediano plazo (2060) en un escenario crítico.

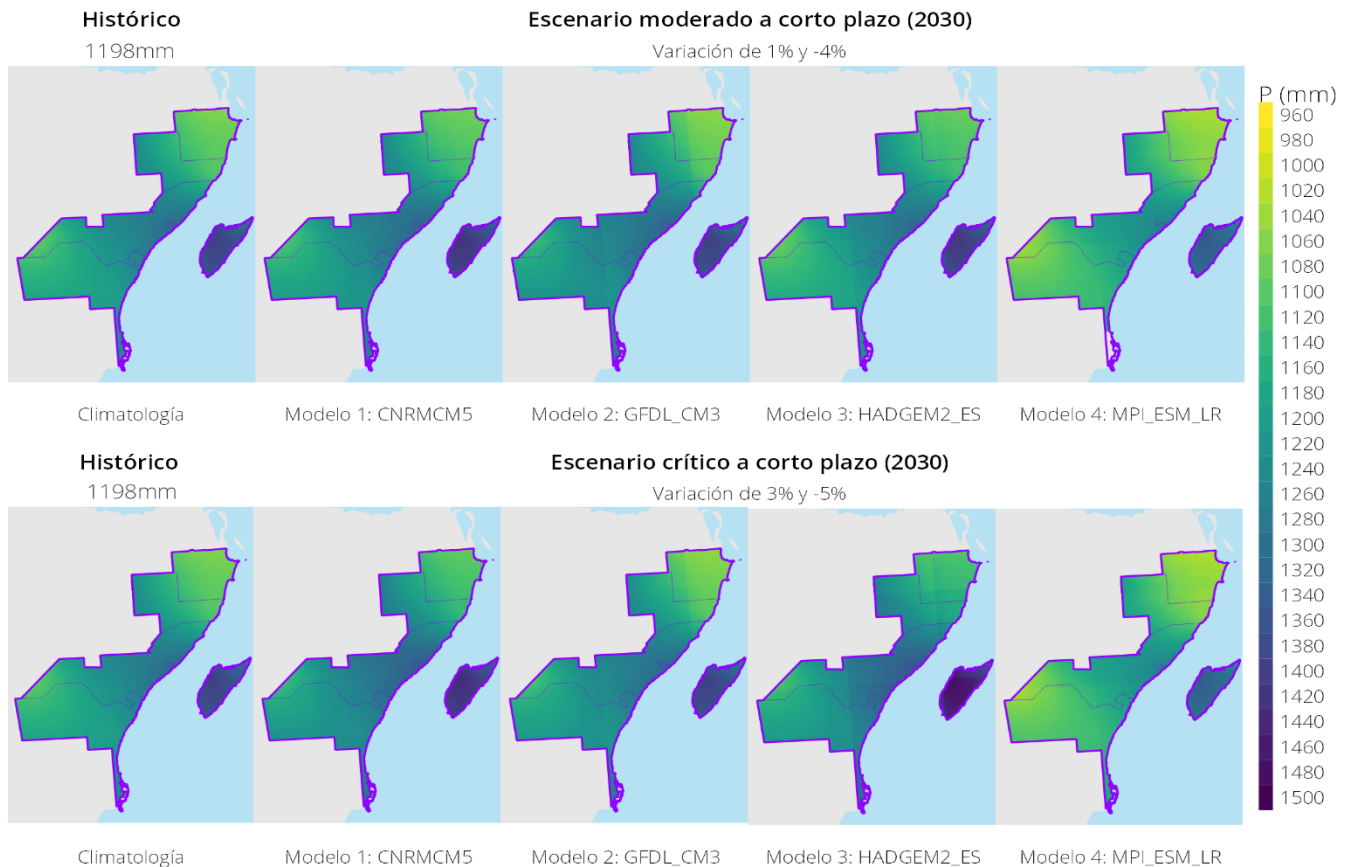
La modelación de los cambios de precipitación que se esperan a corto plazo (2030) muestra que la media anual podría variar de manera positiva (+1% lluvia) y negativa (-4% lluvia) en el escenario moderado, esto equivale a una precipitación promedio anual entre los 1213 y 1146 mm.

En el escenario crítico, la precipitación podría variar de manera positiva (+3% lluvia) y negativa (-5% lluvia), es decir, con una precipitación promedio anual entre los 1233 y 1141 mm, respectivamente. Cabe mencionar que los escenarios de cambio climático proyectan a futuro las condiciones históricas del periodo 1950 a 2000, por tanto, no representan condiciones particulares de la variabilidad climática como lo es El Niño Oscilación del Sur (ENOS).

A mediano plazo (2060), el destino podría presentar de igual forma variaciones negativas y positivas, en el escenario moderado la precipitación podría variar entre +2% y -4% (1146 y 1216 mm), y en el escenario crítico las variaciones podrían estar en el rango entre +2% y -10% (1218 y 1075 mm).

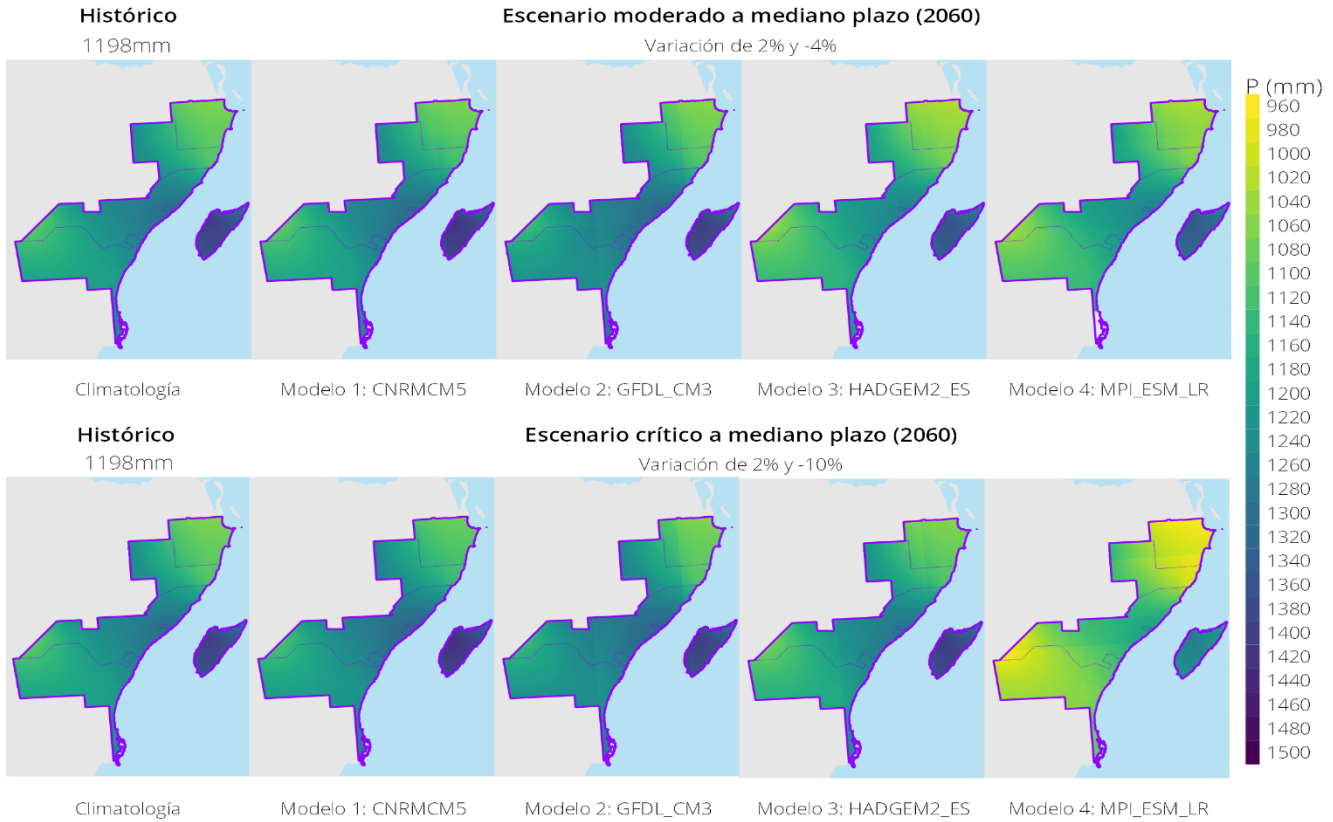
En la Figuras 27 y 28 se observan los cambios de precipitación que se esperan a corto (2030) y mediano plazo (2060) en el destino turístico, respecto a la climatología base de 1950 al 2000.

