



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS POLÍTICAS Y SOCIALES

EL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL
SISTEMA ARRECIFAL MESOAMERICANO:
EL CASO DE MÉXICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADA EN RELACIONES INTERNACIONALES

P R E S E N T A

OLIVIA GUTIÉRREZ FUENTES

**DIRECTOR DE TESIS:
JOSÉ CLEMENTE RUEDA ABAD**

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD.MX., 2022





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
Capítulo 1. Teoría del capitalismo global y su interrelación con el sistema normativo global respecto al cambio climático y los sistemas arrecifales	7
1.1 La Teoría del Capitalismo Global y su relación con el Cambio Climático..	7
1.1.1 Definición de globalización	7
1.1.2 Globalización y capitalismo	8
1.1.3 Capitalismo en el mundo	8
1.1.4 De lo mundial a lo global	10
1.1.5 Capitalismo, clases sociales y el tercer mundo	12
1.2 Crecimiento vs desarrollo	13
1.3 Definición de Cambio Climático, riesgos y amenazas en el contexto de la globalización.....	17
1.4 Tratados y normas para la protección de los arrecifes	23
1.4.1 Normas Internacionales	23
1.4.2 Normas Regionales	26
1.4.3 Normas Mexicanas	27
Capítulo 2. Los arrecifes y las afectaciones causadas por el cambio climático	29
2.1 Importancia ecosistémica y climática de los arrecifes de coral	29
2.1.1 Qué son los arrecifes de coral y dónde se ubican	29
2.1.2 Importancia de los arrecifes de coral	31
2.1.3 Función climática/ climatológica	36
2.2 Principales arrecifes de coral y sus beneficios.....	36
2.2.1 Principales arrecifes de coral en el mundo	36
2.2.2 Pérdida de cobertura arrecifal en el mundo	39
2.3 Valor económico y social de los arrecifes	41
2.4 Efectos del Cambio Climático en los arrecifes de coral	44
2.4.1 Blanqueamiento de coral	45
2.4.2 Enfermedades de coral	48
2.4.3 Intensidad y frecuencia de huracanes	49
2.4.4 Incremento del nivel del mar	51

Capítulo 3. El Sistema Arrecifal Mesoamericano en México y sus afectaciones por el cambio climático antropogénico	56
3.1 Características del SAM en México	56
3.1.1 Tipos de arrecife/ecosistemas en el Sistema Arrecifal Mesoamericano	56
3.1.2 Extensión del arrecife	59
3.2 Principales efectos causados por el Cambio Climático en el Sistema Arrecifal Mesoamericano de 1983-2016 en México	59
3.2.1 Intensidad y frecuencia de huracanes en el SAM	59
3.2.2 Incremento del nivel del mar en el SAM	66
3.2.3 Enfermedades de coral en el SAM	69
3.2.4 Blanqueamiento en el SAM	72
3.3 Aportación económica del Sistema Arrecifal Mesoamericano mexicano	73
3.3.1 Turismo	74
3.3.2 Pesca	76
CONCLUSIÓN	78
BIBLIOGRAFÍA	88

Estoy en proceso...

Hay cosas que aprender y cosas que reprogramar.

Hay cosas que soy y no quiero ser.

Hay cosas que aún no soy y quiero serlo.

Hay cosas que soy y aún no sé, pero estoy buscando saber.

Estoy en construcción pero he estado en demolición

Ron Israel

AGRADECIMIENTOS

A mi mami, por todos los esfuerzos que has realizado para que yo sea una persona que puede abrirse las puertas sola. Te agradezco tus noches de desvelo y angustia cuando los tiempos fueron difíciles, no me imagino lo complicado que debe ser criar sin tener una pareja para apoyarse. Lee con atención, no eres perfecta para todo, pero eres la mejor versión de madre que alguna persona pudiera desear, no me imagino este camino sin tu amor y tus consejos. *Por favor nunca me faltes...*

Abuelitos, poco pudimos convivir, pero gracias a ustedes pude acceder a una educación y tengo el privilegio de tener un techo al cual llamar hogar. Abuelita, tú serás siempre mi hada sin “h”, y mi abuelito Martín el recuerdo del camino que hemos recorrido como familia.

Wazu, te agradezco todo lo enseñado y vivido. Por favor cuando estés leyendo recuerda que lo positivo siempre es lo que debe pesar más, que tu alegría está dentro de ti, solo déjala salir, no te preocupes tanto por la salud y enfócate en descubrirte. Agarra la vida fuerte y empieza a dominarla, tú eres mucho más fuerte que tus ideas.

A “La Pau”, por tu amistad y apoyo, y a Ali, por arroparme cuando más expuesta estuve.

A mi asesor y sinodales por su tiempo y guía. A la Universidad Nacional Autónoma de México, por brindarme las herramientas de aprendizaje que necesité para ser una profesional. Y por su puesto a los contribuyentes, porque sus aportaciones pagan la educación de muchos.

Por último me agradezco a mí, por demostrarme que no hay nada que no pueda lograr. Por vivir con amor cada día, por recuperar el amor propio y vencer los miedos. Soy una mujer en construcción, pero qué hermoso ser estoy construyendo.

INTRODUCCIÓN

Desde la creación de la Tierra ha existido cambio climático natural, sin embargo, es importante añadir que la variabilidad climática ha sido transformada debido a las actividades antropogénicas (Cambio Climático Antropogénico - CCA), es decir, ha existido un cambio en los ciclos naturales debido al desarrollo, y específicamente al crecimiento económico que permite satisfacer las necesidades humanas y generar un excedente. El crecimiento económico como lo conocemos genera consecuencias como lo es la variación climática antropogénica. No obstante, dentro de la comunidad internacional han surgido propuestas para atender el CCA y se han realizado acuerdos y propuestas para la adaptación, como el Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, Protocolo de Kioto, COP 21, el Acuerdo de París, entre otros.

Los temas ambientales han tomado importancia en la agenda internacional, debido al incremento exponencial de la pérdida de biodiversidad, cambios en la temperatura y aumento de fenómenos climatológicos que tienen repercusiones en la sociedad y economía global. Es decir, la raíz de la preocupación es un motivo netamente económico y no un interés ambiental.

El clima y desarrollo social son en conjunto dos variables determinantes de los riesgos de desastre que afectan a los sistemas arrecifales, ya que, por una parte (factores sociales) se encuentra la vulnerabilidad y la exposición de la población, y por el otro lado (factores naturales) la intensidad y frecuencia de los fenómenos meteorológicos y climáticos. El conjunto de los factores que concurren en espacio y tiempo afectan el hábitat de los corales, y en consecuencia se generan multiamenazas. En otras palabras, el “desarrollo” que hoy conocemos nos ha llevado al CCA, sin reconocer las fronteras ecológicas, es decir, los límites para mantener un equilibrio ecológico. Generando de esta manera riesgos por las emisiones de gas, que producen efecto invernadero al no ser absorbido, y en consecuencia provocando el calentamiento de la atmósfera y el océano, y amenazas para el medio ambiente y la naturaleza.

Los arrecifes de coral se encuentran ubicados únicamente en las zonas del Trópico de Capricornio y el Trópico de Cáncer, y “sustentan aproximadamente el 25% de todas las especies marinas conocidas en la actualidad, a pesar de que ocupan menos del 1% de área oceánica global”¹. Los sistemas coralinos son el hábitat de pequeños animales desde su incubación, son refugio para algunas especies y permiten el traslado de nutrientes hacia los ecosistemas contiguos. Por otro lado, si se analiza desde la visión antropocéntrica los arrecifes funcionan para la humanidad como fuente de servicios, especialmente debido a la cantidad anual de turistas que visitan los corales y la derrama económica que generan en la zona, de igual manera también funcionan como sistema de contención de los ciclones que afectan el medio ambiente, ya que frenan la intensidad de las mareas.

Los efectos del CCA en los corales comenzaron a ser notorios en 1983; a partir de este año se han observado eventos de blanqueamiento a lo largo del mundo relacionados con la ocurrencia del fenómeno de ‘El Niño’ o ‘La Niña’, el aumento de la temperatura atmosférica y oceánica y las enfermedades de coral y . En este sentido, el primer evento de blanqueamiento masivo de coral se dio en 1983, y está estudiado como uno de los eventos de blanqueamiento más fuertes a nivel global. Y lo mismo ocurrió con El Niño de 1998, el cual también fue un fenómeno muy agresivo en el aumento de la temperatura y ocurrencia de huracanes.

En este sentido, es importante destacar que históricamente el blanqueamiento que comenzó en 2014 y terminó entre 2016 y 2017 ha sido anormal en su comportamiento, teniendo en cuenta que los factores de estrés para los corales no fueron únicamente la ocurrencia de ‘El Niño’, ya que el fenómeno se presentó un año más tarde (2015) y para el año 2014 los factores físicos como el aumento de temperatura ya estaba impactando el océano y en consecuencia afectando a el tejido de los arrecifes. Lo anterior, se potencializó cuando en 2016

¹Dorina Basurto, *Estrategias para el manejo integral de la zona costera: un enfoque municipal*, [en línea], Instituto de Ecología A.C. y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SEMARNAT)-Gobierno del estado de Veracruz. Xalapa, México, 2006. Dirección URL: http://www1.inecol.edu.mx/publicaciones/MANEJO_INTEGRAL.htm , [consulta: 27 de abril de 2021]

se volvió a presentar 'El Niño', ya que las condiciones extremas se prolongaron afectando aún más las zonas de arrecifes con daños pre existentes causados por huracanes, aumento en el nivel del mar, enfermedades y el estrés humano en las zonas. Según el IPCC "es muy probable que entre el 84% y el 90 % de las olas de calor marinas que se produjeron de 2006 a 2015 sean atribuibles al aumento antropogénico de la temperatura."²

El objetivo de la presente investigación es describir y analizar cuáles son los efectos y que plantea la multiamenaza del CC a los arrecifes en el periodo de 1983 a 2016, específicamente se busca estudiar cuáles han sido las afectaciones ecosistémicas y climáticas al sistema arrecifal en el estado de Quintana Roo-México al sistema arrecifal y cómo estas también tienen una repercusión económica.

Es importante también estudiar las consecuencias colaterales del CCA, ya que existen afectaciones económicas. De acuerdo con el Foro Mundial para la Naturaleza (WWF) el coral es el medio por el cual se sostienen más de dos millones de personas; y la clase social más baja es al mismo tiempo más vulnerable. Las condiciones sociales son factores determinantes ante la exposición a fenómenos meteorológicos y climáticos, debido a que las zonas de población marginales están asentadas en zonas geográficas en donde no deberían de existir viviendas por los constantes desastres que se presentan en estos territorios. En este sentido las políticas y las leyes de protección son esenciales para mejorar el nivel de vida e infraestructura, así como la situación de vulnerabilidad ante los riesgos del CCA.

El Sistema Arrecifal Mesoamericano es el arrecife transfronterizo más grande del mundo y el más grande del hemisferio occidental, abarcando la costa de México a Honduras, se estima que "la ecoregión completa mide aproximadamente 516 km²,

² Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, *El océano y la criosfera en un clima cambiante*, [en línea], Informe especial, Resumen para responsables de política, 38 págs., Suiza, IPCC, junio 2020, Dirección URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2020/07/SROCC_SPM_es.pdf [consulta: 26 de febrero de 2021]

un área de 212 km² de cuencas, 304 km² de hábitats marinos y el arrecife se extiende más de 1,000 km³.

Es importante estudiar los efectos sociales y ambientales del CCA en el SAM para comprender como el clima y el desarrollo son dos constantes presentes ante los riesgos en el SAM. Según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), “en el Caribe alrededor de una quinta parte los individuos de coral están en amenaza de extinción”⁴, incluso la UICN considera que los arrecifes caribeños están en peores condiciones que los de Oceanía debido a los factores de presión antropogénica, es decir a mayor desarrollo, crecimiento desmedido, falta de reconocimiento de las fronteras ecológicas y de leyes que cuiden los hábitats y ecosistemas que cohabitan con los arrecifes, mayor variabilidad climática existirá. Lo anterior por las actividades antropogénicas, cuya consecuencia es el riesgo de desastre debido a la vulnerabilidad y exposición en la que la población y naturaleza se encuentran ante los fenómenos. Desde 1980 el 80% del coral vivo a lo largo del caribe mexicano ha desaparecido o sido degradado como consecuencia de la contaminación, las enfermedades, la pesca excesiva y las tormentas.⁵

La vulnerabilidad de la zona del SAM-M también tiene que ver con la población que habita en la zona, ya que en Quintana Roo la población depende en su mayoría de las actividades económicas terciarias, en particular de la derrama económica que deja el turismo en la zona. Sin embargo, la distribución de la riqueza en la zona es desigual debido a que la mayoría de los empleos no requieren

³ Healthy Reefs, *Libreta de Calificaciones correspondiente al Sistema Arrecifal Mesoamericano*, [en línea], 2008, Dirección URL: <https://www.healthyreefs.org/cms/wp-content/uploads/2012/12/Reporte-2008.pdf>, [consulta: 06/03/2021]

⁴ Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, *La pesca excesiva y la disminución de los arrecifes de coral amenazan las pesquerías de las islas del Pacífico y el Caribe*, [en línea], 8 de junio de 2017, Dirección URL: <https://www.iucn.org/es/news/secretariat/201706/la-pesca-excesiva-y-la-disminuci%C3%B3n-de-los-arrecifes-de-coral-amenazan-las-pesquer%C3%ADas-de-las-islas-del-pac%C3%ADfico-y-el-caribe-%E2%80%93-informa-la-uicn> [consulta: 21 de abril de 2021]

⁵ TNC México, *Una brigada de voluntarios aprende a reparar los arrecifes de coral que protegen la costa en el caribe mexicano*, Dirección URL: <https://www.tncmx.org/que-hacemos/recursos/historias-destacadas/guardianes-del-arrecife/> [consulta: 18 de abril de 2021]

calificación y el capital es transnacional se queda con mayor porcentaje de las ganancias, ya que el ingreso más alto se percibe del hospedaje.

El CCA se debe analizar desde la disciplina de las Relaciones Internacionales para entender cómo un fenómeno global se debe de comprender como tal y realizar el análisis que contemple las variables globales para atender efectos locales y no caer en el error de realizar medidas paliativas que no responden a las causas del problema.

En este sentido, la presente investigación se divide en tres capítulos que abarcan desde el motivo por el cual el CC se debe entender como un fenómeno global, impactos que genera el CC en los arrecifes del planeta, y específicamente los impactos y amenazas de 1983 a 2016 presentados en los corales de Quintana Roo en el Sistema Arrecifal Mesoamericano.

El primer capítulo identifica el proceso de globalización como una de las causas de cambio climático, ya que la evolución del sistema capitalista genera mayor interconexión entre las regiones del mundo, expandiendo el proceso de producción y de explotación desmedido. Proceso que es incompatible con los límites ecológicos, daña la naturaleza, el medio ambiente y tiene mayores repercusiones negativas en los países en desarrollo, debido a sus vulnerabilidades geográficas y características económicas, políticas, sociales y de infraestructura.

Por otro lado, explica como el desarrollo sostenible podría plantear una alternativa para no comprometer las necesidades de las generaciones futuras, siempre que se respeten los ciclos naturales de la naturaleza. De igual manera, esgrime algunos de los tratados y normas que se han realizado para proteger a los arrecifes, y define los conceptos de amenaza, riesgo, vulnerabilidad y resiliencia.

El segundo capítulo permite en principio comprender qué son los arrecifes y las características necesarias para la existencia de estos ecosistemas, de igual manera describe la importancia ecosistémica, económica y social de la presencia de los arrecifes en las costas. Además, enumera los principales sistemas arrecifales del planeta y cuáles han sido los impactos del CC en los corales.

En este sentido, se describe los principales efectos (multiamenaza) del CCA en los arrecifes, específicamente profundiza en i) el aumento del nivel del mar, ii) intensidad y frecuencia de huracanes, iii) las enfermedades de coral, y iv) el blanqueamiento de coral.

Por último, el tercer capítulo describe la importancia del Sistema Arrecifal Mesoamericano, y cómo en México, específicamente en el estado de Quintana Roo se han manifestado los efectos del CC analizados en el anterior capítulo, las principales características ecosistémicas que determinan la riqueza natural de los arrecifes y características por las cuáles en Quintana Roo hay más arrecifes que en el resto de los países que abarca el SAM.

De igual manera, describe y analiza el avance de los efectos de la multiamenaza del CC en los arrecifes en el periodo de 1983 a 2016, cómo ha aumentado la cantidad de huracanes en el Caribe, el aumento de la temperatura en el estado de Quintana Roo y en la zona costera contigua, las afectaciones de la salud en los arrecifes por el incremento del nivel del mar, así como los efectos del blanqueamiento de coral en la mortalidad de los arrecifes.

Por último, se muestran las aportaciones económicas que generan los arrecifes como es la protección de las costas ante huracanes, el turismo que atrae anualmente y la pesca.