Figura 27. Cambios de la precipitación por cambio climático a corto plazo (2030) en la Riviera Maya.



Fuente: Elaboración propia.

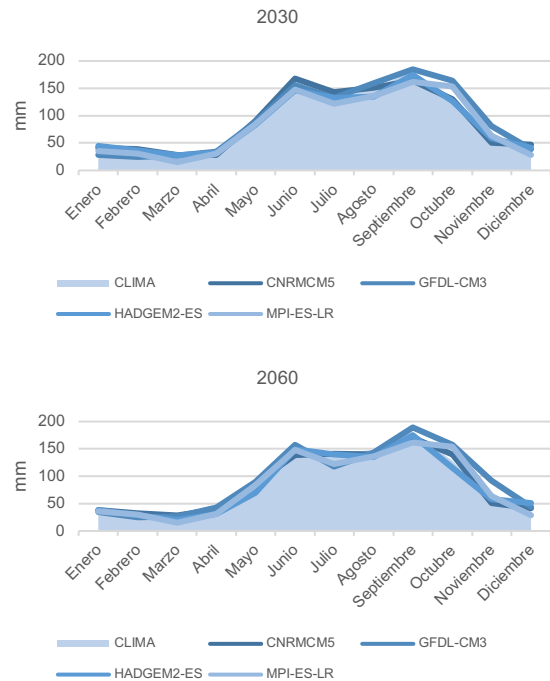
Figura 28. Cambios de la precipitación por cambio climático a mediano plazo (2060) en la Riviera Maya.



Fuente: Elaboración propia.

Ahora bien, al realizar un análisis mensual, los modelos mostraron una reducción de lluvias en el primer trimestre del año y en el mes de julio, además de un incremento de lluvias en el mes de septiembre a corto plazo (2030). A mediano plazo (2060), se mantiene la reducción de lluvias en el primer trimestre del año, sin embargo, se vuelve notable el incremento de lluvia en los meses de septiembre a noviembre, respecto a la precipitación histórica que se ha registrado en el destino (Figura 29).

Figura 29. Cambios en la precipitación media mensual por cambio climático en la Riviera Maya.



Fuente: Elaboración propia.

En el corto plazo, las lluvias en Riviera Maya podrían reducirse en el primer trimestre del año. En el mediano plazo, se prevén más lluvias para los meses de septiembre a noviembre respecto a la precipitación histórica.

La disminución de la lluvia podría ocasionar una reducción en el nivel de recarga en los acuíferos que proveen de agua a Riviera Maya, entre 5% y 11%, lo cual reduciría la disponibilidad del agua dulce en el destino. Por otra parte, el aumento de lluvias podría deberse a un mayor número de días con lluvias extremas, lo que puede agravar los problemas de inundación y erosión costera.

4.4. Ubicación geográfica de amenazas climáticas

De manera complementaria se presentan los mapas de las amenazas que se analizaron para los activos empresariales y la infraestructura estratégica, las cuales son: inundación, viento huracanado y marea de tormenta. Cabe mencionar que, por limitaciones metodológicas, la variación de la precipitación por cambio climático únicamente se incorporó en inundación.

Inundación

La modelación de inundación para un periodo de retorno de 20 años⁵, mostró que las zonas que presentan un mayor nivel de amenaza se localizan en los municipios de Benito Juárez y Solidaridad. Estas zonas mostraron un tirante de inundación máximo de un metro de altura.

A corto plazo (2030), el valor máximo del nivel de inundación estimado es de 1.1 m para el escenario moderado y 1.2 m para el escenario crítico. A mediano plazo (2060), la inundación máxima podría ser de 1.02 m para el escenario moderado y 1.03 para el escenario crítico (Figura 30).

Es importante mencionar que los tirantes de inundación corresponden a la inundación pluvial y no toman en cuenta la inundación por marea de tormenta.

De igual forma, los resultados mostrados en el presente estudio no pretenden sustituir a otros estudios, como los Atlas de Riesgo (nacionales, estatales o municipales), donde se toma o debería tomarse en cuenta, las diferentes variables para su elaboración o de trabajos de campo, incluyendo la exposición y su vulnerabilidad. Los resultados mostrados tienen la finalidad de indicar al periodo de retorno de las intensidades de cada amenaza evaluada en la obtención de las pérdidas.

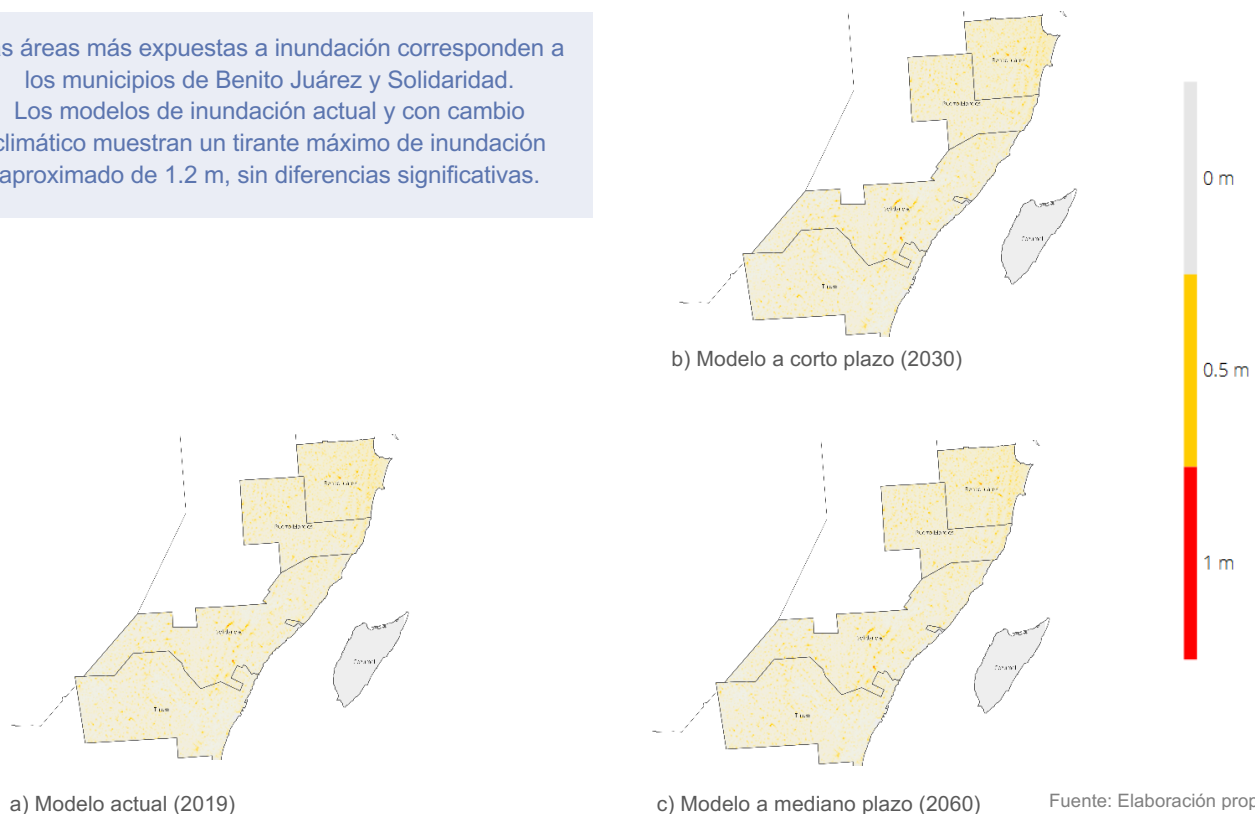
Estos resultados muestran que las variaciones de la precipitación podrían generar un nivel de inundación muy similar al modelo actual o incluso menor. Sin embargo, es importante mencionar que se pueden presentar eventos de lluvia extrema que podrían causar inundaciones severas e inesperadas.

El modelo de inundación que se analizó en este proyecto corresponde únicamente al modelo probabilista de inundación pluvial, mismo que se refiere al agua de lluvia que satura la capacidad del terreno para drenarla. En este sentido, y debido a que la cantidad de lluvia será, en promedio, menor a la que se presenta actualmente, se espera que los daños que se presenten en el mediano y corto plazo sean en promedio menores. Esto no significa que no haya eventos extremos que generen pérdidas mayores a las reportadas de manera histórica, sino que en esos lapsos de tiempo la pérdida promedio será menor.