Capítulo 1. Teoría del Capitalismo global y su interrelación con el sistema normativo global respecto al cambio climático y los Sistemas Arrecifales

1.1 La Teoría del Capitalismo Global y su relación con el Cambio Climático

El apartado teórico del capítulo se concentra especialmente en los procesos básicos y esenciales de la globalización y su relación con el Cambio Climático (CC); así como el surgimiento de un Estado Transnacional (TNS) cuyo desafío es dar solución a problemas globales.

1.1.1 Definición de globalización

En la actualidad mucho se habla de la globalización, sin embargo, es necesario definir el término epistemológicamente para comprender la presente investigación y explicar la teoría del capitalismo global en los parámetros del CC.

El concepto *globalización* aparece en la década de los años 60, empero, es hasta los años 90 que surge dentro del discurso político-económico según el sociólogo William Robinson. La globalización es un proceso que por su naturaleza conlleva un cambio social acelerado en todo el planeta, éste cambio está relacionado con el estrechamiento de las relaciones culturales, económicas y políticas entre los pueblos y/o comunidades del mundo, lo que John Tomlinson⁶ llama “conectividad compleja”, lo cual, permite explicar las distintas interrelaciones entre globalización y CC.

La escuela del capitalismo global percibe a la globalización como, “una nueva etapa en la evolución del sistema capitalista mundial que surgió hace unos siglos”⁷, considera que para entender la globalización es necesario realizar un análisis de la naturaleza y la dinámica del sistema capitalista a lo largo de la historia.

En este sentido, la globalización se puede entender como la continuidad reconocida del proceso histórico de alcance global de la expansión de la producción

⁶ Tomilson John, 1999, *Globalization and Culture*, Chicago: University of Chicago, United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD), 1983-2002. World Investment Report, New York, Estados Unidos.

⁷ William I. Robinson, *Una teoría sobre el capitalismo global : producción, clases y Estado en un mundo trasnacional*, México, D.F., Siglo XXI, 2013, p.18.

capitalista y del entrelazamiento de sus relaciones económicas, culturales y sociales.

1.1.2 Globalización y capitalismo

El capitalismo es el primer sistema político-económico en incorporar diversas formas de interconexión de las sociedades, lo cual da origen al “sistema mundo moderno”⁸. La naturaleza expansionista y materialista del capitalismo es alimentada por una historia de conquista y saqueo entre naciones. El capitalismo solo se entiende a través del estudio histórico cronológico, que permite identificar el proceso de explotación desmedido de recursos naturales, proceso que a lo largo de la historia ha tenido y tiene repercusiones negativas sobre el medio ambiente. En este sentido, el capitalismo se debe de comprender dentro del contexto que plantea la amenaza del CC; ya que uno de los pilares del capitalismo es la explotación de mano de obra y recursos naturales, modelo de producción que genera un excedente, crea desigualdades sociales y no comprende los límites naturales.

La globalización representa la transición histórica desde el feudalismo en Europa, posteriormente el capitalismo clásico de la revolución industrial y el surgimiento del Estado-Nación, siguiendo con el capitalismo corporativo donde se crea un único mercado mundial; y hoy en día el capitalismo global o globalización, como lo explica en su obra William Robinson.⁹

En la década de los años 70 se presentaron importantes acontecimientos en materia capitalista y ambiental como son las crisis económicas da cara al reconocimiento del sistema capitalista y el modelo de producción como generadores de daños al medio ambiente, daños que son atendidos por la sociedad internacional.

1.1.3 Capitalismo en el mundo

El capitalismo necesita el trabajo y el capital, este modelo de producción tiene como objetivo la creación de artículos a bajo costo para generar mayor ganancia. Para

⁸ Para profundizar, revisar Immanuel Wallerstein, *The Modern World System*, Berkeley, University of California Press, 1974.

⁹ Para profundizar consultar William I. Robinson, *Una teoría sobre el capitalismo global: producción, clases y Estado en un mundo trasnacional*, México, D.F., Siglo XXI, 2013.

que este objetivo se cumpla, es necesario la mano de obra barata (trabajo) y una clase social dueña de los medios de producción (capital).

La escuela del capitalismo global distingue al capitalismo como un proceso evolutivo a partir de la globalización como medio, ubicando de esta manera distintas aristas de la composición y análisis social. Es por eso, que esta investigación no se puede tomar bajo los estándares de la teoría del sistema-mundo y simplificar el proceso a intercambio mercantil, ya que como se ha mencionado existen procesos que influyen en la causalidad de los impactos del sistema capitalista sobre el medio ambiente y CCA.

En la actualidad, la mayor parte de la población se encuentra inmersa en la dinámica del capitalismo entendida tanto en términos económicos como sociales, culturales y políticos. Se mercantilizan los servicios que proporciona el Estado como la educación, medio ambiente y la salud, entendido el Estado como ente transnacional que da paso a la privatización de los derechos que garantiza, hacia una mercantilización de artículos. Es decir, da paso a la especulación de precios respecto a la naturaleza o el medio ambiente como “artículos” en el mercado internacional, ya que el capitalismo como se ha mencionado anteriormente elimina las barreras internacionales y borra los límites territoriales al crear políticas globales, las cuales se pueden ver enmarcadas en Acuerdos o Políticas Internacionales. Dicho lo anterior, podemos decir que gran parte de la pérdida de flora y fauna se debe a esta mercantilización de artículos por parte del Estado y cuyas afectaciones las sufre la población.

Las afectaciones más claras del capitalismo al medio ambiente comienzan desde que se irrumpe en los países pre-capitalistas y se modifica la actividad económica humana, se le quita a los campesinos sus tierras de cultivo y se convierten en “mano de obra” o asalariados; como lo explica David Harvey, “los límites exteriores de este proceso [la subyugación de la mano de obra al capital]

radica en el punto en el que cada persona, en cada rincón y grieta el mundo, está atrapada en la órbita del capital".¹⁰

1.1.4 De lo mundial a lo global

La globalización como proceso multidimensional y estructuralmente determinante conlleva avances tecnológicos, la unificación de la sociedad, la cultura, y el surgimiento del capital transnacional como base de la economía global. Es pertinente identificar en este punto lo que es el crecimiento económico desde la visión del capitalismo global, ya que el crecimiento tiene características muy diferentes a lo que plantea el desarrollo.

La economía global bajo el capitalismo está vinculada a un proceso económico de acumulación desmedido con consecuencias negativas sociales, económicas y ambientales para los que se encuentran en condiciones de vulnerabilidad económica o por su condición geográfica. En el siglo XXI ya no se puede hablar de la economía de una nación, ya que el capital en la actualidad es un agente transnacional. Con esto se quiere decir que las naciones están vinculadas por los procesos de producción. Un ejemplo de la economía transnacional es la producción automotriz, ya que las piezas son maquiladas en diversos países, el ensamblaje en otro país distinto y la distribución se da a lo largo del mundo. Normalmente el ensamblaje de las autopartes se encuentra localizado en naciones en donde la mano de obra es barata y existen condiciones que permiten maximizar las utilidades.

Estas cadenas globales de valor o circuitos globales de acumulación generan relaciones asimétricas del ingreso, las cuales refuerzan el sistema económico internacional. En resumen la realidad es un mundo que engloba distintas economías nacionales y modos de producción relacionados y esta globalización no se queda en el plano económico, trasciende a lo político, a la planeación de políticas públicas sociales y ambientales, ya que los efectos positivos o negativos del sistema tienen huella global y no local como en el pasado.

¹⁰ David Harvey, *The Condition of Postmodernity*, Oxford, Basil Blackwell, 1989, p. 415.

El enfoque del capitalismo global reconoce una distinción clara entre el núcleo, la semiperiferia y la periferia que señala Immanuel Wallerstein, no obstante se reduce a una forma de control total, sin detenernos en características específicas. Por lo tanto, los efectos relacionados con el CC se entienden bajo la red de poder del centro hacia la periferia, con consecuencias ambientales reflejadas con mayor fuerza en la periferia debido su vulnerabilidad social y/o geográfica acrecentada por las condiciones económicas y la falta de interés del Estado transnacional por velar por las necesidades básicas de su población.

El neoliberalismo global implica la liberalización del mercado mundial con su respectivo marco normativo, primero en el plano nacional y después en el global. Estas dimensiones nacionales y globales que abarca el neoliberalismo sirven para realizar políticas que eliminen las barreras nacionales, al permitir la no intervención del Estado y apegándose a las normas establecidas por el propio mercado. La liberalización del mercado es impulsada a nivel internacional con la Ronda de Uruguay en 1986 de donde deriva el Acuerdo General sobre Tarifas y Comercio (GATT) después de 7 años en Marruecos donde se pacta la transformación de la Organización Mundial del Comercio por el GATT.

El surgimiento del Estado transnacional se da paralelamente al surgimiento de la economía global. El Estado es una institución necesaria para crear y supervisar las leyes del mercado, es decir es el agente regulador de la globalización. El papel del Estado no desaparece, sólo se modifica al expandir su alcance y perder su carácter para medir indicadores de política por sus barreras territoriales. De hecho como lo distinguen Ronald Robertson¹¹ y Antony Giddens¹² la globalización no se entiende sin un Estado-Nación, es por eso que el análisis de la globalización como proceso debe ser histórico debido a la transformación de las estructuras.

¹¹ Ronald Robertson, *Globalization: Social Theory and Global Culture*, California, Thousand Oaks, Sage, 1992.

¹² Anthony Giddens, *Consequences of Modernity*, Cambridge, Polity Press, Sociology, 1990, tercera edición.

1.1.5 Capitalismo, clases sociales y el tercer mundo

El capitalismo global no se entiende sin la sociedad, por lo cual es pertinente realizar un análisis de clases, debido a la naturaleza versátil de la sociedad. La estructura social está estrechamente relacionada a las clases sociales; como la clase capitalista/burguesía transnacional¹³ y “proletariado mundial”¹⁴. Es decir, la globalización replantea la relación entre clases y los grupos sociales al interior y exterior de las naciones, el Estado es desplazado por el poder de la transnacionalización del capital y la economía global. Este proceso se observa debido a la desterritorialización de los procesos acumulativos y la integración transnacional capitalista. Se puede decir entonces, que la elite transnacional es hoy en día el poder detrás del poder, con capacidad de imponer condiciones de paz, guerra o políticas, cuestiones económicas y financieras, y dictar el ritmo de explotación de los recursos naturales, debido a los procesos internos que conlleva la globalización.

Paradójico a los procesos de globalización que unifican procesos económicos y políticas, también fragmenta la cohesión social y cultural, es decir, las elites del capitalismo transnacional manejan una agenda propia que no distingue ni presta atención a los conflictos sociales, pobreza, eventos ambientales o efectos del CC causados por las actividades económicas del ser humano en la vida cotidiana.

Es importante remarcar que el capitalismo es un proceso asimétrico que se da en ciclos de tiempo no homologados entre naciones o regiones, existe la clase capitalista transnacional y proletariado mundial entendidos dentro de la cosmovisión del centro y periferia (sin ser categorías geográficas). Es por eso que se dan los bancos para el desarrollo creados desde la teoría keynesiana, creando proyectos corporativistas de bienestar y desarrollo, en línea con la redistribución

¹³ Transnacional por estar vinculada en los circuitos globales de producción, finanzas y mercado desvinculado de un territorio nacional, es la nueva clase dirigente mundial.

¹⁴ Definición dada por Michael Hardt y Antonio Negri y se refiere a todas aquellas personas cuyo trabajo está directamente e indirectamente explotado por y sujeto a normas capitalistas de producción y reproducción. *Vid.* en Michael Hardt y Antonio Negri, “*Empire*”, núm. 40, vol. 2-3, Race and Class, Harvard University Press, 2000, p.52.

del ingreso o capital para incorporar estas naciones “en vías de desarrollo” en la lógica capitalista, es decir “ajuste estructural”.

Con las nuevas relaciones sociales el trabajo, el medio ambiente, la educación, la salud, etc., se vuelven artículos, se cosifica al ser y pierde su esencia, para convertirse en parte de la estructura de acumulación y producción global aislada de la realidad ambiental. Es por este fenómeno que el tercer mundo es el territorio donde más afectaciones se pueden ver debido al CC, ya que el tercer mundo es donde se encuentran las poblaciones con mayores necesidades tanto económicas, como sanitarias, de infraestructura, salud, y en general de servicios básicos. Pero también, en muchas ocasiones por la ubicación geográfica de estos países, se encuentran los recursos naturales a explotar, lo cual puede intensificar las condiciones de precariedad, que son directamente proporcionales a los intereses transnacionales los oligopolios, que de igual manera prestan nula atención por la conservación del medio ambiente.

1.2 Crecimiento vs desarrollo

Desde el punto de vista del conservacionismo podemos analizar el desarrollo en el sentido económico, social y ambiental que involucra el concepto. Es necesario entender que el concepto está integrado por estas tres esferas que no son ajenas entre sí. Por lo tanto, el análisis de las afectaciones del CC a los países se puede realizar diferenciando entre países desarrollados y en desarrollo, para distinguir las distintas características que vuelven un territorio más vulnerable que otros.

En la actualidad el pensamiento imperante resulta de la apuesta de la élites por el crecimiento económico, éste crecimiento no tiene límites, sin embargo, está enmarcado en un planeta con recursos finitos. Lo cual nos lleva a un modelo económico cuya producción es incompatible con las leyes de la naturaleza; por el patrón de consumo, y de demanda de bienes y/o servicios, lo cual conlleva un gran impacto socio-ambiental, grandes transformaciones en el ecosistema, y los ciclos naturales tanto a escala local como global. Se estima que si continua el mismo

patrón de consumo y el nivel de crecimiento económico no serán suficientes los recursos naturales del planeta.

Los límites planetarios o “fronteras” no se deben ver específicamente como punto de quiebre, en realidad son una alerta para que la sociedad responda y realice las acciones necesarias para impedir el quebrantamiento de los límites. No obstante es necesario entender y observar que estos límites se encuentran en un contexto adverso, debido a la enorme cantidad de desigualdades sociales que existen entre países desarrollados y no desarrollados; además de los distintos intereses políticos y económicos que hacen más complejo el análisis de los límites planetarios.

En 1987 se introduce al discurso internacional “la sostenibilidad”, al introducir el concepto de desarrollo sostenible, entendido según el párrafo 27 del Informe como “...la capacidad de satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”¹⁵. Desde su creación, la ONU estableció dicho concepto dentro de la agenda internacional, así como en sus organismos fiduciarios. Igualmente en el párrafo 27 se precisan los límites del concepto de desarrollo sostenible como “...no límites absolutos, sino limitaciones que imponen los recursos del medio ambiente, el estado actual de la tecnología y de la organización social, la capacidad de la biósfera de absorber los efectos de las actividades humanas.”¹⁶

Del concepto de desarrollo del Informe Brundtland ha surgido un sin número de interpretaciones, debido a la amplitud que abarca el mismo y los vacíos que pueden ser completados por visiones similares o de otro índole; lo cual da pie a un giro en su connotación. Los límites al no ser absolutos pueden ser modificados de acuerdo al contexto histórico, modelo de producción, o las necesidades del sistema hegemónico o paradigma dominante; por lo cual, es necesario remarcar el papel de la naturaleza en este contexto de desarrollo, debido

¹⁵ Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo, *Informe Brundtland*, 1987, p.23

¹⁶ *Ibid.*

a que es de esta de donde salen los recursos que explotamos a nuestra discreción sin observar y valorar cuál es su ciclo natural, para poder generar conciencia a partir de los efectos de los distintos procesos.

En 1997, el Informe “*Global Change and Sustainable Development*” del Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas (ECOSOC) precisa que el desarrollo sostenible es: “ ... una aproximación integrada a la toma de decisiones y elaboración de políticas, en la que la protección ambiental y el crecimiento económico a largo plazo no son incompatibles, sino complementarios, y más allá, mutuamente dependientes: solucionar problemas ambientales requiere recursos que sólo el crecimiento económico puede proveer, mientras que el crecimiento económico no será posible si la salud humana y los recursos naturales se dañan por el deterioro ambiental”.¹⁷

Esta visión del desarrollo sostenible reconoce después de diez años del Informe Brundtland la existencia de fronteras ecológicas, subraya la posibilidad de cuidar nuestro entorno a la par del desarrollo económico; no explica el método a utilizar para poder lograrlo, sin embargo, se entiende el papel clave de las políticas públicas y su planeación para lograr el equilibrio deseado entre medio ambiente y desarrollo.

El desarrollo sostenible después de haber realizado el análisis es aquel que engloba la diversidad social, histórica, cultural, étnica y ecológica que constantemente se transforman; sin alterar el *status quo* de la naturaleza en ningún momento.

De acuerdo a lo anteriormente mencionado esta asociación entre naturaleza y desarrollo muestra un avance en la visión del crecimiento económico, en el contexto de la globalización, al entender como factor fundamental el cuidado del medio ambiente, y en consecuencia la necesidad de inversión en tecnología para lograr el objetivo principal del crecimiento económico sin descuidar el desarrollo humano y el cuidado de nuestro planeta.