⁵ El periodo de retorno es una ventana de tiempo asociada a la intensidad de una inundación probable.

Figura 30. Comparativo de tirantes máximos de inundación entre modelo actual y modelos con cambio climático en Riviera Maya.

Las áreas más expuestas a inundación corresponden a los municipios de Benito Juárez y Solidaridad. Los modelos de inundación actual y con cambio climático muestran un tirante máximo de inundación aproximado de 1.2 m, sin diferencias significativas.



Fuente: Elaboración propia.

Viento huracanado

La modelación de la amenaza de viento producido por huracanes con un periodo de retorno de 20 años mostró que la Riviera Maya y gran parte del estado de Quintana Roo presenta una intensidad máxima de vientos de 120 km/h (Figura 31). La velocidad anterior indica que al menos una vez en 20 años, se presentará un evento ciclónico que genere o exceda esa velocidad de viento. Las costas de Quintana Roo han sido afectadas por varios ciclones tropicales, siendo de las más afectadas en el país. Estas afectaciones han presentado daños importantes en el sector hotelero, comercial y en la infraestructura estatal y federal. Por ejemplo, el huracán Wilma de categoría 5 (2005), presentó una velocidad de viento de 295 km/h lo que provocó importantes daños en Cancún, la Riviera Maya y en la isla de Cozumel.

Los daños que el viento huracanado puede generar en las construcciones, está ligado a la fragilidad de los materiales de construcción en las fachadas, en cubiertas ligeras, y en general a las construcciones que se diseñan de forma genérica y que no toman en cuenta las condiciones locales. En muchas de las ocasiones, las experiencias que se han tenido en este tipo de daños no han sido relevantes, ya que se olvidan con el paso del tiempo, lo que provoca que se vuelvan a aplicar los mismos tipos constructivos vulnerables.

Desde que los ciclones tropicales tienen registro, se ha observado que las costas de Quintana Roo forman parte de las trayectorias de estos eventos, por lo que el impacto y daños asociados no es nuevo. El crecimiento de las manchas urbanas, pero principalmente el incremento de los sitios turísticos y comerciales en esta zona hace que el riesgo se mantenga e incremente en las próximas décadas, incluso aunque la intensidad y presencia de huracanes en la zona no tenga un incremento.

Figura 31. Modelo actual de viento huracanado para un periodo de retorno de 20 años.



Fuente: Elaboración propia.

Marea de tormenta

La modelación de la amenaza por marea de tormenta con un periodo de retorno de 20 años mostró que las zonas que presentan un mayor nivel de amenaza están localizadas en la primera línea de costa. La Figura 32 muestran las zonas propensas a presentar mayor riesgo para la marea de tormenta, con un tirante de entre 2 y 3 metros.

A diferencia de las costas del Pacífico, en el Atlántico se presenta una batimetría que hace que, ante un huracán intenso, como el huracán Wilma (2005), el mar penetre tierra adentro de forma importante; este riesgo se intensifica debido a que el terreno es plano.

Es importante mencionar que los tirantes de inundación corresponden a la inundación por marea de tormenta y no toman en cuenta la inundación pluvial. De igual forma, los resultados mostrados en el presente estudio no pretenden sustituir a los Atlas de Riesgo (nacionales, estatales o municipales).

Como ya se mencionó anteriormente, las amenazas de viento huracanado y marea de tormenta no incorporan cambio climático debido a limitaciones metodológicas.

Figura 32. Modelo actual de marea de tormenta para un periodo de retorno de 20 años.



Fuente: Elaboración propia.

4.5. Riesgo económico en el sector turismo por el impacto del cambio climático en los servicios ecosistémicos

Impactos en la provisión de agua

La contaminación del acuífero de Riviera Maya podría incrementar los costos de provisión de agua hasta un 282% a mediano plazo (2060).

En la actualidad, el agua potable que se consume en Riviera Maya proviene del acuífero Península de Yucatán para los municipios de Benito Juárez, Puerto Morelos, Solidaridad y Tulum, y del acuífero Isla de Cozumel que provee al municipio del mismo nombre.

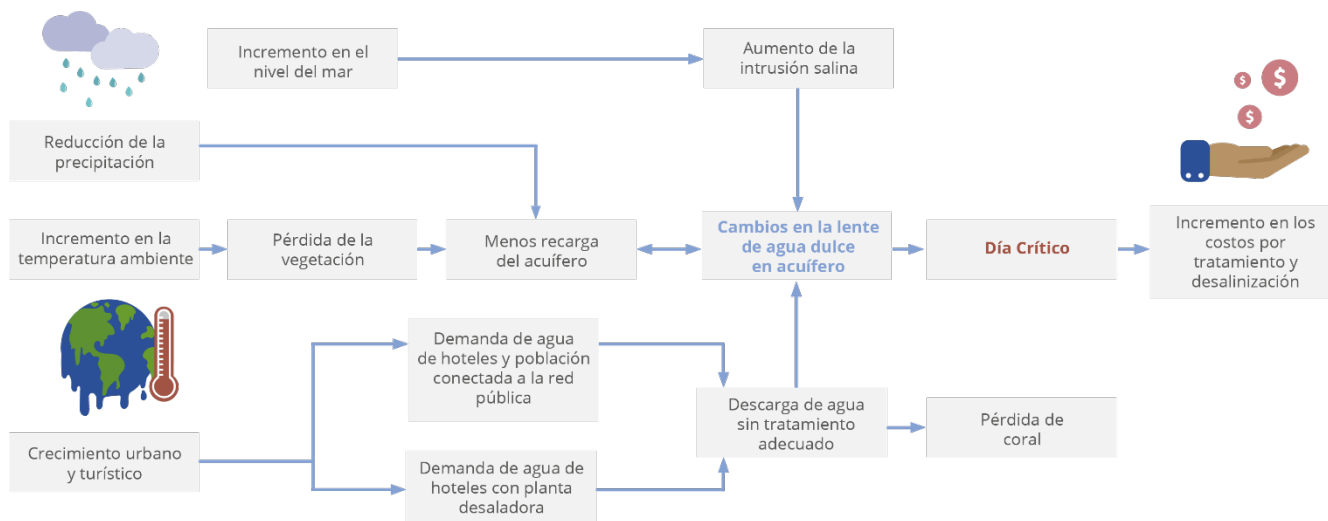
El consumo de agua anual en el destino asciende aproximadamente a 753 hm³, de los cuales el 78.9% es para uso de servicios, en los que se encuentran las actividades turísticas. El resto se divide para uso público urbano (18.7%), uso industrial (1.85%), uso agrícola (0.6%), uso pecuario (0.1%), otros usos (0.1%) y para uso acuícola y doméstico (<0.1%).

De acuerdo con el balance hídrico de CONAGUA (2018) la situación actual del acuífero no se encuentra comprometida y cubre la demanda de los diferentes sectores. Sin embargo, en las últimas décadas la lente de agua dulce del acuífero ha disminuido (López-Tamayo, 2015). Esta situación, aunada a la reducción de la precipitación y el aumento de temperatura como consecuencia del cambio climático, podría ocasionar una menor recarga del acuífero y conducir a un déficit de agua dulce.

Por otro lado, los problemas de contaminación han ocasionado un cambio en la concentración de nutrientes, que afecta la calidad del agua, y favorece la proliferación de algas y otros organismos, lo que provoca afectaciones a los corales (SECTUR, 2018).

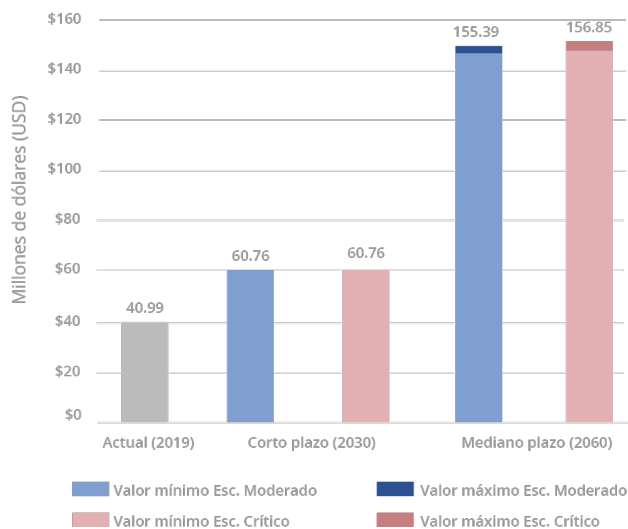
Aunado a ello, el crecimiento urbano y turístico aumentará la demanda de agua en el futuro, y es posible suponer que en los próximos años la Riviera Maya no podrá seguir extrayendo la cantidad de agua que hace actualmente del acuífero y enfrentará a mayores costos del día crítico (Figura 33). Estos factores afectan la calidad y la cantidad del agua, y por ende inciden en los costos del servicio de provisión de agua.

Figura 33. Cadena de impactos del cambio climático en el servicio de provisión de agua para la Riviera Maya.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 34. Variación del costo anual en el servicio de provisión de agua por impacto del cambio climático.



A corto plazo (2030) se espera un incremento del 48%, en los costos de provisión, ocasionado principalmente por el aumento del volumen tratado de las descargas residuales y la disminución en la recarga del acuífero; mientras que en el mediano plazo (2060), el costo se podría incrementar hasta en un 282% alcanzando los \$156.8 MDD, en caso de que la provisión se complemente con plantas desalinizadoras (Figura 34).

Impactos en la protección costera

El impacto del cambio climático en el servicio de protección costera podría reducir el beneficio económico anual hasta en 238.12 MDD a corto plazo (2030).

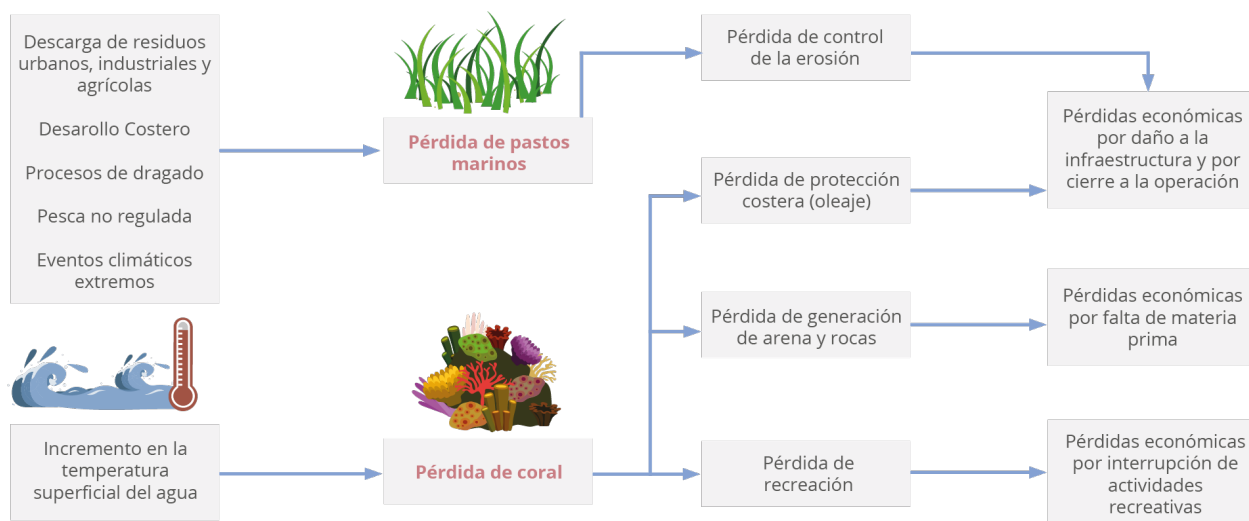
A lo largo de su historia la Riviera Maya ha sido impactada por un gran número de huracanes y tormentas tropicales, que han ocasionado pérdidas materiales y humanas. El evento que ha ocasionado mayores afectaciones se registró en 2005 cuando el huracán Wilma impactó las costas de Quintana Roo, la Asociación Mexicana de Instituciones de Seguro (AMIS) documentó pérdidas de hasta 1,752 MDD.

El modelo que se elaboró permitió identificar que los cambios en la cobertura arrecifal, ocasionados por el incremento de la temperatura superficial del mar y el blanqueamiento de los corales, podrían reducir el beneficio económico para el destino (Figura 35). Es importante recalcar que este ejercicio integra el estado de salud de los arrecifes, que se menciona en el Reporte del Arrecife Mesoamericano de Melanie *et al* (2020), con un 60% de este activo en buen estado; también asume que el 70% de la cobertura arrecifal total tiene potencial para la protección costera ante la llegada de fenómenos climáticos extremos.

Costo Actual (2019)	
Referencia	
\$40.99 MDD	
Costo Corto plazo (2030)	
Escenario moderado	Escenario crítico
\$60.76 MDD	\$60.76 MDD
Costo Mediano plazo (2060)	
Escenario moderado	Escenario crítico
\$153.07 - \$155.39 MDD	\$153.45 - \$156.85 MDD

Fuente: Elaboración propia.

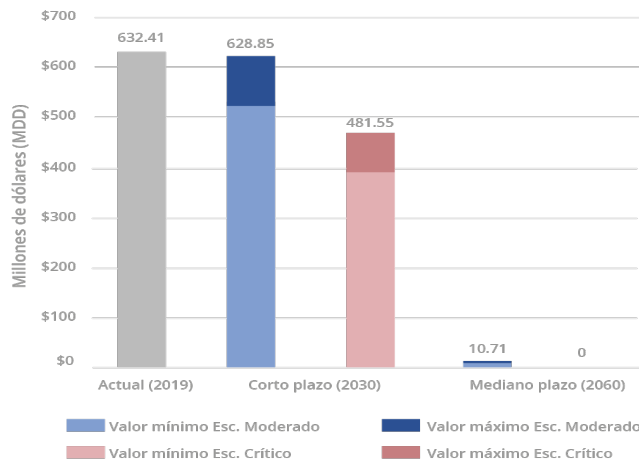
Figura 35. Cadena de impactos del cambio climático en los servicios de protección costera, generación de materiales, recreación y control de la erosión.



Fuente: Elaboración propia

La valoración del servicio de protección costera mostró que a corto plazo (2030) el beneficio económico podría disminuir hasta un 38%, con respecto al valor actual (\$632.41 MDD), ubicándose en un mínimo de \$393.99 MDD; mientras que a mediano plazo (2060) la pérdida podría ser del 100% del beneficio económico debido a la pérdida total de los arrecifes. Las cifras incluyen los daños a la infraestructura y el cierre de la operación de los negocios por huracanes (Figura 36).

Figura 36. Pérdida económica anual ocasionada por el impacto del cambio climático en el servicio de protección costera.



Beneficio Actual (2019)	
Referencia	
\$632.41 MDD	
Pérdida Corto plazo (2030)	
Escenario moderado	Escenario crítico
\$514.51 - \$628.85 MDD	\$393.99 - \$481.55 MDD
Pérdida Mediano plazo (2060)	
Escenario moderado	Escenario crítico
\$8.76 - \$10.71 MDD	\$0 MDD

Fuente: Elaboración propia

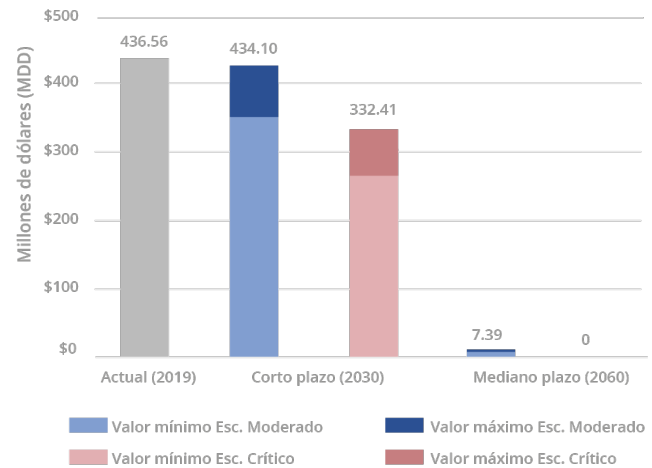
Impactos en la generación de materiales

El impacto del cambio climático en el servicio de generación de materiales podría reducir el beneficio económico anual hasta en 164.59 MDD a corto plazo (2030).

El servicio ecosistémico de generación de materiales es vital para la generación de actividades turísticas, en especial las realizadas en la playa. En la Figura 37, el valor de referencia representa el beneficio actual por la existencia de playas en buen estado, y los valores a futuro reflejan las pérdidas económicas que el sector tendría por la pérdida de éstas. Por un lado, se tendría que asumir los costos para reponer arena y rocas erosionadas, y por otro la pérdida de ingresos por la cancelación de actividades de playa.