¹⁷ United Nation, *Global Change and sustainable development: critical trends*, Report of the Secretary- General, Economic and Social Council, E/CN.17/1997/3, 1997, p. 2.

Existen diferentes perspectivas sobre el desarrollo sostenible, sin embargo, una visión integral necesita comprender la variedad de sociedades culturalmente distintas que cohabitan en el planeta con los distintos ecosistemas, ya sea terrestres o marinos, en territorios políticamente delimitados pero con rasgos físicos, biofísicos y bioculturales comunes; estos rasgos hacen a las sociedades reconocerse como parte de la naturaleza y al mismo tiempo reconocer que cohabitan el Hombre y la naturaleza dentro de los límites ecológicos planetarios.

Por lo tanto, si el desarrollo es analizado desde esta perspectiva se puede identificar que en ningún momento se habla del crecimiento o desarrollo económico, sino de un desarrollo humano planteado de manera integral en la que progresa el ser humano económico, social, política y culturalmente, entendiendo al ser humano como parte de la naturaleza y no como su dueño.

Desde el punto de vista antropocéntrico el informe de la Asamblea General “Armonía con la naturaleza” en el párrafo 29 separa a la humanidad de la naturaleza, sustentando esto en el paradigma del excepcionalismo humano, el cual considera “que el ser humano no forma parte del medio ambiente y es dueño del planeta”¹⁸, es decir se le otorga a la Tierra la característica única de proveedora de recursos y a la humanidad la capacidad de explotarlos a su discreción. Esta visión refleja un pensamiento aislado de los límites naturales de los recursos, la cosificación de la naturaleza, y un sentido de supremacía del Hombre sobre cualquier característica natural de la Tierra, con derecho a explotarla sin necesidad de comprender sus consecuencias.

Se puede explicar desde la subcorriente marxista lo que Gian Carlo Delgado identifica entorno a las fronteras ecológicas. Delgado expone que el problema ambiental por el cual surge el concepto desarrollo sostenible no se entiende dentro de los límites ecológicos sino por la organización social del trabajo como se explica en el apartado anterior. Esta organización social del trabajo desde el punto de vista antropocéntrico se apropia de la naturaleza y la transforma generando un ciclo metabólico en el sentido de la transformación de la misma, y cómo el producto final

¹⁸ William Cantton y Riley E. Dunlap, “*Environmental Sociology: A new paradigm*”, The American Sociologist, vol. 13, United States, Washington State University, febrero, 1978, pp.41-49.

trae consigo distintas consecuencias como es la contaminación y el desgaste del suelo. Lo cual enlaza distintas repercusiones sociales como la especialización del trabajo y pérdida de mano de obra, que obliga a través del mercado a la pérdida de empleos, lo cual no permite que se pueda realizar el objetivo del desarrollo sostenible que se plantea en la Agenda 21.

Es necesario comprender que la calidad de vida no es proporcional al crecimiento económico, es decir la disminución global de la demanda de energía proveniente de fuentes fósiles, no implica pérdida de calidad de vida, siempre y cuando la riqueza y los recursos sean distribuidos de manera equitativa, haciendo la brecha económica menos gruesa y permitiendo un modelo económico con demanda y consumo de acuerdo a las necesidades de la población.

La estructura económica solo necesita ajustes en los que se incluya y respete la asistencia social, cooperación a nivel local e internacional, para así poder incluir criterios ambientales en la Agenda Nacional e Internacional con objetivos a corto y largo plazo reales.

1.3 Definición de Cambio Climático, riesgos y amenazas en el contexto de la globalización

El análisis de este apartado está basado en una visión ecológica antropológica, la cual establece una relación directa y dinámica entre la naturaleza y la sociedad. En esta relación de naturaleza y sociedad existen factores importantes que influyen específicamente en la interacción con los arrecifes de coral como son la tecnología, el sistema económico, el sector turístico y su derrama económica en la zona, dichos factores ponen en riesgo el equilibrio ecológico del Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM).

Los conceptos como amenaza, riesgo y vulnerabilidad se crearon en los años noventa con la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres¹⁹ para estudiar el efecto de las acciones humanas sobre el medio ambiente y reflejan el

¹⁹ Decenio Internacional para la Reducción de "Desastres Naturales" (1990-1999), Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD) en 2005, IV Reporte del IPCC en 2007.

cambio de paradigma, es decir, con la Estrategia el mundo deja de ver a los eventos naturales como acto de Dios y se asigna responsabilidad social a la ocurrencia del Cambio Climático Antropogénico (CCA)²⁰ como origen de los desastres naturales.

Para poder realizar el estudio de la pérdida de coral marino en el SAM, es necesario identificar primeramente las definiciones de dichos conceptos.

La amenaza se define como un “fenómeno o acontecimiento peligroso o arriesgado natural o antrópico que puede causar daño físico, pérdidas económicas o poner en peligro la vida humana y el bienestar social y económico de una región. Las amenazas creadas por el hombre pueden derivarse de procesos tecnológicos, actividades humanas con el medio ambiente o relaciones dentro o entre las comunidades”²¹. Se puede decir que la amenaza tiene dos variantes la primera natural, que se refiere a un suceso de la naturaleza que se mide por su dimensión; y la segunda variante es antropogénica, la cual tiene magnitud global e influye en las actividades humanas como origen del efecto del acontecimiento ocurrido.

El riesgo es un factor creciente dentro de los términos del CC ya que ahonda las condiciones de vulnerabilidad ante los eventos climáticos, según el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) el riesgo se define como “Consecuencias eventuales en situaciones en que algo de valor está en peligro y el desenlace es incierto, reconociendo la diversidad de valores. A menudo el riesgo se representa como la probabilidad de acaecimiento de fenómenos o tendencias peligrosos multiplicada por los impactos en caso de que ocurran tales fenómenos o tendencias. En el presente informe, este término se suele utilizar para referirse a las posibilidades, cuando el resultado es incierto, de que ocurran consecuencias

²⁰ Es la transformación del clima durante un periodo de tiempo diferente al ciclo natural debido a las actividades antropogénicas y su huella ecológica, modificando de esta manera la composición atmosférica; el uso de suelo; ecosistemas; etc.; y como consecuencia la cantidad de lluvias; aumento del nivel del mar así como cambios abruptos de temperatura, que son distintos a los previstos por los científicos.

²¹ PNUD-UNDRO, [en línea] *Vulnerabilidad y evaluación del riesgo*, 1ª Edición, Programa de Entrenamiento para el Manejo de Desastres, PNUD. Cambridge, Inglaterra: Cambridge Architectural Research Limited, 1991. pág. 36. Dirección URL: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd29/vulnera-riesgos.pdf> [consulta: 21 de julio de 2019]

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”²².

En síntesis el riesgo es una situación de peligro que puede conllevar a distintos eventos, cuyo impacto puede tener distinta magnitud y cuya conclusión es desconocida; no obstante el peligro se puede multiplicar por los impactos que se obtengan ante los sucesos inciertos, es decir el riesgo ocurre cuando interactúa la vulnerabilidad y la exposición ante el peligro ocasionado por diversos hechos naturales.

El concepto de vulnerabilidad es definido como “las características de una persona o un grupo en términos de la capacidad de anticipación, manejo, resistencia y la capacidad de recuperación ante el impacto de un desastre natural”²³. El concepto vulnerabilidad se crea para encontrar el por qué un desastre tiene peores repercusiones en un lugar que en otro. Es decir, esgrimir qué externalidades son las que hacen que un desastre natural tenga mayor repercusión social cuando ocurre (pérdida de vidas humanas, daño en vías de comunicación, infraestructura, economía, daños sanitarios, etc.). Otra aproximación desde la visión del CC define vulnerabilidad como “el resultado final del análisis como un residuo resultante de los impactos del cambio climático menos la adaptación”²⁴ en el entendimiento de que el peso recae principalmente en la humanidad como causal del CCA.

La vulnerabilidad como concepto transforma la cosmovisión y estudio de los eventos climáticos, cambia el paradigma y deja de medir solo la continuidad y magnitud del acontecimiento. La vulnerabilidad toma en cuenta el costo económico

²² IPCC. 2014a. Anexo II: Glosario [Mach, K.J., S. Planton y C. von Stechow (eds.)]. En Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II, III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC, Ginebra, Suiza.

²³ Piers Blakie, Terri Cannos, Ian Davis, *Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters*, Londres, Inglaterra, Routledge, 1994, p.277.

²⁴ Gay, y otros. 2015. Reporte Mexicano de Cambio Climático Grupo II Impactos, vulnerabilidad y adaptación. Universidad Nacional Autónoma de México / Programa de Investigación en Cambio Climático. México, 2015. pág. 16.

y social que anteriormente no se analizaba; se abordan los fenómenos desde una visión que no es la que dicta el sistema, es alternativa e incluyente. Lo anterior, es importante tanto a nivel local como internacional ya que los eventos climáticos se presentan cada año con mayor frecuencia y no existe aún un programa internacional eficiente ante la vulnerabilidad de ciertos países o zonas que son continuamente afectados por los desastres naturales; mismos países que destacan por su condición de pobreza permanente, característica que no es contemplada en los planes de acción/prevención eficientes.

El concepto de resiliencia se define como la capacidad de experimentar alteraciones y mantener las funciones y equilibrios; es medida por la magnitud de los cambios que el sistema puede tolerar y aun así persistir. Es decir, la magnitud de alteraciones que se pueden soportar sin que el daño sea irreversible en el sistema; la capacidad de prepararse, planear, soportar, recuperarse y adaptarse; entendiendo sistema en la dimensión tanto social como ecológica. El IPCC define resiliencia como la “Capacidad de los sistemas sociales, económicos y ambientales de afrontar un fenómeno, tendencia o perturbación peligroso respondiendo o reorganizándose de modo que mantengan su función esencial, su identidad y su estructura, y conserven al mismo tiempo la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación”²⁵.

Ahora bien la relación de los conceptos con el escenario de la pérdida de coral en el Arrecife Mesoamericano se entiende debido a que los arrecifes de coral se encuentran en las zonas geográficas de los trópicos, en el caso de México el Trópico de Cáncer debido a que esta zona tiene la temperatura del mar idónea; empero “el carácter sésil de los corales, su alta sensibilidad a cambios ambientales y su larga permanencia en el tiempo los hace muy útiles como centinelas de los

²⁵ IPCC. 2014^a Anexo II, *Glosario En Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II, III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*, [en línea], IPCC, Ginebra, Suiza, Mach, K.J., S. Planton y C. von Stechow (eds.), Dirección URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf [consulta: 12 de junio de 2019]

cambios climáticos globales”²⁶. Lo cual nos permite conocer los cambios ambientales y climáticos que han ocurrido en los últimos años en los arrecifes, así como la variación de intensidad y acontecimientos ambientales y eventos climáticos, es decir, nos permite identificar las amenazas como son el blanqueamiento, el aumento de la temperatura oceánica o los ciclones, para dimensionar el riesgo que éstos representan.

La amenaza latente para los arrecifes es el CCA debido a que no se puede monitorear con certeza las afectaciones, debido a que el sistema global debe ser consciente de los efectos negativos que conlleva el actual sistema de producción, generado por las actividades cotidianas de la sociedad y el sistema económico como factor principal. El riesgo que se observa en esta investigación es la pérdida de coral marino en el Arrecife Mesoamericano debido a las consecuencias que conlleva, como es el cambio de temperatura, la variabilidad climática²⁷ y la erosión de playas; uno de los mayores riesgos son el aumento de los huracanes que destruyen coral marino.

La vulnerabilidad a la que está expuesto el SAM constantemente y se ha incrementado desde hace algunos años es la sobreexplotación hotelera en las costas mexicanas del Caribe, las grandes cantidades de turistas que visitan las zonas de arrecife de coral y los desechos humanos que se producen; así como la falta de sistema de drenaje correcto. Las medidas de resiliencia que se están implementando son el fondo de cooperación con los 20 países miembros de la Comunidad del Caribe (CARICOM por sus siglas en inglés), el Plan Estratégico de Ramsar, la Convención de Cartagena, entre otras.

El clima y el grado de desarrollo son dos variables determinantes para la existencia de riesgos de desastres donde; por una parte (factores sociales) se

²⁶ José Carriquiry, “*El papel de los arrecifes coralinos en el flujo de carbono en el océano: estudios en el Pacífico Mexicano*”, Carbono en Ecosistemas Acuáticos de México, Hernández de la Torre (Eds.), INNEC-SEMARNAT, México, Ciudad de México, 2007, p.215.

²⁷ Medida del rango en que fluctúan elementos climáticos, es decir, el cambio del tiempo durante un periodo amplio debido a fenómenos naturales como son tormentas; lluvias; o temperatura, por motivos naturales o consecuencia de la interacción naturaleza con el ser humano.

encuentra la vulnerabilidad y la exposición, y por el otro (factores naturales) los fenómenos meteorológicos y climáticos producen un desastre. Es decir, el desarrollo que hoy conocemos (crecimiento económico-globalización) nos ha llevado al CCA, debido a que la oferta y demanda (modelo de producción que la sociedad ha establecido) se encuentra fuera de las fronteras ecológicas; generando emisiones de gases como el CO² o CH⁴ que producen efecto invernadero al no ser absorbidos por la atmosfera, debido a las grandes cantidades que son arrojadas diariamente y en consecuencia general, el calentamiento o sobrecalentamiento de la atmosfera.

Desde la creación de la Tierra ha existido CC, sin embargo, es importante añadir que esta variabilidad climática ha sido transformada debido a las actividades antropogénicas, es decir, ha existido un cambio en los ciclos naturales debido al desarrollo y específicamente al crecimiento económico que permiten satisfacer las necesidades humanas y crear un excedente, que claramente está teniendo consecuencias como es la variación climática antropogénica. No obstante han existido intentos y propuestas para la adaptación al CC como es la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, el Protocolo de Kioto, COP 21, o el Acuerdo de París.

El problema que plantea el desarrollo es la gestión de riesgos de desastre, debido a que el desarrollo y el crecimiento económico están planteados dentro de un sistema donde la clase social más baja es al mismo tiempo la más vulnerable. Las condiciones sociales son determinantes ante la exposición a fenómenos meteorológicos y climáticos debido a que las zonas marginales están asentadas en zonas geográficas en donde no deberían de existir viviendas por los constantes desastres naturales que se presentan. Las políticas públicas y marcos legales son esenciales para mejorar el nivel de vida e infraestructura, así como la situación de vulnerabilidad ante los riesgos del cambio climático antropogénico.

1.4 Tratados y normas para la protección de los arrecifes

El análisis de los efectos en los corales, y en general de las zonas costeras requiere de un conocimiento de la legislación que regula las interacciones entre el medio oceánico, las fuentes de agua continentales, la atmosfera, la biodiversidad y la costa misma.²⁸ En este sentido, la normativa internacional juega un papel primordial en la planeación de la política interna para la regulación ambiental.

Las crisis ambientales ocurren desde la aparición del hombre, sin embargo, las crisis toman relevancia en la política internacional en la segunda mitad del siglo XX, por lo que el Club de Roma (1968) en el marco de la Conferencia Internacional de la Biosfera encomendó al Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) realizar el informe *“Los límites del crecimiento”*, publicado en 1972; en ese año se convoca la primera Cumbre de la Tierra (también conocida como Conferencia de Estocolmo) en la cual se decidió crear el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). No obstante, aunque estos acontecimientos son un parteaguas para la observación del problema de manera global, en 1865 se replanteó al medio ambiente no como un eje unilateral sino global, gracias a la obra de George Perkins *“Man and Nature”*.

1.4.1 Normas Internacionales

Existen distintos tratados y normas internacionales orientadas al cuidado de los corales debido a su grado de vulnerabilidad, función ecosistémica e importancia climática. Dichos instrumentos internacionales son la Conferencia de Estocolmo, Convención sobre el Derecho del Mar, la Agenda 21, Declaración de Río, convención sobre Diversidad Biológica, Convención para la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural, y el Decreto de promulgación de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestres.

²⁸ Sofía Cortina Segovia, Gaëlle Brachet Barro, Ibañez, Quiñones, *Océanos y costas. Análisis del marco jurídico e instrumentos de política ambiental en México*, México D.F, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2007, primera edición, p.41.

La Conferencia de Estocolmo es una de las primeras legislaciones internacionales que establecen principios y un plan de acción en cuestiones ecológicas. Esta conferencia es importante debido a que menciona los principios que los gobiernos deben enfatizar para evitar la contaminación de los mares internacionales y nacionales. Por su parte la Convención sobre el Derecho del Mar de Naciones Unidas (UNCLOS) busca proteger y preservar los hábitats marinos a través de disposiciones que conducen las actividades en los mares en materia ambiental, económica y social; y regula el límite del mar territorial. Esta protección se enmarca en 320 artículos, por lo cual se considera la principal Convención que trata temas relacionados con la protección de los océanos.