En el caso del servicio de generación de materiales (arena y rocas), el beneficio económico a corto plazo (2030) podría disminuir hasta un 38%, con respecto al valor actual (\$436.56 MDD), ubicándose en \$271.97 MDD; mientras que a mediano plazo (2060) la pérdida podría ser del 100% del beneficio económico debido a la pérdida total de los arrecifes.

Figura 37. Pérdida económica anual ocasionada por el impacto del cambio climático en el servicio de generación de materiales.



Beneficio Actual (2019)	
Referencia	
\$436.56 MDD	
Pérdida Corto plazo (2030)	
Escenario moderado	Escenario crítico
\$355.17 - \$434.10 MDD	\$271.97 - \$332.41 MDD
Pérdida Mediano plazo (2060)	
Escenario moderado	Escenario crítico
\$6.05 - \$7.39 MDD	\$0 MDD

Fuente: Elaboración propia

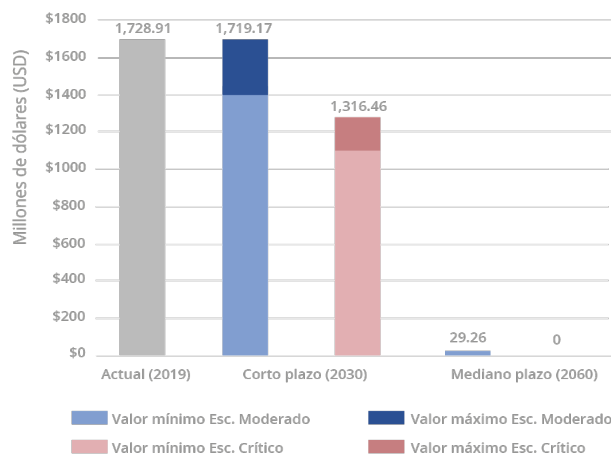
Impactos en la recreación

El impacto del cambio climático en el servicio de recreación podría reducir el beneficio económico anual hasta en 651.8 MDD a corto plazo (2030).

Uno de los principales servicios ecosistémicos que prestan los arrecifes es la generación de turismo en torno a su presencia. Por lo general, en una zona arrecifal se puede desarrollar una serie de actividades como buceo, snorkel, avistamiento de fauna marina, entre otros. En ese sentido, se estima el impacto económico que podría tener la reducción de hectáreas de arrecifes sobre estas actividades turísticas.

Para el servicio de recreación se identificó que el beneficio económico a corto plazo (2030) podría disminuir hasta un 38%, con respecto al valor actual (\$1,728 MDD), ubicándose en \$1,077 MDD; mientras que a mediano plazo (2060) la pérdida podría ser del 100% del beneficio económico debido a la pérdida total de los arrecifes.

Figura 38. Pérdida económica anual ocasionada por el impacto del cambio climático en el servicio de recreación.



Beneficio Actual (2019)	
Referencia	
\$1,728.91 MDD	
Pérdida Corto plazo (2030)	
Escenario moderado	Escenario crítico
\$1,406.59 - \$1,719.17 MDD	\$1,077.11 - \$1,316.46 MDD
Pérdida Mediano plazo (2060)	
Escenario moderado	Escenario crítico
\$23.94 - \$29.26 MDD	\$0.00 - \$0.00 MDD

Fuente: Elaboración propia

Impactos en el control de la erosión

A corto plazo (2030) el servicio de control de la erosión podría reducir su beneficio económico en un 45% (\$84.81 MDD).

La pérdida del servicio de control de la erosión se obtuvo a partir de la reducción global que se ha observado en las praderas de pastos marinos, relacionada con factores como la descarga de residuos urbanos, industriales y agrícolas al mar, el desarrollo costero, proceso de dragado, pesca no regulada y el cambio climático (UNEP, 2020). Como se mencionó previamente, para este estudio no se consideró la reducción de pastos marinos que ocasiona la pérdida de los arrecifes, ni la reducción producida por los recales masivos de sargazo que ocurren en el Caribe Mexicano desde el año 2013.

Es importante mencionar que el arribo de sargazo, entre 2014 y 2015, ocasionó que comunidades de pastos marinos

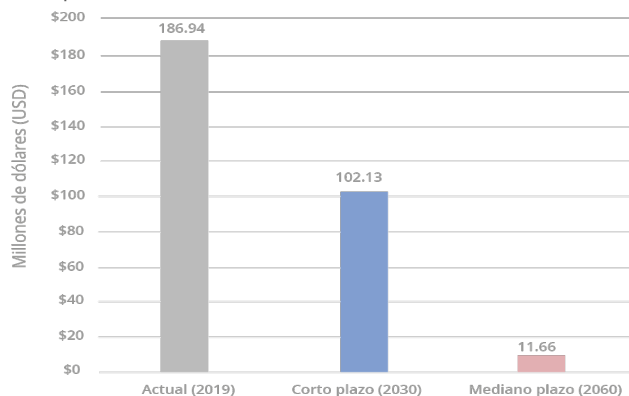
(*Thalassia testudinum*) fueran reemplazadas por algas calcáreas, lo cual tuvo como resultado una pérdida de la biomasa, debajo de la superficie cubierta por las algas, estimada entre el 61.6-99.5% (Van tussenbroek *et al.*, 2017). Esta situación podría incrementar considerablemente la pérdida de los pastos marinos, y con ello reducir en mayor medida el beneficio económico de los servicios ecosistémicos.

Aun es limitada la información sobre la magnitud y consecuencias en este activo natural ante cambio climático (Monioudi *et al.*, 2018), sin embargo, las praderas de pastos marinos son un claro ejemplo de sistemas bi-estables, es decir, una vez pasando un punto de inflexión no hay retorno al estado original. Por otro lado, su afectación puede repercutir en impactos negativos en otros activos naturales como son los arrecifes, o la pérdida de playa.

Para realizar el ejercicio se consideró una extensión total de 9,166.4 ha, a las cuales se asignó un valor económico asociado al servicio de control de la erosión. Como se mencionó previamente para estimar las pérdidas de este servicio se definió una tasa de pérdida anual para las praderas de pastos marinos, que considera factores adicionales al cambio climático, los cuales han ocasionado la pérdida de este activo natural a escala global. Por esta razón no fue posible obtener la modelación de la pérdida para los escenarios moderado y crítico.

A partir de la extensión de análisis y la tasa de pérdida anual se obtuvo que a corto plazo (2030) el beneficio económico podría disminuir en un 39.5% con respecto al valor actual (\$186.94 MDD), ubicándose en \$102.13 MDD; mientras que a mediano plazo (2060) la pérdida podría ser del 93.1% del beneficio (Figura 6).

Figura 39. Pérdida económica anual ocasionada por la disminución de los pastos marinos en el servicio de control de la erosión.



Beneficio Actual (2019)	
Referencia	
\$186.94 MDD	
Pérdida Corto plazo (2030)	
\$102.13 MDD	
Pérdida Mediano plazo (2060)	
\$11.66 MDD	

Fuente: Elaboración propia

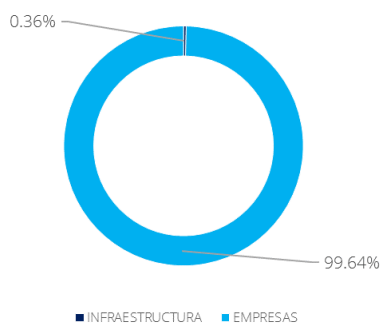
4.6. Riesgo económico en el sector turismo por el impacto del cambio climático en los activos empresariales y la infraestructura estratégica

Inundación

El 99.64% de la AAL por inundación corresponde a los activos empresariales y equivale a \$122.32 MDD.

La pérdida promedio anual (AAL) por inundación en el modelo actual (2019) fue de \$122.76 MDD. Este monto equivale al 0.85% del valor físico de los activos, y representa la prima acumulada para todos los activos empresariales que se analizaron. Como se puede observar en la Figura 40, la mayor AAL se concentra en los activos empresariales.

Figura 40. Distribución de pérdida promedio anual por inundación para los activos empresariales y la infraestructura estratégica en el modelo actual (2019).



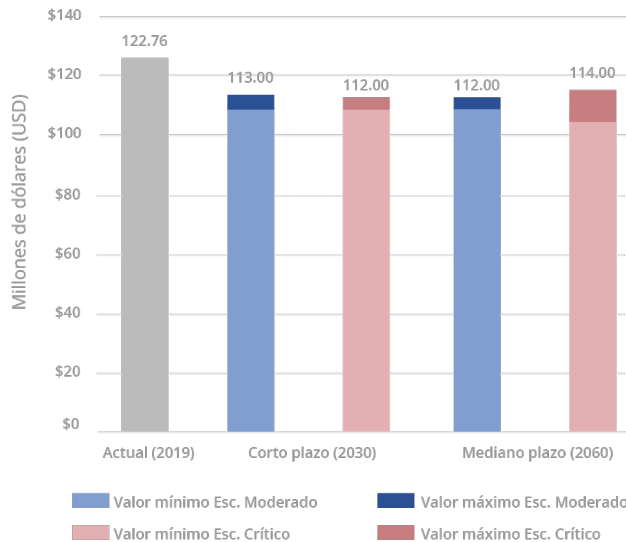
Fuente: Elaboración propia.

Al considerar las variaciones de la precipitación por el cambio climático, el valor de la AAL presentó una reducción entre el 7.8% y 13.25% para el corto plazo (2030), y una disminución entre el 6.41% y 14.37% para el mediano plazo (2060) (Figura 41). Es decir, en general habría una disminución ligera del riesgo de inundación en el futuro.

Estos resultados muestran que las variaciones de la precipitación podrían generar un nivel de inundación muy similar al modelo actual o incluso menor, pues habrá menor precipitación en el destino. Sin embargo, es importante considerar que se pueden presentar eventos de lluvia críticos, que pudieran causar inundaciones severas e inesperadas.

Dadas las limitaciones de los modelos probabilistas utilizados en los cálculos, sólo se está mostrando la pérdida promedio anual para la amenaza de inundación pluvial. Sin embargo, podemos suponer que la pérdida asociada a eventos extremos deberá ser superior a la pérdida promedio.

Figura 41. Pérdida promedio anual ocasionada por inundación en los activos empresariales e infraestructura estratégica.



Pérdida Actual (2019)	
Referencia	
\$122.76 MDD	
Pérdida Corto plazo (2030)	
Escenario moderado	Escenario crítico
\$106 MDD– \$113 MDD	\$106 MDD– \$112 MDD
Pérdida Mediano plazo (2060)	
Escenario moderado	Escenario crítico
\$105 MDD– \$112 MDD	\$105 – \$114 MDD

Fuente: Elaboración propia

Viento huracanado

La pérdida promedio anual por viento huracanado para los activos empresariales fue de \$30.83 MDD. Este monto equivale al 0.21% del valor físico de los activos, y representa la prima acumulada para todos los activos empresariales que se analizaron. De esta pérdida el 97.16% corresponde a los activos empresariales y el 2.84% a la infraestructura estratégica.

En un evento extremo de viento por huracán, el análisis de 302 escenarios, dan como resultado una pérdida máxima de \$231.52 MDD. El 3.01% corresponde a la infraestructura estratégica y el 96.99% a los activos empresariales.

Por su ubicación y características geográficas, las costas de Quintana Roo han sido afectadas por ciclones tropicales desde que se registran estos eventos. Sin embargo, si consideramos el crecimiento de las manchas urbanas en los últimos 50 años, principalmente debido al crecimiento del sector turismo y comercial, esta zona del país es de las que presenta mayor riesgo ante estos eventos.

Estas costas forman parte del paso de los ciclones tropicales que se generan en la cuenca del Océano Atlántico, por lo que, en muchas ocasiones, estos fenómenos hidrometeorológicos llegan con gran fuerza (Gilberto de categoría H5, 1988). Otros ciclones, sin embargo, se han formado dentro del Mar Caribe teniendo gran impacto en la zona de estudio, como el huracán Wilma de categoría H5 (2005). En este último caso, las velocidades máximas sostenidas fueron de 295 km/h lo que provocó importantes daños a la infraestructura hotelera y comercial, tanto en construcciones frente a la costa como en inmuebles a cientos de metros de ésta.

Marea de tormenta

La pérdida promedio anual por marea de tormenta para los activos empresariales fue de \$116 MDD. Este monto equivale al 0.80% del valor físico de los activos, y representa la prima acumulada para todos los activos empresariales que se analizaron. De esta pérdida el 99.77% corresponde a los activos empresariales y el 0.23% a la infraestructura estratégica.

En un evento extremo de marea de tormenta, el análisis de 159 escenarios, dan como resultado una pérdida máxima de \$1,126 MDD. El 0.25% corresponde a la infraestructura estratégica y el 99.75% a los activos empresariales.

Debido a que un huracán genera daños por diversos eventos hidrometeorológicos, por ejemplo: el viento, la manera de tormenta y oleaje, la lluvia directa e inundaciones, en muchas de las ocasiones, no es posible separar a qué tipo de eventos se deben las pérdidas económicas que se presentan. Esto se observa principalmente en un hotel cercano o frente a la costa donde todas estas amenazas impactan de manera directa.

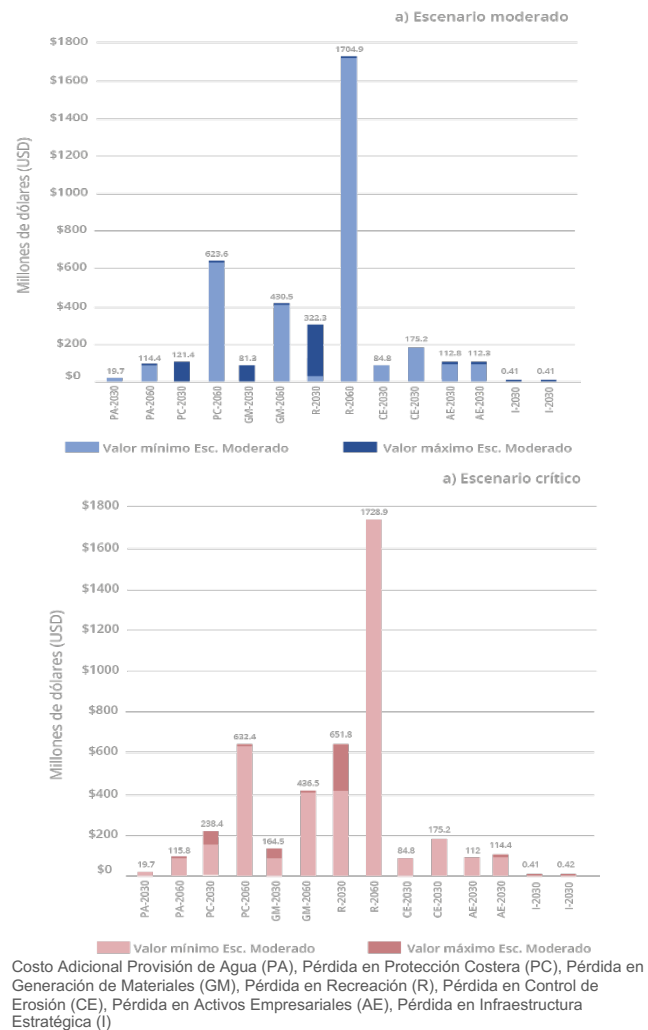
De alguna manera, dentro de los modelos probabilistas, es posible conocer esta proporción de pérdidas si partimos de eventos independientes, aunque como mencionamos en el párrafo anterior, en la realidad, un ciclón tropical es un conjunto de eventos. En este contexto, y siguiendo los resultados de los modelos probabilistas, podemos ver que un evento como el Huracán Wilma, podría generar pérdidas de más de mil millones de dólares en la zona de estudio, únicamente por el impacto de la marea de tormenta.

Riesgo económico global para Riviera Maya

El riesgo económico anual en el escenario crítico podría rondar entre \$879 y 1,272 MDD a corto plazo (2030); y entre los \$3,191 y 3,204 MDD a mediano plazo (2060).

Las variaciones en la temperatura y la precipitación que se esperan en los próximos años podrían tener importantes repercusiones en la continuidad de servicios ecosistémicos, como la provisión de agua. Pero también, como se mostró previamente, podrían reducir el nivel de amenaza de las inundaciones. En la Figura 42 se muestran los costos adicionales y pérdidas que podrían esperarse por los impactos del cambio climático en los activos naturales, los activos empresariales y la infraestructura estratégica del destino. Los valores máximos y mínimos se presentan para los escenarios moderado y crítico a corto (2030) y a mediano plazo (2060).