La Agenda 21 señala que el cuidado de los sistemas coralinos es una prioridad y crea la Iniciativa Internacional de los Arrecifes Coralinos (ICRI) que es un grupo de trabajo internacional que busca su preservación a partir del capítulo 17 apartado 5 que establece “v) tomar medidas para velar por el respeto de las zonas designadas por los Estados ribereños, dentro de sus zonas económicas exclusivas, con arreglo al derecho internacional, a fin de proteger y preservar los ecosistemas raros o frágiles, tales como los arrecifes de coral y los manglares”²⁹; con lo cual reafirma los objetivos de UNCLOS a través del desarrollo sostenible de las zonas costeras y marinas, el aprovechamiento sostenible y conservación de los recursos naturales vivos, y el fortalecimiento de la cooperación internacional para la solución de ordenamiento marino y CC.

La Convención sobre la Diversidad Biológica (CBD) establece el marco para la conservación de los arrecifes debido a la gran biodiversidad que representan. A través de sus 42 artículos identifica y monitorea categorizando en 1° ecosistemas y hábitats, y en 2° especies y comunidades.

La Convención para la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural establecida en noviembre de 1972 por la UNESCO, incluye a la reserva de Sian

²⁹ *Agenda 21*, [en línea], ONU Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, División de desarrollo sostenible. Dirección URL: <https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/agenda21spchapter17.htm> [consulta: 26 de julio de 2019]

Ka'an ubicada en el estado de Quintana Roo como patrimonio de la humanidad. Ésta convención se encuentra reforzada por el Decreto de promulgación de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestres (CITES), debido a que su objetivo es frenar las afectaciones que plantea el comercio internacional de especies amenazadas y/o en peligro de extinción; y regular la explotación del arrecife para que no se comprometa la reproducción de las especies.

El Decreto de promulgación de la Convención relativa sobre los Humedales de Importancia Internacional especialmente como hábitat de aves acuáticas y el protocolo que la modifica (RAMSAR) es un convenio intergubernamental cuyo objetivo es la conservación de los humedales³⁰, y cada país miembro designa los humedales con importancia internacional a incluir en “La Lista de Humedales de Importancia Internacional” por sus características ecológicas, botánicas, zoológicas, limnológicas e hidrológicas, con el objetivo de establecer medidas para su cuidado y conservación. Los humedales mexicanos, específicamente de Quintana Roo que son parte del SAM se encuentran en “La Lista de Ramsar” y se presentan en la Tabla 1.

³⁰ La Convención aplica una definición amplia de los humedales, que abarca todos los lagos y ríos, acuíferos subterráneos, pantanos y marismas, pastizales húmedos, turberas, oasis, estuarios, deltas y bajos de marea, manglares y otras zonas costeras, arrecifes coralinos, y sitios artificiales como estanques piscícolas, arrozales, reservorios y salinas. *La Convención Ramsar y su misión*, [en línea], Dirección URL: <https://www.ramsar.org/es/acerca-de/la-convencion-de-ramsar-y-su-mision> [consulta: 25 de julio de 2019].

Tabla 1. Humedales Quintana Roo en La Lista de humedales de Importancia Internacional

Sitio	Fecha de designación	Superficie
Bala'an K'aax	02/02/2004	131,610 ha
Laguna de Chichankanab	02/02/2004	1,999 ha
Manglares de Nichupté	02/02/2008	4,257 ha
Manglares y Humedales del Norte de la Isla de Cozumel	02/02/2009	32,786 ha
Otoch Ma'ax Yetel Koooh	02/02/2008	5,367 ha
Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos	02/02/2004	9,066 ha
Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos	02/02/2004	9,066 ha
Parque Nacional Arrecifes de Cozumel	02/02/2005	11,987 ha
Parque Nacional Arrecifes de Xcalak	27/11/2003	17,949 ha
Parque Nacional Isla Contoy	27/11/2003	5,126 ha
Playa Tortuguera X'cacel-Xcacelito	02/02/2004	362 ha
Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro	02/02/2004	144,360 ha
Sian Ka'an	27/11/2003	652,193 ha
Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam	02/02/2004	154,052 ha

Fuente: Elaboración Propia con datos de *The List of Wetlands of International Importance*, publicada el 21 de Junio de 2019. [En línea],

<https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/sitelist.pdf>

1.4.2 Normas Regionales

La región de Mesoamérica se encuentra frecuentemente bajo amenazas climáticas, no obstante, sus asimetrías económicas, políticas, sociales y culturales no han permitido la realización de acuerdos regionales para la protección de la naturaleza, específicamente de los arrecifes de coral.

México aunque ha firmado diversos acuerdos internacionales para la protección de la naturaleza, en la actualidad no forma parte de ningún acuerdo

regional para la protección del medio ambiente; no obstante, Centroamérica en el año de 1993 creó el Convenio Constitutivo del Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres en América Central (CEPREDENAC); del cual son países miembro Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá.

El CEPREDENAC no constituye en el estricto sentido un instrumento legal ambiental, empero, es una iniciativa cuyo objetivo principal es compartir experiencias y conocimiento científico de la zona, para realizar estrategias para la mitigación de los impactos de los desastres naturales. Asimismo en el año de 1999 los países miembro decidieron declarar el Quinquenio (2002-2004) Centroamericano para la Reducción de la Vulnerabilidad de Desastres, acción que favoreció la integración regional en la lógica de la protección ambiental.

1.4.3 Normas Mexicanas

La legislación mexicana encargada de proteger los corales se encuentra entorno a la Constitución Mexicana. La cual regula la preservación de los recursos naturales; de la Constitución derivan distintos ordenamientos para la regulación y aprovechamiento del agua, los bosques, la fauna, cuestiones relativas a las costas, entre otros. Los artículos constitucionales relacionados con la protección del medio ambiente terrestre son el 3, 4, 25, 26, 27, 42, 48, 73, 115, y 133; y la legislación marítima se encuentra en diversas leyes que se enunciarán a continuación.

La Constitución en su artículo 3° identifica la educación como la base para que el pueblo comprenda lo que es la ecología; el artículo 4° garantiza un medio ambiente adecuado para el desarrollo y bienestar; el artículo 25° tiene como objetivo el desarrollo del país de manera sostenible, entendido al proceso de producción industrial acompañado del cuidado del medio ambiente; el artículo 26° dispone que el Plan Nacional de Desarrollo es el instrumento que permite identificar periódicamente los objetivos ecológicos de la nación aplicados de manera transversal; el artículo 27° identifica por una parte los recursos productivos y por la otra los recursos naturales como bienes de la nación y explica que ambos deben ser tomados en consideración para la conservación conjunta del medio ambiente.

Por otro lado el artículo 42° constitucional explícitamente reconoce a los arrecifes como parte del territorio nacional, bajo el concepto de aguas territoriales; mientras que el artículo 48° establece como responsabilidad única del gobierno mexicano el cuidado de los arrecifes y otros cuerpos marítimos; no obstante, según el artículo 73° es facultad del Congreso de la Unión el dictar leyes para la protección del medio ambiente. Asimismo, la Constitución establece que los estados y municipios tienen la facultad de crear y administrar reservas ecológicas con la finalidad de controlar el crecimiento urbano según el artículo 115°; y por último el artículo 133° vincula la política internacional con el Derecho Mexicano asumiendo los Tratados Internacionales con el mismo rango que la Constitución Mexicana según la pirámide de Kelsen.

En el año de 1982, el Gobierno de México publicó la Ley Federal de Protección al Ambiente con el objetivo de proteger, conservar, restaurar y mejorar el medio ambiente y los recursos naturales del territorio mexicano. La Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente fue publicada por el Diario Oficial el 28 de enero de 1988; esta ley evalúa el daño ambiental generado por el desarrollo económico, establece delitos ambientales, y crea un ordenamiento ecológico del territorio, las Áreas Naturales Protegidas (ANP), así como una planeación ecológica dentro del crecimiento económico del país.

La Ley General de Vida Silvestre publicada en el año 2000 regula los manglares y las especies en riesgo, además establece como responsabilidad de la Federación la regulación y aplicación de medidas pertinentes para la protección de las especies acuáticas, así como la realización de informes respecto a la dinámica poblacional, tendencias de factores de riesgos o amenaza a las especies y poblaciones en peligro de extinción que se encuentran bajo protección especial. Aunado a lo anterior, esta ley faculta a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) para instalar áreas de refugio con el objetivo de proteger las especies acuáticas y las especies prioritarias para la conservación. Por otro lado la Ley de Pesca y su Reglamento establece los límites de explotación para proteger de esta manera las especies que habitan en los arrecifes de coral.

Capítulo 2. Los arrecifes y las afectaciones causadas por el cambio climático

2.1 Importancia ecosistémica y climática de los arrecifes de coral

2.1.1 Qué son los arrecifes de coral y dónde se ubican

Los arrecifes de coral están formados en su mayoría por comunidades de corales, y es común encontrarlos en la zona geográfica que se ubica en los trópicos. Los arrecifes sirven como hábitat de pequeños peces y animales como: caracoles, erizos, mantarrayas, estrellas de mar, entre otros. Los corales tienen la característica biológica de poder reconstruirse o regenerarse por sí mismos, o de manera sexual por medio de huevos o esperma. La estructura ósea de los corales está conformada por pólipos de piedra caliza y las aleaciones de sustancias como son el dióxido de carbono, esqueletos de animales muertos y carbonato de calcio. En este sentido al conjunto de corales ubicados en un territorio determinado se les denomina arrecifes de coral, y su “relación simbiótica es producto de la evolución entre los corales y otros ecosistemas arrecifales por aproximadamente cincuenta millones de años” según datos de National Geographic³¹.

Los arrecifes de coral son ecosistemas poco comunes debido a su carácter sésil, no obstante, según Clive Wilkinson³²:

“El arrecife de coral es el ecosistema con mayor variedad de especies y además el más diverso del medio marino aunque ocupa menos del 10% de los fondos oceánicos. En él habitan miles de especies que representan, prácticamente, todos los grupos de organismo marinos existentes. Su diversidad es comparable a la de las selvas altas perennifolias, al igual que su complejidad y capacidad de dar soporte a la vida.”

³¹ National Geographic, *Coral*, Dirección URL: <https://www.nationalgeographic.es/animales/coral>, [consulta: 15 de agosto de 2019]

³² Clive Wilkinson, *Status of Coral Reefs of the World:2002*, [en línea],p.11, Australian Institute of Marine Science, Australia, Dirección URL: https://www.icriforum.org/sites/default/files/GCRMN_2002.pdf [consulta: 14 de agosto de 2019]

Es decir, el arrecife de coral es un ecosistema con gran complejidad biológica y ecológica, tiene una función primordial al ser el hábitat y refugio de peces pequeños y animales que solo pueden vivir en ecosistemas específicos por sus características biológicas, y “es probablemente, el sistema más productivo del mundo en términos de biomasa”.³³

Los arrecifes de coral se encuentran ubicados únicamente en las zonas del trópico de capricornio y el trópico de cáncer por sus aguas claras y poco profundas; la salinidad del hábitat debe oscilar entre 34-36 ppm. La temperatura oscila entre 18° a 30° Celsius y es determinante para su existencia y reproducción, debido a que determina el grado de calcificación y el aumento de este componente puede provocar blanqueamiento, asimismo otra característica del medio donde se desarrollan, es la baja cantidad de nutrientes en las corrientes marinas que fluyen (esta última puede ser modificable debido a la tolerancia de los corales). Spalding en su publicación *World Atlas Coral Reef*³⁴ estima una existencia de aproximadamente 284,300 km² de arrecifes de coral y más del 90% se ubica en la zona del Indo-Pacífico.

Existen diversos tipos de arrecifes coral como son; de barrera, bordeante o costero y atolón y cada uno cuenta con características físicas distintas, por lo cual es pertinente conocer las características de cada tipo de arrecife para poder identificar de manera clara los impactos del Cambio Climático en el SAM correspondiente al territorio mexicano.

³³ Terrence Hughes, *Community Structure and Diversity of Coral Reefs: The Role of History*, [en línea] No. 1, Vol. 70, Ecology, pp. 275-279, Dirección URL: https://www.jstor.org/stable/1938434?seq=1#page_scan_tab_contents [consulta: 14 de agosto de 2019]

³⁴ Mark Spalding, Corina Ravilious, Edmund Green, *World Atlas Coral Reef*, [en línea], 421 pp, UNEO/wcmc, University of California Press, Dirección URL: <http://fnad.org/Documentos/worldatlasofcora01spal.pdf>, [consulta: 19 de agosto de 2019].

Los tipos de arrecife de coral según Garza Pérez³⁵ en su obra respecto a los “*Habitats de los arrecifes vistos desde el espacio*” son los siguientes:

- Arrecife costero: Se encuentran en el borde de la costa, normalmente se ubican en aguas poco profundas y sirven para frenar el oleaje.
- Arrecife de barrera: Se ubican lejos de la costa y normalmente están separados por un canal de agua profunda, y cuentan con una gran extensión.
- Arrecife de atolón: Cuentan con las mismas características que el arrecife de barrera, sin embargo, tiene como particularidad su forma redonda (circunferencia del cráter) debido a que bordean los volcanes submarinos.
- Arrecife de parches: son pequeñas islas o comunidades separadas de la franja costera, en aguas poco profundas.

2.1.2 Importancia de los arrecifes de coral

La importancia de los sistemas de corales se puede identificar desde el punto de vista antropocéntrico, o desde el punto de vista ecológico. Desde la visión antropocéntrica los arrecifes funcionan para la humanidad como fuente de servicios, principalmente económicos, debido a la gran cantidad de turismo que se registra anualmente en los lugares con presencia de arrecifes para realizar en ellos actividades recreativas como es el buceo o snorkel, como explica Moeberg y Folke³⁶:

“Desde la perspectiva humana la importancia de un arrecife de coral se define a partir de los beneficios económicos, sociales y culturales para las comunidades, los diferentes sectores productivos y los

³⁵ Joaquin Garza, *Spatial prediction of coral reef habitats: Interacting ecology with spatial modeling and remote sensing*, [en línea], Marine Ecology Progress Series, Vol.269, pp.141-152, Dirección URL: https://www.researchgate.net/publication/250217972_Spatial_prediction_of_coral_reef_habitats_Interactive_ecology_with_spatial_modeling_and_remote_sensing/citation/download, [consulta: 20 de agosto de 2019].

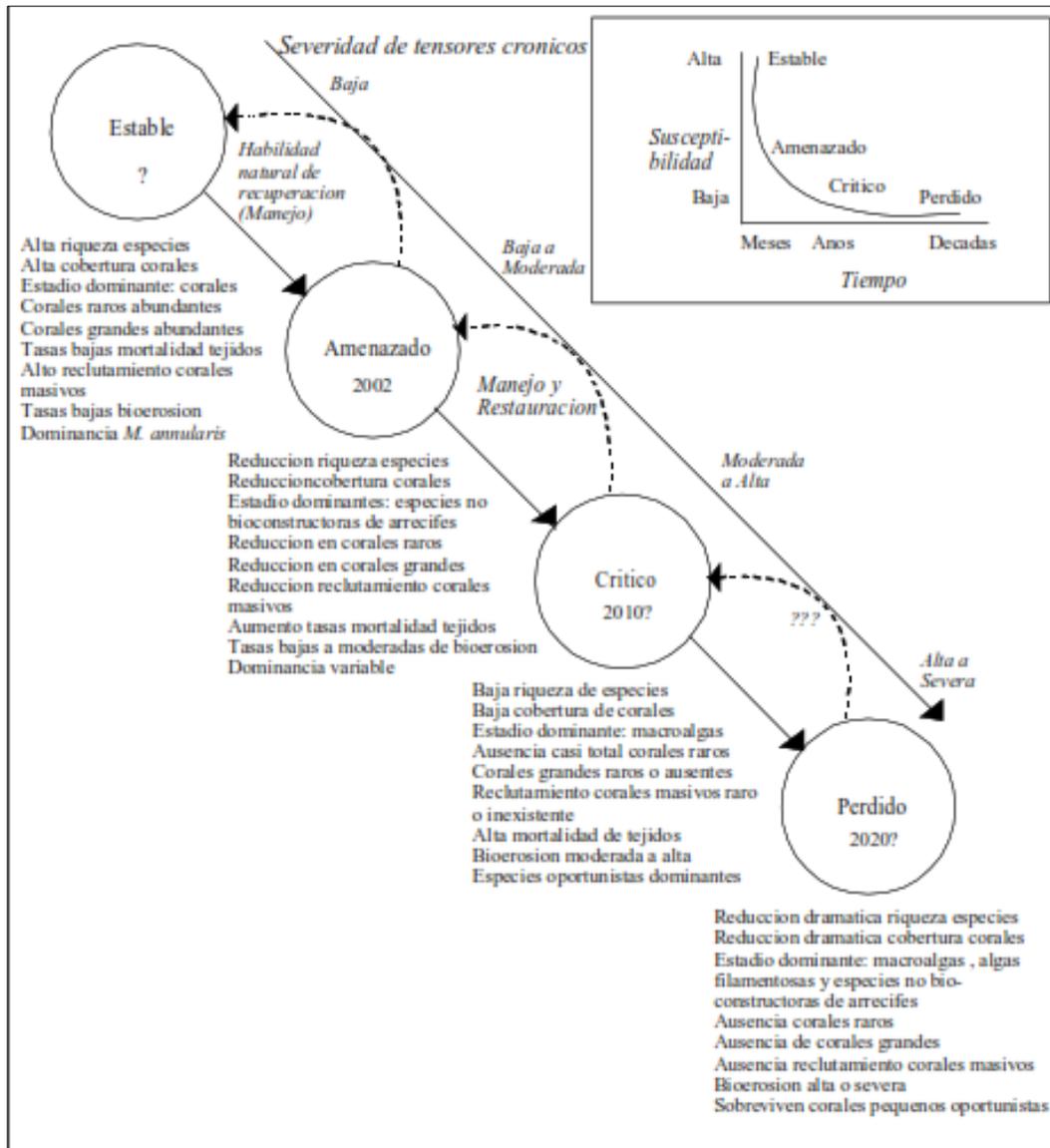
³⁶ Fredrik Moeberg, y Carl Folke, *Ecological goods and services of coral reef ecosystems*, [en línea], Ecological Economies, Vol. 29 (2), pp. 215-233, mayo 1999, Dirección URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800999000099>, [consulta: 20 de agosto de 2019]

gobiernos a nivel mundial. Debido al alto rango de servicios ecológicos que éstos aportan, constituyen una gran fuente de alimentación e importancia económica, con un gran potencial para un futuro desarrollo sustentable en varios países.”

De igual manera podemos observar la importancia ecosistémica de los arrecifes al enmarcarlos en su entorno natural, en el cual conviven con pastos marinos y bosques de manglar, los cuales se correlacionan para ser el hábitat e incubadora de pequeños animales del océano, es decir, en conjunto funcionan como refugio de peces, moluscos, tortugas, estrellas de mar, etc; desde su nacimiento, hasta su reproducción y muerte.

Debido a su grado de importancia existe una clasificación creada por Hernández Delgado en la cual identifica un modelo con predicciones teóricas del ‘estado de los arrecifes’ en cierto periodo de tiempo; basado en la variedad y cantidad de especies, en la cobertura de coral, presencia de corales raros, etc., que permiten identificar el estado o condición de un arrecife respecto a la clasificación: crítico, amenazado o estable. Como se puede observar en la *Figura 1*.

Figura 1. Predicciones teóricas de los estadios alternativos estables de los arrecifes de coral.



Fuente: Edwin Hernandez Delgado, *Análisis del estado de los recursos y la situación ambiental actual de la Reserva Natural del Canal Luis Peña, Culebra, PR*, [en línea], Informe sometido a la autoridad de Conservación y desarrollo de Culebra, 133pp., Puerto Rico, 2 de agosto de 2004, Dirección URL: https://www.academia.edu/258964/An%C3%A1lisis_del_estado_de_los_recursos_y_de_la_situaci%C3%B3n_ambiental_actual_de_la_Reserva_Natural_del_Canal_Luis_Pe%C3%B1a_Culebra_PR?auto=download, [consulta: 26 de junio de 2019].

Hernández Delgado explica las características que tienen los “Corales Estables”, y cómo la amenaza de diversos factores pone en riesgo la estabilidad y

riqueza ecosistémica de los arrecifes. Para poder observar estas amenazas, Hernández Delgado establece los cuatro estados (estable, amenazado, crítico y perdido); a través de estas etapas se puede estudiar desde el estado óptimo hacia el crítico la situación en la que se encuentran los arrecifes. Se puede observar en la primera fase -comportamiento estable- la pérdida de especies, cobertura, corales y bio-erosión. En la segunda etapa -cuando un arrecife se encuentra bajo amenaza- en esta etapa comienza la aparición de especies ajenas al ecosistema arrecifal, se da la proliferación de especies no bioconstructoras de arrecifes, se empieza reducir la franja arrecifal y aumenta la mortalidad de los tejidos de los arrecifes.

Por otro lado las últimas dos etapas tienen repercusiones violentas en los arrecifes; en la tercer etapa -condición crítica- se pierde de manera considerable la cobertura de coral, se visualizan macroalgas, la presencia de corales raros se vuelve casi nula, existe alta mortalidad de los tejidos, la bioerosión se vuelve de moderada a alta, y aparecen especies depredadoras que ponen en riesgo a los animales pequeños que habitan en las anemonas y entre las rocas. Por último, la cuarta etapa -se puede considerar perdido el arrecife- tiene como característica la pérdida radical de variedad de los corales y de las especies que en él habitan, se da una proliferación general de macroalgas y especies no bioconstructoras de arrecifes, los corales raros y grandes se vuelven escasos, la bioerosión empeora y se vuelve alta o severa, y sólo sobreviven pequeños corales.

Se debe recordar que los arrecifes son una especie de carácter sésil, lo cual los vuelve una especie con un alto grado de vulnerabilidad hacia los eventos externos. Existen eventos meteorológicos que afectan la estabilidad morfológica de los corales, sin embargo, estos eventos aumentan las amenazas hacia los arrecifes que se encuentran en constante contacto con los efectos negativos causados por las actividades humanas. Para ejemplificar algunas actividades humanas que tienen repercusiones negativas sobre los arrecifes se puede mencionar la agricultura, ya que esta genera escorrentía y exceso de minerales que llegan al océano y generan repercusiones negativas para los corales; otra acción que afecta es el mal manejo

de aguas residuales y desechos tóxicos que por error u omisión son vertidos en el océano.

La suma de las afectaciones hacia los arrecifes causadas por cuestiones humanas se pueden observar en la escala local o nacional, sin embargo, las repercusiones reales se estiman a nivel global, como se puede apreciar con los efectos del cambio climático. La pérdida de arrecifes a nivel global genera una serie de efectos en todo el mundo como es el aumento del grado de vulnerabilidad de la población en zonas costeras, aumento de eventos meteorológicos, así como el aumento de su magnitud.

Empero no se puede olvidar que la principal función de los arrecifes se encuentra en su papel como regulador de la temperatura del océano, y su capacidad de capturar el CO₂ que se encuentra en la superficie. Esta característica de los arrecifes es de vital importancia para el combate internacional de las contra los efectos del CCA, el cual representa una multiamenaza para los arrecifes.

La preocupación por los arrecifes ha venido en aumento desde que se registraron peligrosos sucesos como el primer blanqueamiento de coral regional registrado en el año 1983, a lo que prosiguió la reacción por parte de la comunidad científica a través del primer reporte del status de los corales realizado por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). Asimismo, se comenzó a discutir la necesidad de incluir los efectos ambientales en el planteamiento del desarrollo o crecimiento económico del sistema capitalista global. Sin embargo, para efectos de esta investigación la relevancia de los arrecifes emerge como factor importante en la realidad internacional con la creación de la Iniciativa Internacional para los Arrecifes de Coral (ICRI por sus siglas en inglés), ya que a partir de su creación se crea la agenda global de los arrecifes de coral para la formulación y toma de acciones.

2.1.3 Función climática/ climatológica

Los sistemas arrecifales sirven como protección y hábitat de especies marinas que habitan en la zona costera, de igual manera ayudan para la reducción de impacto del oleaje sobre la costa, huracanes y tsunamis. “Ya que su esqueleto absorbe hasta 95% del impacto de las olas generado por vientos fuertes”.³⁷ Por lo cual para que cumplan esta función es importante que los arrecifes se encuentren en buen estado físico.

Los arrecifes coralinos sanos o estables tienen la capacidad de disipar la fuerza del oleaje. “Los arrecifes absorben entre el 75% y 90% de la energía proveniente de las olas creadas por el viento debido a sus características físicas y ecológicas”³⁸. Es por lo anterior, que los arrecifes tienen la función de reducir los impactos en la costa provenientes de la fuerza del oleaje, y en caso de ser necesario proteger de tormentas, huracanes o la erosión costera.

2.2 Principales arrecifes de coral y sus beneficios

2.2.1 Principales arrecifes de coral en el mundo

Según el reporte *Status of Coral Reefs*³⁹ del año 2004 se estima que al menos 20% de los arrecifes de coral de mundo se han destruido de manera definitiva, sin tener la posibilidad de recuperación. Sin embargo, una de las cifras que llaman la atención es respecto a que se predice que el 24% de los arrecifes de coral del mundo se encuentran bajo un riesgo inminente por la presión que han ocasionado las actividades humanas sobre ellos, y al menos un 26% se encuentran al borde del colapso.

³⁷ Lauretta Burke, y otros, *Reefs at Risk Revisited*, [en línea], World Resources Institute, 2011, 114 pp., Washington, Dirección URL: https://pdf.wri.org/reefs_at_risk_revisited.pdf, [consulta: 3 de septiembre de 2019]

³⁸ UNEP-WCMC, *In the front line: Shoreline protection and other ecosystem services from mangroves and coral reefs*, Cambridge, UK, 2006, p.33.

³⁹ International Coral Reefs, *Status of Coral Reefs 2004*, [en línea], 2004, vol.1 p.7, Dirección URL: <https://www.icriforum.org/icri-documents/associated-publications/status-coral-reefs-world-2004> [consulta: 12 de noviembre de 2019]

La preocupación por los arrecifes se remonta a la década de los años 80, ya que en el año 1981 se presentó el Cuarto Simposio Internacional sobre Arrecifes de Coral. En el mismo sentido en el año 1982, los científicos Bernard Salvat y David Stoddart⁴⁰ mostraron su preocupación por el estado de los arrecifes durante la estación de verano, en la cual se encuentran bajo mayor estrés por ser temporada vacacional y estar en mayor contacto con el ser humano, sin embargo, las alertas presentadas por los científicos no fueron de interés internacional hasta el año 1992 con la Reunión de Río de Janeiro y el Séptimo Simposio Internacional sobre los Arrecifes de Coral.

Las cifras reflejan el nivel de amenaza a la que se encuentran los arrecifes de coral, lo cual es una señal de alerta, ya que su desgaste y daño permanente es una constante en el planeta, por lo cual, es importante distinguir las zonas arrecifales más importantes y el daño que en ellas existe para tomar las medidas internacionales pertinentes para su cuidado y conservación.

Según el reporte de resultados *Status of Coral Reef Report 2004*⁴¹, de la iniciativa *Global Coral Reef Monitoring Network*, las principales zonas arrecifales del mundo son quince, como se describen a continuación; y se pueden observar de igual manera en la *figura2*.

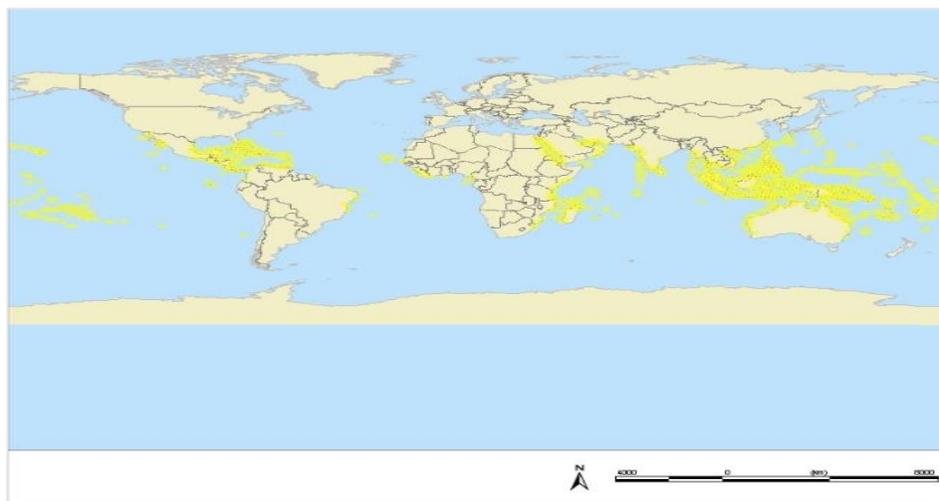
- Mar Rojo: Mar Rojo, Eritrea y el Golfo de Adén.
- Los Golfos: Golfo de Omán y Mar Árabe.
- Este de África: Kenia, Tanzania, Mozambique y Sur de África.
- Suroeste de las Islas de India: Madagascar, Mauritius, Comoros-Mayotte, Reunión y Seychelles o Islas Francesas.

⁴⁰ Isabelle M. Coté , John D. Reynolds, *Coral Reef Conservation*, [en línea], 568 pp., Cambridge University Press, 17 de agosto de 2016, Dirección URL: https://books.google.com.mx/books?id=a_g3vt8ncCAC&lpg=PA2&hl=es&pg=PA2#v=onepage&q&f=false [consulta 10 de septiembre de 2019]

⁴¹ International Coral Reefs, *Status of Coral Reefs 2004*, [en línea], 2004, vol.1 p.7, Dirección URL: <https://www.icriforum.org/icri-documents/associated-publications/status-coral-reefs-world-2004> [consulta: 12 de noviembre de 2019]

- Sureste de Asia: Bangladesh, Chagos, India, Islas Maldivas, Sri Lanka, Indonesia y Tailandia.
- Norte y Este de Asia: Israel, China, Hong Kong, Taiwán, Corea del Sur y Japón.
- Australia: Australia y Papua Nueva Guinea.
- Suroeste de las Islas del Pacífico: Fiji, Nueva Caledonia, Samoa, Islas Solomon, Tuvalu y Vanuatu.
- Islas Polinesias: Islas Cook, Polinesia Francesa, Niue, Kiribati, Clipperton, Isla de Phoenix, Tonga, Tokelau y Wallis y Futuna.
- Islas Micronesias: Samoa Americana y las Islas Micronesias.
- Islas Remotas de Estados Unidos y Hawaii: Hawaii, Baker, Howland, Palmyra, Kingman, Jarvis, Johnaston y Wake.
- Caribe de Estados Unidos y Golfo de México: Florida, Flower Garden Banks, Islas Vírgenes de Estados Unidos, Puerto Rico y Navassa.
- Mesoamérica: Nicaragua, El Salvador, Belice y México.
- Antillas del Este: Islas Indias Francesas del Este, Antillas Holandesas, Anguila, Antigua, Granada, y Trinidad y Tobago.
- Sudamérica: Brasil, Colombia, Costa Rica, Panamá y Venezuela.

Figura 2: Arrecifes vistos desde el espacio



Fuente: Imagen recuperada de los arrecifes vistos desde el espacio de los años 2018-2019, reef base, Dirección URL: <http://reefgis/reefbase.org>, [consulta 28 de agosto de 2019]

2.2.2 Perdida de cobertura arrecifal en el mundo

Si bien existen 15 zonas principales con cobertura arrecifal, es importante destacar el porcentaje de los arrecifes que se encuentran destruidos, en estado crítico, o en riesgo. Las causas de esta pérdida pueden ser naturales o antropogénicas; mucha de esta disminución responde al aumento de estrés por las actividades humanas, generando aumento de la temperatura, aumento de los huracanes, aumento del nivel del mar, etc. Por lo cual, la *tabla 2* nos permite identificar los principales arrecifes que han sufrido daños.

Los arrecifes con mayor cobertura en kilómetros cuadrados (km²) son los del Mar Rojo con 91,700km², Los Golfos con 62,800 km² y el Este de África con 17,060 km². Sin embargo, los arrecifes donde se puede identificar mayor degradación se encuentran en la región de Mesoamérica, las Antillas del Este y las Islas Micronesias. Esto debido al incremento de olas de blanqueamiento de coral, aumento de fenómenos naturales como huracanes o tormentas tropicales que golpean las costas con mayor intensidad y frecuencia consecuencia del aumento de la temperatura de los océanos de la inversión de las corrientes de agua fría, endurecimiento de la fuerza del fenómeno “El Niño”.

Como se puede observar en la *tabla 2* los arrecifes con mayor porcentaje de corales en estado crítico tienen asimismo un alto porcentaje de arrecifes bajo amenaza, lo cual se debe a que se ha perdido un alto porcentaje de coral.

Los arrecifes con mayores pérdidas son los ubicados en el Mar Rojo, el Caribe y la India, en donde la calidad del agua del mar está en constante cambio, debido a contaminación o aumento de temperatura debido a su ubicación geográfica. Sin embargo llama la atención que justo en la zona de los trópicos se observa mayor cantidad de corales en estado crítico, lo cual en caso de seguir la tendencia del calentamiento del océano podría incrementar la tasa de mortalidad del sistema.