Figura 42. Comparativo del riesgo económico anual a corto (2030) y mediano plazo (2060) para el sector turismo.



5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

©ADAPTUR/Mariana Rodríguez Aguilera

Los impactos del cambio climático en la Riviera Maya podrían ocasionar pérdidas anuales entre \$879 y 1,272 MDD a corto plazo (2030); y entre los \$3,191 y 3,204 MDD a mediano plazo (2060). Esto al considerar un escenario crítico en el que no se implementan medidas de mitigación y adaptación.

Uno de los aspectos que se debe remarcar es que las pérdidas relacionadas con los servicios ecosistémicos, no sólo se deben al cambio climático, sino también a la acelerada pérdida de la biodiversidad, las malas prácticas y la contaminación. El crecimiento urbano es uno de los factores que están afectando en mayor medida a la zona de la Riviera Maya, tan solo en el caso de Playa de Carmen el crecimiento poblacional que se ha experimentado en el periodo de 1995 al 2010 se encuentra en el orden del 751% (INEGI, 2010). Esto conlleva una mayor demanda de recursos, y contribuye a un incremento en la descarga de residuos urbanos, industriales y agrícolas al mar. Bajo este panorama, los riesgos podrían aumentar y traer efectos en cascadas que afecten no sólo la economía, sino también la convivencia social y la salud humana.

La pérdida del servicio de recreación representa el riesgo económico más alto para la operación de los negocios turísticos, y es el tema en donde todos coinciden que es prioritario atender para mantener la competitividad en el mercado. Se estima una pérdida del 100% del beneficio económico a mediano plazo (2060), al considerar el problema de blanqueamiento y la disminución en la salud actual de los arrecifes (exacerbada por la contaminación del agua y los recales masivos de sargazo), así como la aparición de enfermedades emergentes como el síndrome blanco¹. Una situación similar se presenta con el resto de los servicios asociados a los arrecifes (protección costera y generación de materiales) en las que habría una pérdida total de los beneficios a mediano plazo (2060). Por lo que, acciones enfocadas a la conservación y restauración de este ecosistema icónico de la Riviera Maya, deberían ser prioritarias y buscar un enfoque integral de manejo costero, acorde a la conectividad con los ecosistemas vecinos, así como impulsar la generación de mecanismos de acceso a fondos para protegerlos y recuperar de manera oportuna de sus servicios ecosistémicos después de una contingencia ambiental, como eventos hidrometeorológicos. Un ejemplo de ello es el seguro paramétrico que tiene el Gobierno del Estado de Quintana Roo (Secaira et al., 2019).

En el caso de las praderas de pastos marinos, es necesario contar con más información para conocer el efecto que tendría en este activo natural el cambio climático, expresado como variación de la temperatura superficial del agua, el aumento del nivel del mar, la acidificación de los océanos, la

variación en los patrones de precipitación y el incremento en la frecuencia y/o intensidad de los fenómenos hidrometeorológicos, toda vez que la repuesta es diferente para cada especie y se deben de considerar los efectos acumulativos y sinérgicos de la afectación de los ecosistemas interconectados. El desafío para cuantificar el impacto del cambio climático en este ecosistema está en la reducción de los modelos climáticos globales a una escala adecuada para la biología de los pastos marinos. Con la información que se cuenta se estima una pérdida del beneficio económico del 93.1% a mediano plazo (2060). Es importante recalcar que a nivel internacional, los pastos marinos son uno de los ecosistemas marino-costeros más valiosos ya que proveen una gama amplia de beneficios y servicios ambientales, económicos y sociales, y resultan claves para la adaptación y la mitigación del cambio climático ya que tienen la capacidad de amortiguar la acidificación de los océanos contribuyendo así a la resiliencia de los ecosistemas y especies más vulnerables, como los arrecifes de coral, actúan como la primera línea de defensa a lo largo de las costas al reducir la energía de las olas, protegiendo a las personas del creciente riesgo de inundaciones y tormentas, son uno de los principales almacenes de carbono (UNEP, 2020).

Las variaciones de la precipitación podrían afectar la recarga del acuífero que provee agua a la población y turistas. De continuar la disminución de la lente de agua dulce, a mediano plazo (2060) el costo de provisión de agua podría incrementarse hasta en un 282% al requerir obtener agua a partir de fuentes alternativas como las plantas desaladoras.

Por otro lado, las variaciones de la precipitación por el cambio climático podrían reducir el riesgo de inundaciones. Esto beneficiará a la infraestructura y activos empresariales, pues tendrán menos riesgos de sufrir daños directos. Sin embargo, es importante considerar que se pueden presentar eventos de lluvia extrema, que pudieran causar inundaciones severas e inesperadas.

Para reducir el riesgo económico en la Riviera Maya, se requieren acciones conjuntas, no sólo al interior del sector turismo, sino en colaboración con el gobierno, sociedad y expertos académicos.

Algunas de las siguientes recomendaciones son:

Basadas en ecosistemas

- Esquemas de protección y restauración en los ecosistemas costeros como son los arrecifes, pastos marinos, dunas

¹ Enfermedad emergente que ataca a más de 20 especies de corales formadores de arrecife que puede ser causada por una variedad de patógenos en sinergia con las condiciones ambientales y la mala calidad del agua. Se observó por primera vez en el Caribe Mexicano en el verano de 2018 y en seis meses ocasionó la pérdida de aproximadamente 30% de las especies que afecta. (CONANP, 2019).

- costeras, humedales y las selvas para garantizar la continuidad de los servicios ecosistémicos y disminuir la vulnerabilidad de las poblaciones costeras a los impactos del cambio climático.
- Impulsar esquemas de manejo integrado de la zona costera acorde a la íntima interdependencia y conexión de los ecosistemas marino-costeros.
- Esquemas de manejo y uso de buenas prácticas en ecosistemas icónicos y frágiles como son los ríos subterráneos y cenotes, sumado a la adecuación del marco legal acorde a las características hidrogeológicas de la región.
- Diseñar e implementar una política para el manejo integral del agua para el acuífero de Riviera Maya, incluyendo cenotes, y por ende sus zonas de captación e infiltración de agua.

Soluciones habilitadoras

- Diversificación del turismo de naturaleza a través del uso sustentable de los ecosistemas.
- Impulsar la colaboración público-privada para el manejo de la zona costera.
- Impulso a instrumentos como seguros y garantías para proteger los activos naturales, como es el caso del Seguro Paramétrico del Arrecife del Gobierno del Estado.
- Implementación de política efectiva para el manejo y tratamiento de agua residuales provenientes tanto del sector turístico como de los hogares.
- Incentivos fiscales para la implementación de medidas de ahorro del agua en los hoteles y otros sectores.
- Involucrar a todos los sectores en la conservación de los servicios ecosistémicos en cuestión. Por ejemplo, no dejar de lado el sector industrial o agricultura.
- Involucrar a los municipios para atender y llevar a cabo acciones de mejoramiento en la infraestructura que sea importante para el sector hotelero con mayor riesgo.
- Considerar las áreas con mayor peligro de inundación en la planeación de futuros proyectos.
- Impulsar el trabajo colaborativo y las alianzas para distintas organizaciones puedan establecer objetivos y acciones comunes, innovar y hacer sinergia.
- Identificar las áreas de oportunidad para el fortalecimiento de capacidades y la generación de conocimiento técnico para que aporten a la toma de decisiones.

6. GLOSARIO

©ADAPTUR/Mariana Rodríguez Aguilera

Activos naturales: Todos aquellos recursos naturales (ecosistemas, especies emblemáticas) que permiten el funcionamiento de una empresa y forman parte de su oferta turística.

Activos empresariales prioritarios: Comprende las obras básicas, generalmente de acción estatal, en materia de accesos, comunicaciones, abastecimientos de agua, eliminación de desechos, puertos, aeropuertos, etc.

Adaptación: Medidas y ajustes en sistemas humanos o naturales, como respuesta a estímulos climáticos, proyectados o reales, o sus efectos, que pueden moderar el daño, o aprovechar sus aspectos beneficiosos (LGCC, 2018).

Adaptación basada en Ecosistemas (AbE): La utilización de la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas, como parte de una estrategia más amplia de adaptación, para ayudar a las personas a adaptarse a los efectos adversos del cambio climático (IUCN, 2012).