Tabla 2. Comparación de daños en los principales arrecifes del año 2004 al 2008

Comparación de daños en los principales arrecifes entre el 2004 -2008				
Región	Arrecifes de Coral (km2)	Arrecifes en Estado Crítico (%)	Arrecifes Bajo Amenaza (%)	Arrecifes con Poca o Nula Amenaza (%)
Mar Rojo	91,700	8	4	-10
Los Golfos	62,800	-1	5	-3
Este de África	27,060	1	5	-4
Suroeste de las Islas de India	19,210	-10	0	-10
Sur de Asia	17,640	-2	0	2
Sureste de Asia	12,700	-4	-10	15
Norte y Este de Asia	9,800	-4	0	11
Australia	6,800	1	-3	5
Suroeste de las Islas del Pacífico	6,733	0	-2	3
Islas Polinesias	5,400	1	-6	11
Islas Micronesias	5,270	12	-8	-18
Islas Remotas de E.E.U.U y Hawái	5,120	-4	-4	6
Caribe de E.E.U.U. y el Golfo de México	4,630	0	-3	7
Norte del Caribe	3,800	0	3	2
Mesoamérica	3,040	25	-6	-14
Antillas del Este	1,920	36	-5	-30
Sudamérica	1,180	-2	-3	7

Fuente: Elaboración propia con datos del reporte *Status of Coral Reefs 2004* y el reporte *Status of Coral Reefs 2008*.

Si bien la mayor parte de los arrecifes del mundo se encuentra en la zona del Indo-Pacífico, el SAM constituye la región de arrecife de coral más larga del océano Atlántico⁴². No obstante su valor proviene de su potencial biológico y ecosistémico, ya que en él habitan manatíes, tortugas marinas y el tiburón ballena, todas estas especies bajo amenaza de peligro de extinción. El SAM abarca desde la Península de Yucatán en México, pasa por Belice, Guatemala y acaba en las Islas Bay en Honduras, extensión que se encuentra acompañada de manglares, pastos marinos y arrecifes de coral; de las cuales catorce humedales se encuentran en la *Lista de Humedales de Importancia Internacional o Lista Ramsar*.

2.3 Valor económico y social de los arrecifes

Para evaluar el valor económico de los arrecifes se debe de considerar que una de sus funciones es proteger las costas de los impactos de los huracanes o tormentas que acechan las costas, así como de la erosión costera; por lo cual se puede decir que los arrecifes funcionan como barrera de protección para las especies animales y seres humanos que viven por un lado en humedales y por otro en el territorio contiguo al mar. Lo cual, implica menor daño en infraestructura como son escuelas, hospitales, casas, caminos, carreteras, puentes, telecomunicaciones, etc. Debido a la pérdida de los arrecifes. En este sentido los arrecifes de coral protegen vidas, bienes y servicios, “al absorber el 97% de la energía de una ola mientras amortigua las costas de las corriente, olas y tormentas”⁴³.

El valor económico de los arrecifes se puede discutir según el autor y los indicadores que utilice cada uno, sin embargo, según el economista Cesar Herman “se estima que el valor de ‘no uso’ que los arrecifes de coral aportan a nivel mundial

⁴² Rescate del Sistema Arrecifal Mesoamericano, *tema prioritario en la COP13*, [en línea], Centro Mexicano de Derecho Ambiental, 8 de diciembre de 2016, Dirección URL: <https://www.cemda.org.mx/rescate-del-sistema-arrecifal-mesoamericano-tema-prioritario-en-la-cop13/> [consulta: 8 de agosto de 2019]

⁴³ NOAA, Coral Reef Conservation Program, *El valor que proporcionan los arrecifes de coral contra los peligros*, [en línea], mayo 2019, Dirección URL: <https://coralreef.noaa.gov/aboutcrp/news/featuredstories/may19/welcome.html> [consulta: 20 de septiembre de 2019]

junto con el valor de investigación y conservación es de US\$5.5 billones de dólares anuales”⁴⁴. Sin embargo esta estimación se realiza únicamente contemplando el beneficio que aporta su biodiversidad.

Por otro lado John Platt (periodista, especialista en ciencias del mar) entiende a los arrecifes desde un punto de vista macroeconómico al argumentar que “...el valor económico de los arrecifes se ha calculado en US\$172 billones de dólares por año...”⁴⁵, es decir, si los gobiernos y la población concientizaran en conjunto al valor de los arrecifes, la degradación de ellos sería menor debido a que existirían políticas públicas eficientes para su cuidado y restauración, bajo la tutela del Estado y la sociedad civil, ya que en la actualidad las políticas no son veladas por ningún ente para hacerlas cumplir de manera eficaz.

Es importante socializar la información para el cuidado de los arrecifes sobre todo con la ciudadanía, ya que ésta obtiene mayor beneficio, y por lo cual debe comprender la importancia del cuidado y conservación de los arrecifes, ya que la disminución y/o pérdida de estructura coralina cuesta anualmente una cantidad de dinero a la sociedad internacional mayor a US\$170 billones de dólares según John Platt. En este sentido, el costo es asumido no solo a la población local, ya que como hemos visto en nuestro análisis las consecuencias son globales.

Asimismo si analizamos los costos económicos de manera aislada, podemos remarcar el carácter imperante de la protección de los arrecifes debido a que según

⁴⁴ Cesar, H., L. Burke, y L. Pet Soedes, *The Economics Worldwide Coral Reef Degradation*, Arnhem, [en línea] The Netherlands: Cesar Environmental Economics Consulting, 2003, Dirección URL: https://www.wwf.or.jp/activities/lib/pdf_marine/coral-reef/cesardegradationreport100203.pdf [consulta: 20 de septiembre de 2019]

⁴⁵ John Platt, *How much are coral ecosystems worth? Try \$172 billion- A year*, [en línea], the Scientific American, 22 de octubre de 2009, Dirección URL: <https://blogs.scientificamerican.com/observations/how-much-are-coral-ecosystems-worth-try-172-billion-a-year/>. [consulta: 11 de agosto de 2019].

datos del *Marine Ecosystem Service Partnership*⁴⁶, al menos en Florida el costo anual de restauración es de \$5,500,000 a \$4,100,000,000 dólares.

Es importante destacar que los arrecifes también funcionan como subsistencia a través de la explotación de sus recursos, como es la pesca. es una actividad económica con la que se sostienen los pobladores que costas. Es decir, los arrecifes tienen el valor agregado de generar empleo y productos para su exportación debido a que “los arrecifes de coral sirven medio para alimentar a la población, se estima que de los arrecifes se obtiene 10% de la producción global marina de alimentos provenientes del mar”.⁴⁷

Respecto a los beneficios que plantean los arrecifes para el turismo identificar los miles de personas que se trasladan alrededor del mundo para observar y realizar actividades recreativas en los arrecifes, generando así la necesidad de una estructura hotelera sólida para hospedar a los visitantes “...la mitad del producto interno bruto de los países caribeños proviene del turismo atraído por los arrecifes de coral. Sólo por el buceo en los arrecifes los beneficios netos ascienden a USD \$2 mil millones...”⁴⁸

No obstante, el turismo también representa una amenaza constante para los arrecifes, consecuencia de su interacción con el ser humano, debido a que la mala regulación de estas interacciones provoca el aumento de la temperatura de los océanos y blanqueamiento de los arrecifes debido al uso de protectores solares o bloqueadores que afectan el tejido de los arrecifes.

⁴⁶ MEPS, *Economics of Coral Reef Restoration*, [en línea], Arnhem, The Netherlands: Cesar Environmental Economics Consulting. 2003, Dirección URL: <http://map.marineecosystemservices.org/node/12569> [consulta: 23 de septiembre de 2019]

⁴⁷ Administración Oceánica y Atmosférica Nacional (NOAA), *Diving Deeper: Episode 20*, [en línea], Departamento de Comercio, U.S. Gobierno de los E.E.U.U., 24/02/10, Dirección URL: <http://oceanservice.noaa.gov/podcast/fab10/dd022410transcript.html> [consulta: 6 de noviembre de 2019]

⁴⁸ Bryant D., *Arrecifes en Riesgo: Un indicador Basado en Mapas de las Amenazas a los Arrecifes de Coral*, [en línea], Instituto de Recursos Mundiales, 1998, p.10, Dirección URL: pdf.wri.org/reefs.pdf [consulta: 6 de noviembre de 2019].

Este daño antropogénico incrementa las afectaciones que plantean los efectos del CCA.

En este sentido, la explotación recreativa de los arrecifes es un factor determinante y directamente proporcional al aumento de oferta hotelera en la zona costera contigua. El turismo mal regulado genera grandes afectaciones ecosistémicas, y es importante destacar que según datos de la Organización Mundial del Turismo en Reporte Anual de año 2017⁴⁹ el turismo ha aumentado alrededor de 4% anual durante los últimos ocho años, siendo las zonas costeras cercanas a los trópicos las que presentan mayor afluencia.

Es decir, según *The Economics Worldwide Coral Reef Degradation*:

“...los proyectos de desarrollo costero sin planeación no solamente dañan a los arrecifes de coral, sino también a las economías locales que se basan en el turismo (el turismo costero representa el 85% a nivel mundial), comprometiendo la sostenibilidad de los arrecifes de coral, sus empresas turísticas y las comunidades que sostiene...”⁵⁰

Lo anterior, vuelve una labor complicada el mantener un desarrollo sostenible, si se toma en cuenta la cantidad de servicios que se requieren en las zonas hoteleras, los cuales genera a su vez mayor contaminación para los océanos, y en consecuencia mayor vulnerabilidad y riesgo para los arrecifes.

2.4 Efectos del Cambio Climático en los arrecifes de coral

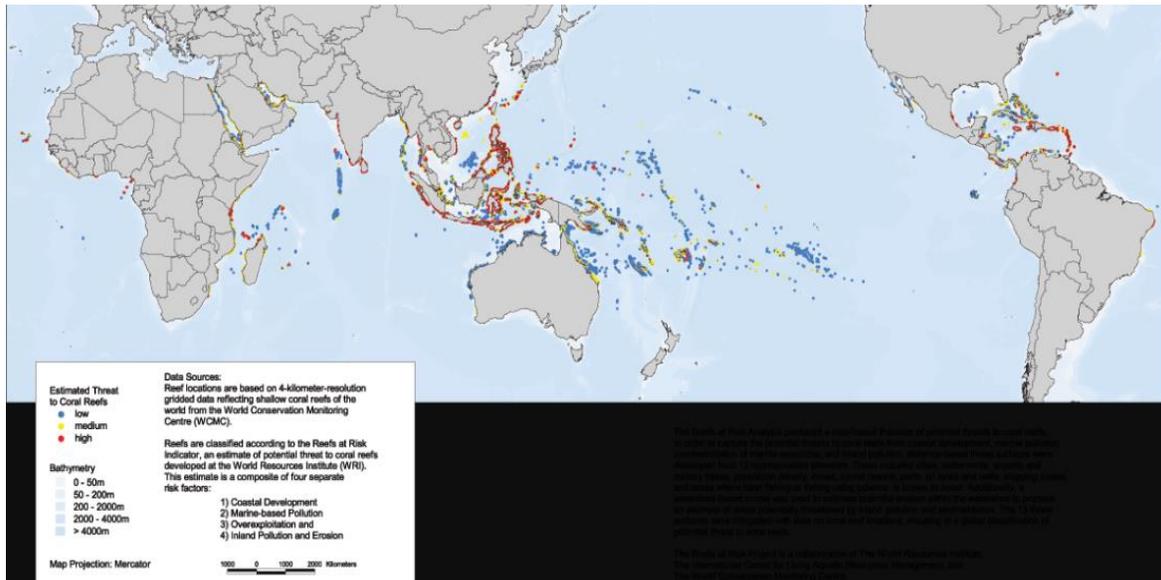
Los arrecifes de coral han sufrido grandes pérdidas debido al CC, ha aumentado el nivel del mar, la intensidad y frecuencia de los huracanes, han aparecido enfermedades de coral que dañan el tejido vivo de los arrecifes. Todas estas

⁴⁹ Organización Mundial del Turismo, *Reporte Anual 2017*, [en línea], Dirección URL: <https://www.unwto.org/es/highlight/informe-anual-2017-de-la-organizacion-mundial-del-turismo> [consulta: 10 de noviembre de 2019].

⁵⁰ MEPS, *Economics of Coral Reef Restoration*, [en línea], Arnhem, The Netherlands: Cesar Environmental Economics Consulting. 2003, Dirección URL: <http://map.marineecosystemservices.org/node/12569> [consulta: 23 de septiembre de 2019]

amenazas en su conjunto son mortales para los arrecifes como se muestra la Figura 3 de arrecifes amenazados a nivel mundial.

Figura 3. Arrecifes amenazados a nivel mundial



Fuente: Arrecifes y cambio climático, Disponible en: https://wriorg.s3.amazonaws.com/s3fs-public/r_wld150.png [consulta: 11 de noviembre de 2019]

La imagen permite identificar que los arrecifes más amenazados se encuentran en la zona del mar Indo- Pacífico, el Caribe y la zona contigua a Australia, lo cual tras analizar la localización de los principales arrecifes del mundo en el apartado anterior, podemos corroborar que la mayor parte de los arrecifes del mundo se encuentra bajo amenaza, ya sea alta o baja.

2.4.1 Blanqueamiento de coral

Según Brown⁵¹, “el blanqueamiento en el coral es una respuesta fisiológica genética de los arrecifes de coral hacia las perturbaciones, y sucede ya sea por la pérdida de zooxantelas y/o por la disminución en la concentración de sus pigmentos.” Es decir los eventos de blanqueamiento suceden cuando el océano se calienta y en

⁵¹ Barbara Brown, “Disturbances to reefs in recent times”, New York, EUA, Life and Death of coral reefs, Chapman & Hall, pp: 191-222.

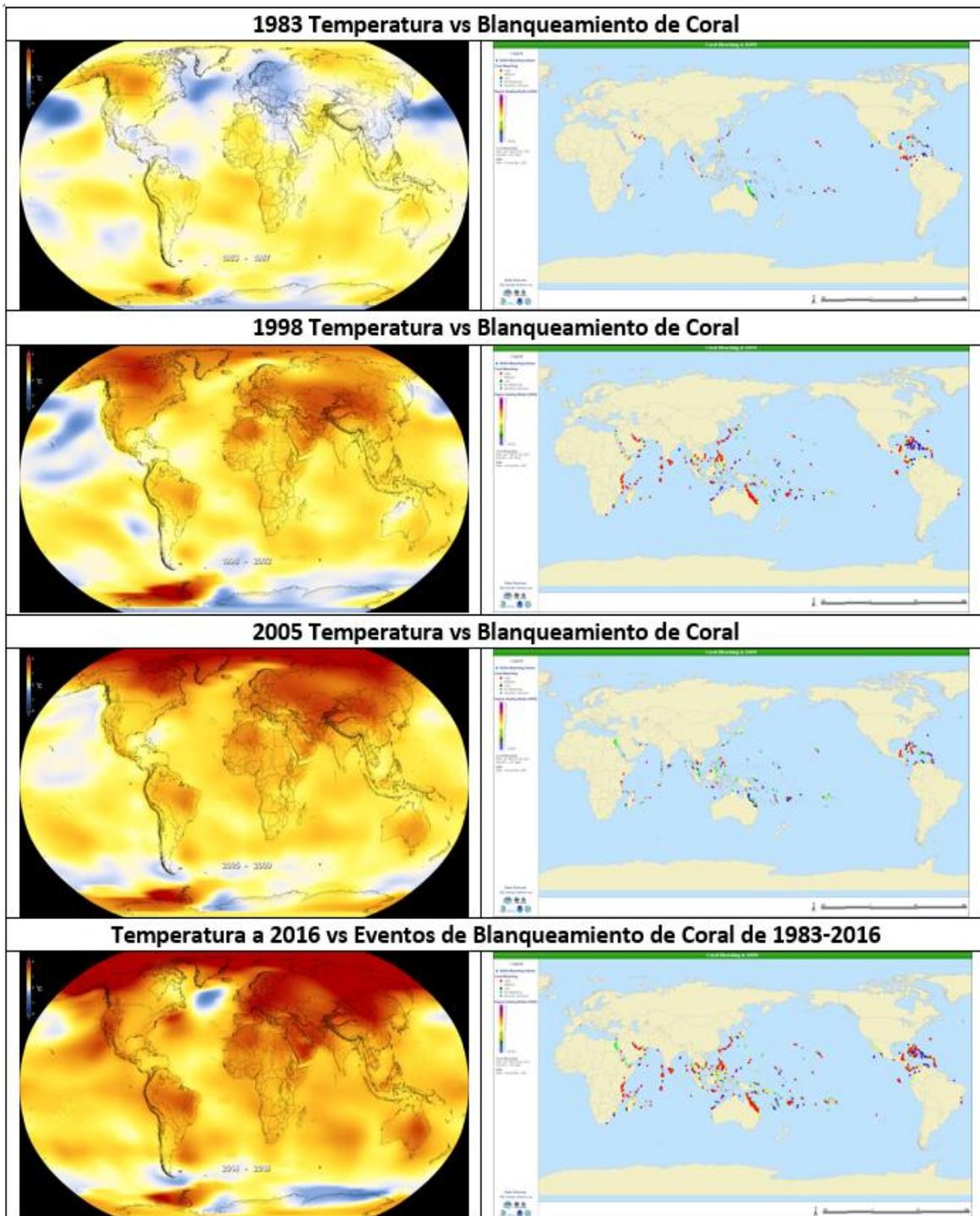
consecuencia los arrecifes se encuentran en estrés térmico. El CCA genera estrés térmico sobre los arrecifes debido a que el rol de los arrecifes es controlar la temperatura del agua, sin embargo, cuando la temperatura asciende más de lo que los arrecifes tienen la capacidad de tolerar, suceden los eventos de blanqueamiento.