Amenaza climática: La amenaza climática se refiere a un evento climático extremo que puede alterar el bienestar social, económico y ambiental de un sector/población.

Cambio climático: Variación del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera global y se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos comparables (LGCC, 2018). El cambio climático considera la temperatura promedio superficial del aire y superficial del mar, por encima de un periodo de 30 años (Allen et al., 2018).

Capacidad adaptativa: Conjunto de capacidades, recursos e instituciones de un país o región que permitirían implementar medidas de adaptación eficaces (SEMARNAT, 2013).

Destino Turístico: El lugar geográficamente ubicado que ofrece diversos Atractivos Turísticos.

Impactos de cambio climático: Se refiere a los efectos del cambio climático causados en sistemas humanos y naturales (IPCC, 2018).

Riesgo: Producto de la interacción de tres componentes: el peligro o amenaza, la vulnerabilidad y la exposición (IPCC, 2012). Potencial, cuando el resultado es incierto, de consecuencias adversas para la vida; los medios de subsistencia; la salud; los ecosistemas y las especies; los bienes económicos, sociales y culturales; los servicios (incluidos los servicios ambientales) y la infraestructura (IPCC, 2014).

Servicios ecosistémicos: Los beneficios tangibles e intangibles generados por los ecosistemas, necesarios para la supervivencia del sistema natural y biológico en su conjunto y para que proporcionen beneficios al ser humano (SEMARNAT, 2013).

Soluciones AbE: Acciones enfocadas a manejar, proteger y conservar los activos naturales como una estrategia para minimizar el riesgo por el cambio climático y asegurar la continuidad de los negocios.

Vulnerabilidad: Nivel a que un sistema es susceptible, o no es capaz de soportar los efectos adversos del Cambio Climático, incluida la variabilidad climática y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad está en función del carácter, magnitud y velocidad de la variación climática a la que se encuentra expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad adaptativa (LGCC, 2018).

Trayectorias de concentración representativas (RCP) (Representative Concentration Pathways): Escenarios que abarcan series temporales de emisiones y concentraciones de la gama completa de gases de efecto invernadero (GEI) y aerosoles y gases químicamente activos, así como el uso del suelo y la cubierta terrestre (IPCC, 2014).

7. REFERENCIAS

©ADAPTUR/Mariana Rodríguez Aguilera

ADAPTUR. (2018). ¿A qué somos vulnerables? (Resumen de estudios de vulnerabilidad en 10 destinos turísticos estratégicos, SECTUR, 2015). 2019, de ADAPTUR Sitio web: https://www.adaptur.mx/pdf/IS_adaptur_vulnerabilidadGUA_FL.pdf

ANIDE. (2014). SECCIÓN IV. Vulnerabilidad del Destino Turístico Riviera Maya. 2019, de SECTUR Sitio web: <http://www.sectur.gob.mx/wp-content/uploads/2018/01/SECCION-IV.-RIVIERA-MAYA.pdf>

ANIDE. (2014). Estudio de la vulnerabilidad y programa de adaptación ante la variabilidad climática y el cambio climático en diez destinos turísticos estratégicos, así como propuesta de un sistema de alerta temprana a eventos hidrometeorológicos. Sección VI. Vulnerabilidad del destino turístico Riviera Maya. SECTUR-ANIDE-ESTUR-CONACYT. Sitio web: <http://www.sectur.gob.mx/wp-content/uploads/2014/09/SECCION-IV.-RIVIERA-MAYA.pdf>

Appendini, C., Meza-Padilla, R., Abud-Russell, S., Prout, S., Barrios, R., & Secaira-Fajardo, F. (2019). Effect of climate change over landfalling hurricanes at the Yucatan Peninsula. 157, 469-482. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10584-019-02569-5>

Birchough, S. R. N. (2017). Impacts of Climate Change on Biodiversity in the Coastal and Marine Environments of Caribbean Small Island Developing States (SIDS). Caribbean marine climate change report card: science review 2017: pp 40-51.

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. (1998). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Ecological Economics*, 25, 3-15. 2019, Sitio web: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092180099800202?via%3Dihub>

EEA. (2019). Clasificación Internacional Común de Servicios de los Ecosistemas (CICES) . 2019, de EEA Sitio web: <https://cices.eu/>

Glynn, P. W., & D'Croz, L. (1990). Experimental evidence for high temperature stress as the cause of El Niño-coincident coral mortality. *Coral Reefs*, 8(4), 181-191. Sitio web: <https://doi.org/10.1007/BF00265009>

Hooidek, R. van, Maynard, J. A., Manzello, D., & Planes, S. (2014). Opposite latitudinal gradients in projected ocean acidification and bleaching impacts on coral reefs. *Global Change Biology*, 20(1), 103-112. <https://doi.org/10.1111/gcb.12394>

INECC. (2018). Sexta Comunicación Nacional sobre el Cambio Climático. 2019, de INECC Sitio web: <http://cambioclimatico.gob.mx/sexta-comunicacion-nacional-acerca-de-cambio-climatico/>

INEGI. (2014). Censos Económicos 2014. 2019, de INEGI Sitio web: <https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2014/>

INEGI. (2019). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE). 2019, de INEGI Sitio web: <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/>

IPCC. (2012). Glosario. 2019, de IPCC Sitio web: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5_WGII_glossary_ES.pdf

IPCC. (2013). CAMBIO CLIMÁTICO 2013 Bases físicas Resumen para responsables de políticas, Resumen técnico y Preguntas frecuentes. 2019, de IPCC Sitio web: https://archive.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar5/wg1/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_SPANISH.pdf

IPCC. (2014). Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas. 2019, de IPCC Sitio web: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5_wgII_spm_es-1.pdf

IPCC. (2014). CAMBIO CLIMÁTICO 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer. 2019, de IPCC Sitio web: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf

IPCC. (2018). Calentamiento global de 1,5 °C. 2019, de IPCC Sitio web: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_es.pdf

López-Tamayo, A. (2015). Exploración geofísica para la prospección hidrogeológica del sistema Pool Tunich, Solidaridad, Quintana Roo, México. Centro de Investigación Científica de Yucatán, AC Posgrado en Ciencias del Agua. Sitio web: https://ciicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/364/1/PCA_M_Tesis_2015_Lopez_Alejandro.pdf

NOAA. (2019). Coral Reef Watch Satellite Monitoring and Modeled Outlooks, de Coral Reef Watch Sitio web: <https://coralreefwatch.noaa.gov/index.php>

Organización Mundial de Turismo. (2019). 2019. Ranking Mundial del Turismo Internacional, de Datatur Sitio web: <https://www.datatur.sectur.gob.mx/SitePages/RankingOMT.aspx>

Penna, J. A., & Cristeche, E. (2008). La valoración de servicios ambientales puesta al Cambio Climático. 2019, de UICN Sitio web: <https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/2012-004.pdf>

Secaira, F, Baughman, K. y Tassoulas, B. (2019). A Guide on How to Insure a Natural Asset. The Nature Conservancy. <http://reefresilience.org/wp-content/uploads/Guide-on-How-to-Insure-a-Natural-Asset.pdf>

SECTUR. (2019). Resultados de la Actividad Turística 2018. 2019, de DATATUR. Sitio web: [https://www.datatur.sectur.gob.mx/RAT/RAT-2018-12\(ES\).pdf](https://www.datatur.sectur.gob.mx/RAT/RAT-2018-12(ES).pdf)

SEDEMA. (2017). Impactos y costos económicos del Cambio Climático. 2019, de CENAPRED Sitio web: http://www.data.sedema.cdmx.gob.mx/cambioclimaticocdmx/images/biblioteca_cc/Costos_cambio_climatico_vf.pdf

SEMARNAT. (2018). Sexta Comunicación Nacional y Segundo Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. 2019, de Biblioteca Digital de Cambio Climático Sitio web: <http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/handle/publicaciones/117>

United Nations Environment Programme (2020). Out of the blue: The value of seagrasses to the environment and to people. UNEP, Nairobi.

Van Tussenbroek B. I., Van Dijk, J-K. (2007). Spatial and temporal variability in biomass and production of psammophytic Halimeda incrassata, in a Caribbean reef lagoon. *J. Phycol* 43(1): 69-77

Van Tussenbroek B. I., Hernández, H., Rodríguez-Martínez, R., et al (2017). Severe impacts of Brown tides caused by Sargassum spp. On near-shore Caribbean seagrass communities. *Marine Pollution Bulletin* 122:272-281.