El blanqueamiento genera la pérdida de pigmentos en los arrecifes, generando entre otras, la disminución o pérdida de su capacidad receptora de carbono; lo cual conlleva a la disminución de su crecimiento, ya que estos pigmentos (zooxantelas) son los encargados de transportar la mayor parte del carbono, y como se describió anteriormente, la composición morfológica de los arrecifes se da a partir de sedimentos de carbono.

A través del tiempo se pueden identificar eventos de blanqueamiento masivo, siendo los eventos más agresivos los que ocurren con el fenómeno de “El Niño”, cuyas afectaciones se dan primordialmente en el océano Pacífico. En 1983 se dio el primer evento de blanqueamiento regional reportado y en 1998 el más largo al igual durante el evento de “El Niño”, sin embargo, el daño causado los podemos medir al saber si el daño es reparable o mortal, es decir, si se puede o no recuperarse el coral a su estado previo al evento. En este sentido el blanqueamiento crea pérdidas ecosistémicas considerables y en consecuencia pérdidas económicas y sociales a través del tiempo.

El problema que plantea “El Niño” es que con el aumento de la temperatura debido al CC como se puede observar en la *Figura 4*. Los arrecifes de coral están perdiendo la simbiosis con otras especies marinas, perdiendo así su resiliencia ante la amenaza constante que representa el aumento de la temperatura (consecuencia de los efectos del CC), y como se puede observar en las simulaciones térmicas de la imagen, el aumento de la temperatura es creciente.

Figura 4. Temperatura vs Eventos de Blanqueamiento de coral a nivel mundial



Fuente: Elaboración propia con imágenes recuperadas de Reef Base y NASA, Disponible en: https://climate.nasa.gov/climate_resources/139/graphic-global-warming-from-1880-to-2018/, http://www.reefbase.org/global_database/default.aspx?section=t, [consulta: 13 de noviembre de 2019]

2.4.2 Enfermedades de coral

Las enfermedades son fenómenos que en los últimos años han afectado a los arrecifes de coral, en la actualidad no existe un consenso sobre su creación o primera aparición, sin embargo, es un efecto que los investigadores han estudiado en los últimos años debido al gran impacto que han tenido las enfermedades sobre los arrecifes.

Las enfermedades que atacan a los corales “han ido aumentando en intensidad y frecuencia desde hace 30 años, es la incidencia de enfermedades coralinas; teniendo como consecuencia pérdida en el tejido vivo coralino, pudiendo ocasionar cambios significativos en la estructura de la comunidad, en la diversidad de especies y de otros organismos asociados”⁵², estas enfermedades se pueden dividir en patógenas y de blanqueamiento. Dentro de las enfermedades patógenas podemos encontrar: la enfermedad de parches blancos, plaga blanca, enfermedad de banda blanca, puntos ulcerativos y síndrome blanco. Por otro lado las enfermedades causadas por blanqueamiento son: blanqueamiento pálido y blanqueamiento parcial.

Los corales por sus características fisiológicas y carácter sésil, son una especie extremadamente vulnerable ante los efectos del CCA, no pueden sobrevivir en temperaturas mayores a 30° Celsius, según la latitud y otros factores de los arrecifes; sin embargo, los eventos de blanqueamiento ocurren con el aumento mínimo de 1° Celsius de la temperatura del mar de la latitud donde se ubique el arrecife.

Lo anterior, representa un aumento en la mortalidad de los arrecifes en consecuencia al aumento de la temperatura que ha ocasionado en los últimos años el CCA; y como resultado la aceleración de la propagación de las enfermedades que afectan directamente a los arrecifes. Es por “la incidencia de lesiones y al

⁵² Beeden R., B.L. Willis, L.J. Raymundo, C.A. Page, y E. Weil, *Underwater cards for assessing coral health on Indo- pacific reefs*, [en línea], 2008, Dirección URL: <http://www.gefcoral.org> [consulta 28 de octubre de 2019]

estado de condición que han presentado los corales, los científicos y tomadores de decisiones han declarado los arrecifes en estado de crisis a nivel mundial”.^{53,54}

2.4.3 Intensidad y frecuencia de huracanes

Los huracanes son uno de los fenómenos meteorológicos que representan mayor amenaza para los arrecifes, y las consecuencias pueden ser devastadoras; ya que generan periodos de intensa lluvia, vientos fuertes, marejada (agua combinada con la marea que choca contra la costa), deslizamiento e inundaciones. Los huracanes se distinguen por trasladar aires calientes hacia zonas frías; y se dividen en categorías en función de la velocidad de los vientos según la escala Saffir-Simpson, sin embargo, el nivel de devastación de los huracanes está relacionado con los fenómenos meteorológicos con los que interactúen en su ruta, y el grado de vulnerabilidad del territorio en el que ocurra.

Para los arrecifes este fenómeno tiene repercusiones mayores que para la mayoría de la fauna, ya que por carácter sésil no pueden protegerse de los efectos adversos, es decir, no pueden trasladarse a zonas seguras, por lo cual las pérdidas de coral se vuelven significativas durante la temporada de huracanes. Por lo anterior, los huracanes representan una amenaza creciente para los arrecifes debido a que el cambio climático ha aumentado el número y la intensidad de los huracanes y fenómenos meteorológicos, impidiendo su adaptación a la variabilidad climática de los últimos años.

Para poder dimensionar el aumento del número de huracanes y su intensidad, en esta investigación se ha realizado una muestra representativa de dos de las principales Cuencas generadoras de huracanes, como son la ‘Cuenca del

⁵³ Wilkinson CR (Ed.), “*Status of Coral Reefs of the World: 1998*”, Australian Institute Marine Science, Australia, 1998, 184 págs.

Wilkinson CR (Ed.), “*Status of Coral Reefs of the World: 2000*”, Australian Institute Marine Science, Australia, 2000, 363 pgs.

⁵⁴ Veron, J.E., O. Hoegh-Guldberg, T.M. Lenton, J-M- Lough, D.O. Obura, P. Pearce-Kelly, C.R. Sheppard, M. Spalding, M.G. Stafford- Smoth y A.D. Rogers (2009). “*The coral reef crisis: The critical importance of <350 ppm CO2*”, Marina Pollution Bulletin 58, 2009, ELSEVIER, pp. 1428-1436.

Atlántico⁵⁵ y 'la del Pacífico'⁵⁶. Dichas Cuencas se encuentran en latitudes donde existe gran presencia de corales y los huracanes son recurrentes, por lo cual, el estudio de ellas es una muestra representativa de la realidad meteorológica global como se observa en la Tabla 3.

Tabla 3: Huracanes en la Cuenca del Atlántico y del Pacífico de 1983 a 2016

TEMPORADAS DE HURACANES EN LA CUENCA DEL ATLÁNTICO Y DEL PACÍFICO DE 1983-2016				
Periodo	Depresiones	Tormentas	Huracanes	Huracanes mayores a categoría 3
1983-1993	365	280	161	79
1994-2005	383	308	165	77
2006-2016	390	348	195	84

Fuente: Elaboración propia con datos del *National Oceanic and Atmospheric Administration*, Dirección URL: <https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/index.php?season=2012&basin=atl> [Consulta: 28 de octubre de 2019].

Los huracanes se ubican en temporadas anuales que dependen del ciclo de cada Cuenca; como se puede observar en la *Tabla 3*, la cual indica como los huracanes no son hechos aislados, ya que dentro de las temporadas ocurren tormentas y depresiones que de igual manera tienen impacto en las costas. Las temporadas de huracanes se encuentran divididas en periodos de entre 10 y 11 años, siendo la década con mayor actividad la que comprende del año 2006 al año 2016.

La década de 2006-2016 presentó un aumento respecto a la década de 1983-1993 de 25 depresiones, 68 tormentas y 34 huracanes; de los cuales hubo un aumento de 6 huracanes de categoría mayor a 3. Esta década también presentó un aumento de los fenómenos de "El Niño", presentándose 4 episodios de los cuales

⁵⁵ La Cuenca del Atlántico abarca el océano Atlántico, el Golfo de México y el Mar Caribe

⁵⁶ La Cuenca del Pacífico cubre el suroeste de Latinoamérica, Centroamérica, México y parte de Estados Unidos.

el de 2014 y el de 2015 representaron un aumento de 20 huracanes cada uno respecto a los anteriores periodos.

Al respecto, es importante destacar que existió un mayor incremento durante la década de 2006-2016, en la cual las tormentas y huracanes duplicaron su cifra. Este análisis representa un claro seguimiento de los fenómenos naturales, debido a que refleja el nivel de prevención de riesgos que debe tener la sociedad internacional para poder mitigar o adaptarse a la variabilidad climática y meteorológica de los años futuros o actuales, acciones que deben ser tomadas de manera inmediata al conocerse los alcances respecto al aumento de los hechos meteorológicos mencionados.

Si bien, podemos observar un aumento del número e intensidad de los huracanes, debemos entender que las consecuencias ecológicas que la pérdida de coral durante estos eventos es bastante alta debido a que el océano pierde su capacidad de absorción del CO² y de igual manera disminuye su capacidad reguladora de temperatura. Debido a que los corales son uno de los instrumentos del océano que permiten controlar estas dos variables, provocando así que el calentamiento global aumente los riesgos y las amenazas que éste conlleva.

2.4.4 Incremento del nivel del mar

El aumento en la temperatura superficial del océano como consecuencia del cambio climático global, es reconocido como “uno de los impactos de mayor influencia sobre los arrecifes de coral”.⁵⁷

Se ha mencionado que, la elevación de la temperatura modificará “la distribución de muchas especies, aumentando o disminuyendo su ámbito geográfico latitudinal”⁵⁸ y que puede haber “cambios masivos en el tipo de zooxantela que se

⁵⁷ Peter Glynn, “*Coral reef bleaching: facts, hypotheses and implications*”, núm. 2, Global Change, 1996, pp.495-509.

⁵⁸ William Precht y Richard Aronson, “*Climate flickers and range shifts of reef corals*”, núm. 6, 2004, *Frontiers of Ecology and the Environment*, pp. 331-350.

presenta en los océanos”⁵⁹, por lo que es necesario distinguir cuál ha sido el aumento del nivel del mar en los últimos años, como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Estimaciones de las tasas del nivel del mar para diferentes períodos de tiempo.

Periodo	Estimado (+-mm/año)	Incertidumbre (+ mm/año)
1993-2017	3.1	0.4
1901-1990	1.1 a 1.9	0.3
1993-2010	2.8 a 3.1	0.7 a 1.4

Fuente: Asociación Nacional de Aeronáutica y del Espacio, *Undersatnding Sea Level*, Dirección URL: <https://sealevel.nasa.gov/understanding-sea-level/by-the-numbers> [Consulta: 30 de octubre de 2019].

Según la Tabla 4 obtenida de datos de la NASA, se estima ha existido un aumento del nivel del mar de 3.1 milímetros (mm) por año desde 1993 al 2017 con una variación incierta de 0.4 mm por año. Estos datos permiten comprender el por qué el aumento del nivel del mar es un escenario crítico, ya que afectaría la densidad del agua, la luz que penetra según la profundidad del mar, la pérdida del oxígeno proveniente del mar y a los ecosistemas costeros (manglares, pasto marinos y corales). Como demostró la Comisión Oceanográfica Intergubernamental de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, “en el año 2008 existió una disminución en los niveles de oxígeno de aproximadamente 2%.”⁶⁰ En su

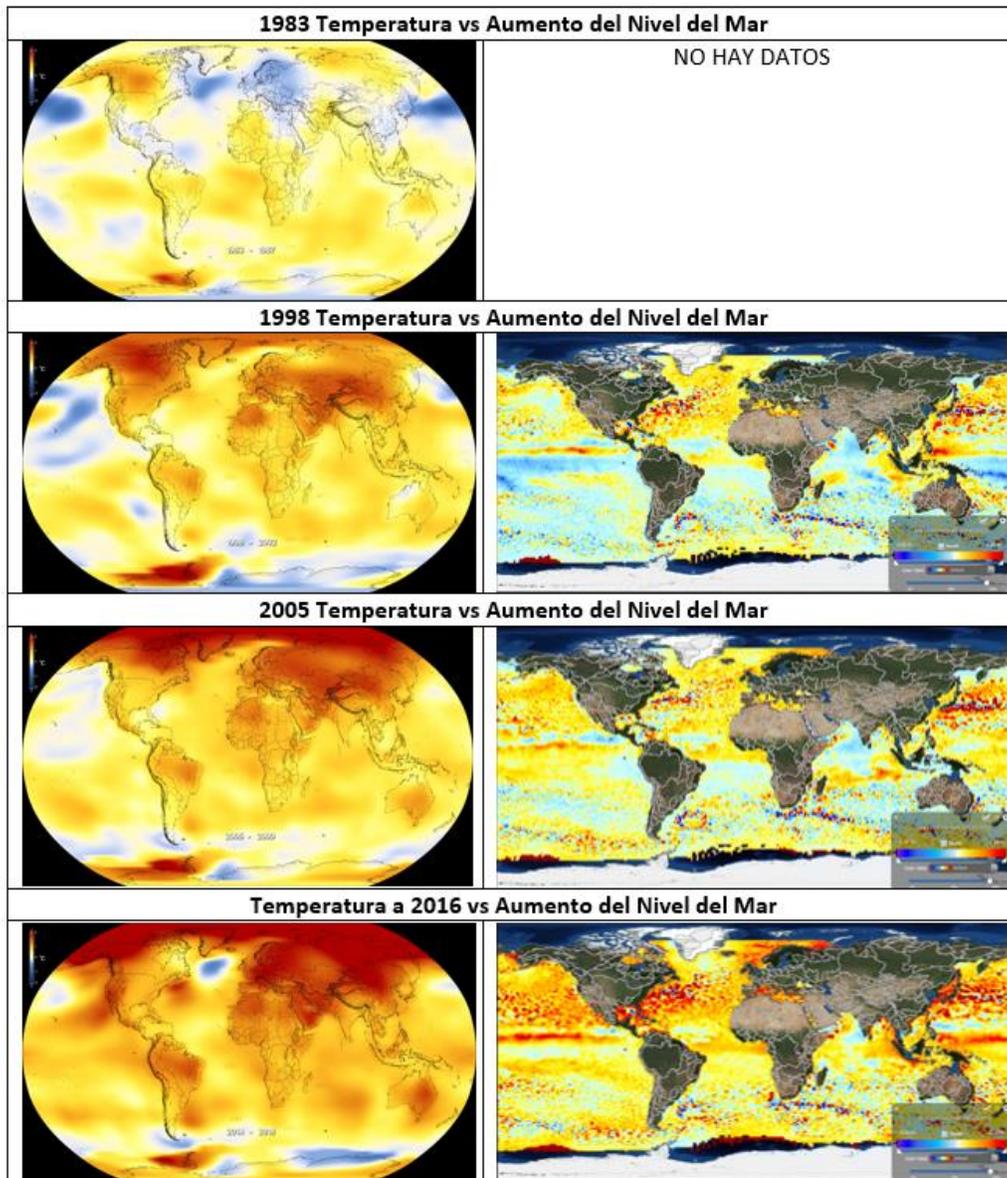
⁵⁹ Kate Baker, “*Flexibility and specificity in coral-algal symbiosis: diversity, ecology and biogeography of Symbiodinium*”, Vol. 34, Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics, pp. 661-689.

⁶⁰ Organización Meteorológica Mundial, *El estado del clima en 2018 pone de manifiesto un aumento de los efectos del cambio climático*, [en línea], <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/el-estado-del-clima-en-2018-pone-de-manifiesto-un-aumento-de-los-efectos>, [consulta: 12 de junio de 2019].

conjunto estos efectos del cambio climático y aumento del nivel de mar provocan el desplazamiento de poblaciones, generando migraciones regionales hacia lugares altos.

El aumento de la temperatura es un efecto del CCA estrechamente relacionado con el aumento del nivel del mar como se puede observar en la Figura 5. La cual demuestra que el aumento del nivel del mar coincide con las latitudes que registran un aumento de la temperatura. Estos dos efectos son amenazas directas para los arrecifes debido que al mismo tiempo que aumenta la temperatura del nivel del mar, se daña el tejido externo de los arrecifes y aumenta el nivel del mar; provocando cambios en la densidad del agua, nivel de filtración de luz en el océano y cambios en la fauna.

Figura5. Temperatura vs Aumento del Nivel del Mar de 1983 a 2016



Fuente: Elaboración propia con datos de https://climate.nasa.gov/climate_resources/139/graphic-global-warming-from-1880-to-2018/ y <https://sealevel.nasa.gov/data/data-analysis-tool/>, [consulta: 12 de diciembre de 2019]

El CCA es una realidad, y en este sentido se ha visto en apartados anteriores es un fenómeno global. Actualmente debido a éste CCA se está generando un calentamiento en los polos, el cual derrite los casquetes polares de manera acelerada, provocando un aumento en el nivel del mar. Según National Geographic debido al CCA “Los océanos se han calentado, su acidez ha aumentado y su

productividad ha menguado”⁶¹. Es decir el CCA tiene diversas consecuencias que crean amenazas y riesgos para los arrecifes, debido a que el calentamiento y cambio de Ph ponen en riesgo la vida de los arrecifes de coral. Según el informe del NOAA de 2017⁶² “la temperatura promedio registrada en el mes de diciembre aumento 5°C respecto a las registradas en el Siglo XX.”

⁶¹ National Geographic, *El aumento del nivel del mar se acelera: el cambio climático llega antes y más fuerte de lo previsto*, [en línea], Cristina Crespo Garay, 25 de septiembre 2019, Dirección URL: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2019/09/el-aumento-del-nivel-del-mar-se-acelera-por-un-cambio-climatico-imparable> [consulta: 31 de octubre de 2019]

⁶² National Centers for Environmental Information , *State of the Climate: Global Climate Report for 2017*, [en línea], Enero de 2018, Dirección URL: <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/2017/13/supplemental/page-5>, [consulta: 31 de octubre de 2019]

Capítulo 3. El Sistema Arrecifal Mesoamericano en México y sus afectaciones por el cambio climático antropogénico

3.1 Características del SAM en México

El SAM se ubica en las costas del Mar Caribe, abarcando desde Cabo Catoche en el Norte de Quintana Roo, hasta Cayo Cochinos al norte de Honduras. Cuenta con aproximadamente 1000 km de longitud según datos del Informe 2014 del AIDA⁶³, y es la única barrera arrecifal transfronteriza. La mayoría de los corales que se encuentran en esta zona son corales duros, corales blandos y se divide en (i) arrecifes costeros, (ii) arrecifes de llanura gorgonáceos, y (iii) arrecifes macizos.

El Sistema Arrecifal Mesoamericano en México (SAM-M) cuenta con 18 Áreas Naturales Protegidas (ANP), dentro de las cuales 6 son Parques Nacionales, 6 Reservas de la Biosfera, 5 Áreas de Protección de Flora y Fauna, y 1 Santuario; las cuales en su conjunto tienen una superficie aproximada de 6,383,701.58 ha, según datos de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas⁶⁴. Estas ANP ubicadas a lo largo de la Costa de la Península de Yucatán, tienen relevancia internacional al encontrarse 13 de éstas dentro de la *Lista de Humedales de Importancia Internacional*.

El conjunto de los hábitats que conviven en esta región, como son los manglares, pastos marinos y arrecifes de coral; generan la diversidad ecosistémica en el SAM-M. Esta variedad ecológica le da un valor agregado al ecosistema marino mexicano respecto a otros sistemas arrecifales; debido a la riqueza ecológica del mismo, lo cual nos permite comprender de manera global el valor ambiental, climático, económico y social de la zona.

3.1.1 Tipos de arrecife/ecosistemas en el Sistema Arrecifal Mesoamericano

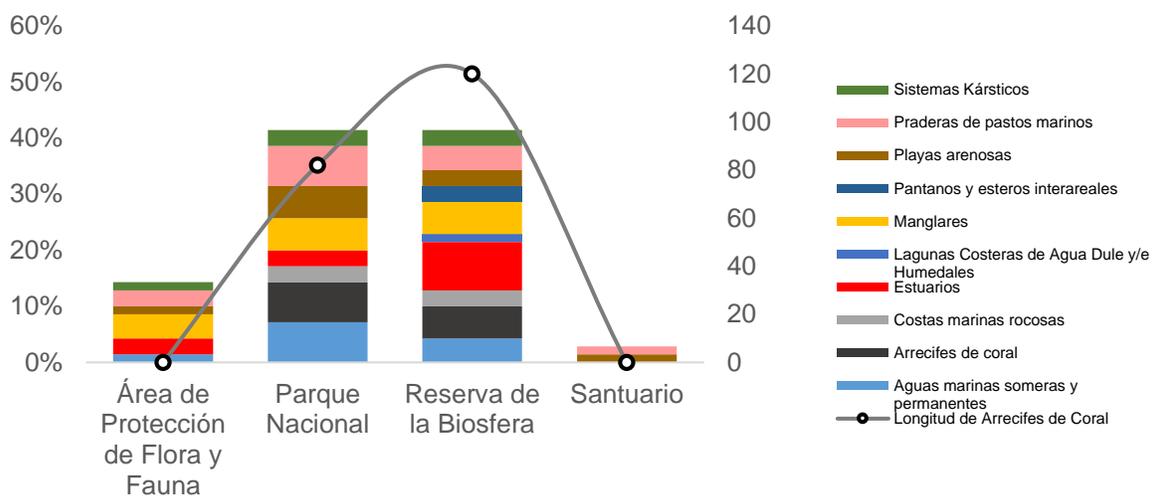
En la costas del Caribe Mexicano en donde se encuentra el SAM se ubican catorce humedales con una extensión aproximada de 1,180,180 hectáreas catalogados en

⁶³ Interamerican Association For Environmental Defense (AIDA), *La protección de los Arrecifes de Coral en México: Rescatando la biodiversidad marina y sus beneficios para la humanidad*, 2014, pag. 21.

⁶⁴ Listado de las Áreas Naturales Protegidas en México, CONANP, Dirección URL: <http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/listanp/>, [consulta: 06 de febrero de 2020]

la *Lista de humedales de importancia internacional RAMSAR*. Estos ecosistemas cuentan con características ecológicas, climáticas, zoológicas específicas y se encuentran en Áreas Naturales Protegidas como se muestra en la Gráfica 1.

Gráfica 1. Áreas Naturales Protegidas de Quintana Roo clasificado por tipo de hábitat marino y longitud arrecifal (km²)



Fuente: Elaboración propia con datos de Libro *Visión General de los Sitios Ramsar*⁶⁵ y la CONABIO⁶⁶.

Dentro de las ANP del SAM-M aproximadamente el 90% son Parques Naturales y Reservas de la Biosfera. Los principales ecosistemas son los arrecifes de coral, las aguas marinas someras, las playas arenosas y las praderas de pastos marinos; siendo los arrecifes los hábitats predominantes. Dentro del arrecife se encuentra diversa vegetación marina como son los pastos marinos y macroalgas, también se ubica fauna como aves marinas, delfines, tortugas marinas, peces, esponjas y colares; que en su conjunto crean factores bióticos y abióticos que favorecen la riqueza ecológica de este espacio.

⁶⁵ Scott Frazier, *Visión General de los Sitios Ramsar*, [en línea], primera edición, Wetlands International, 1999, 42 pp, Dirección URL: <http://biblioteca.cehum.org/bitstream/123456789/1220/1/Frazier.%20Visi%C3%B3n%20General%20de%20los%20Sitios%20Ramsar%2C%20Una%20sinopsis%20de%20los%20humedales%20de%20importancia%20internacional%20en%20el%20mundo.pdf> [consulta: 1 de septiembre de 2020]

⁶⁶ CONABIO, Infocéanos de México, Dirección URL: <https://infocéanos.conabio.gob.mx/metamares/proyectos/58950> , [consulta: 10 de septiembre de 2020]

Los arrecifes del SAM le deben gran cantidad de su riqueza ecosistémica a los corales, por lo que en muchas ocasiones son especies sujetas a protección especial, y se dividen en corales duros y corales blandos. Los corales duros son los obreros o trabajadores del arrecife, ya que son los encargados de construir nuevos sistemas, formando nuevos hábitats para las pequeñas especies; lo cual en su conjunto genera nuevas interacciones bióticas. Por otro lado, el coral blando es el ser vivo con mayor densidad en el mar Caribe según los datos de Chiappone⁶⁷ y sirven como refugio y fuente alimento para gran parte de las especies que habitan en el SAM-M.

La vida en los arrecifes del SAM depende de las relaciones simbióticas que se realizan cada segundo entre sus habitantes (los corales, las algas, los peces, etc.), de la temperatura, la luz, el oleaje, y la profundidad. En este sentido, es importante que exista cada uno de estos aspectos, debido a que cualquier variación podría ser mortal para los arrecifes. Por lo anterior, es necesario prestar atención en todos los componentes a la vez, ya que “la salud de los procesos ecológicos que acontecen en ella depende de la compleja transferencia de recursos bióticos y abióticos entre los arrecifes y ecosistemas asociados como los pastos marinos, manglares y humedales costeros”⁶⁸, y en muchas ocasiones su interacción con el ser humano pone en riesgo su equilibrio.

En la Reserva de la Biosfera Caribe Mexicano, se ubica alrededor del 50% del SAM-M, con arrecifes costeros de llanura de gorgonáceos y macizos. Siendo las áreas con mayor concentración arrecifal de Playa del Carmen a Tulum, Akumal, y el Canal de Yucatán según datos de la CONABIO⁶⁹. Los sitios con mayor densidad de peces son los que cuentan con una gran cantidad de pastos marinos. En otras

⁶⁷ Para profundizar revisar, Chiappone, M., H. Dienes, D. Swanson y S. Miller, *Density and gorgonian host occupation patterns by flamingo tongue snail*, Caribbean Journal of Science, 2003.

⁶⁸ Jesús Arias, *Tropic models of the protected and unprotected coral reef ecosystems in the South of the Mexican Caribbean*, Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Vol. 366, pp. 236-255.

⁶⁹ CONABIO, Infocéanos de México, Dirección URL: <https://infoceanos.conabio.gob.mx/metamares/proyectos/58950> , [consulta: 10 de septiembre de 2020]

palabras la riqueza ecosistémica del SAM-M se debe de estudiar en su conjunto, ya que si se busca conservar los arrecifes de coral se deben de planear estrategias que beneficien a todos los ecosistemas, que en conjunto forman el sistema arrecifal. De no seguir esta lógica, se podrá observar que los efectos del CCA continuaran incrementando y aumentando los riesgos que representan.

3.1.2 Extensión del arrecife

El SAM es el sistema arrecifal más largo del Atlántico Occidental, con aproximadamente 1000 km según el Informe *The Status of Coral Reefs* publicado en 2004. El sistema mesoamericano “es el arrecife transfronterizo más grande del mundo y contiene la segunda barrera más larga de arrecifes a nivel mundial”,⁷⁰ abarca desde Cabo Catoche en Quintana Roo, hasta la Bahía de Cochinos en Honduras. Abarca las costas de México, Belice, Guatemala y Honduras. El Caribe Mexicano tiene una superficie total de 5,754,055 hectáreas según datos del Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera del Caribe Mexicano⁷¹.

En territorio mexicano es donde se encuentra la mayor longitud del sistema arrecifal, específicamente en el estado de Quintana Roo. Esta zona tiene como característica una plataforma continental muy estrecha, lo cual genera mayor existencia de arrecifes costeros.

3.2 Principales efectos causados por el Cambio Climático en el Sistema Arrecifal Mesoamericano de 1983-2016 en México

3.2.1 Intensidad y frecuencia de huracanes en el SAM

En la zona del Caribe se ha observado en los últimos años un aumento de huracanes en cantidad e intensidad. Según Peterson en su estudio *Recent changes in climate extremes in the Caribbean Region*, la temperatura ha aumentado en los últimos 70 años, lo cual genera mayor cantidad anual de días calurosos; reduciendo

⁷⁰ World Wild Forum, Sistema Arrecifal Mesoamericano, Dirección URL: http://www.wwfca.org/especies_ylugares/arrecife_mesoamericano/ [consulta: 22 de octubre de 2020]

⁷¹ SEMARNAT, Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera del Caribe Mexicano, Dirección URL: https://simec.conanp.gob.mx/pdf_libro_pm/191_libro_pm.pdf [consulta: 22 de octubre de 2020]

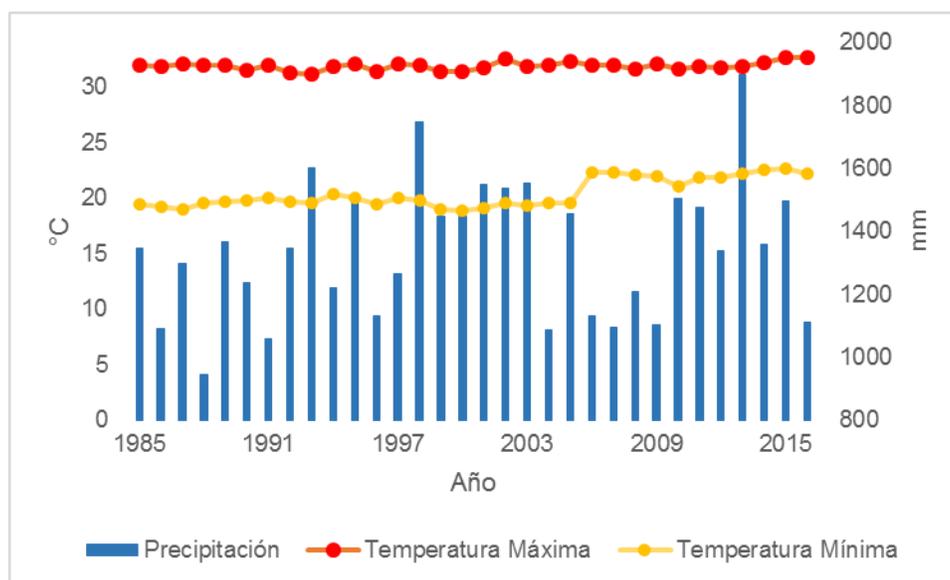
así los días fríos en la zona del Caribe. En este sentido, el aumento de días calurosos representa una amenaza constante para la sobrevivencia de los arrecifes debido a que no cuentan con capacidad de adaptación.

El Caribe es una región naturalmente sensible a los cambios climáticos debido a su localización geográfica, teniendo influencia del océano Atlántico y Pacífico, debido a que el territorio que divide a los océanos es mucho menor que en el resto del continente. Es decir, es una “Zona de Convergencia Tropical en donde interactúan los vientos alisios constantes del este, la expansión de la reserva cálida del hemisferio occidental, la irrupción de frentes fríos y el paso de depresiones tropicales, tormentas y huracanes”.⁷²

En el caso del Caribe Mexicano se espera una reducción en el número de precipitaciones anuales. Específicamente en el estado de Quintana Roo según datos del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), se puede observar una tendencia a la disminución de precipitaciones como se muestra en la Gráfica 2.

⁷² Ashvy S., Taylor M y Chen A, “*Statical model for predicting rainfall in the Caribbean*”, [en línea], *Theoretical and Applied Climatology*, 82, 65-80, Springer, 2005, Dirección URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-004-0118-8#citeas> [consulta: 16 de febrero de 2021]

Gráfica 2. Climatología de Quintana Roo de 1815 a 2016



Fuente: Elaboración propia con datos del INECC, *Tendencia de temperatura y precipitación acumulada anuales estatales de 1815-2010*, [en línea], Dirección URL: https://cambioclimatico.gob.mx/estadosymunicipios/Vulnerabilidad/V_23.html. [Consulta: 16 de febrero de 2021]

Durante el periodo de 1985 a 2016 la temperatura máxima promedio fue de 31.9°C y la temperatura mínima promedio de 20.4⁷³, sin embargo la variación de temperatura se puede observar al dividir el periodo en partes iguales. En los años de 1993-2000 se presentó una temperatura máxima promedio de 31.7°C y una temperatura mínima de 19.6°C, representando así los años con menores aumentos en la temperatura. Sin embargo el histórico de datos muestra que en el periodo de 2009-2016 se observó un incremento considerable tanto en la temperatura máxima registrada, como en la mínima. Siendo la primera de 32.1°C y la última de 22.0°C.

La gráfica demuestra una concentración de aumento de la temperatura en los últimos ocho años, registrando en el año 2016 una temperatura máxima de 32.6°C y una temperatura mínima de 22.2°C. Es decir que tan solo en el año 2016 se registra un aumento de .7°C respecto a la media de temperaturas máximas del periodo de 1985 a 2016.

⁷³ Se omiten datos de 1083 y 1984 debido a que no se encontró información al respecto.

En este sentido es importante mencionar que los meses de mayo y agosto son los meses en los cuales se registra históricamente un mayor nivel de temperatura, y los meses de Enero y Febrero registran menor temperatura históricamente, según datos del INECC.⁷⁴

Al revisar las series históricas de temperatura en Quintana Roo, es importante no dejar de lado el nivel de precipitación anual promedio, ya que si bien la afectación de la temperatura no depende de la cantidad de precipitación registrada. La disminución de lluvia en la Península es una alteración que afecta directamente a los arrecifes, y en cadena cíclica a la temperatura atmosférica de la zona.

Debido a su ubicación geográfica de Quintana Roo, durante el verano se presenta un fenómeno de sequía (canícula), en el cual interactúan los vientos alisios y el calentamiento del mar. Este fenómeno representa un riesgo considerable, ya que si bien en Quintana Roo se ha mantenido la media de precipitación anual como se muestra en la gráfica 2, también se han dado años en los cuales la precipitación bajó hasta 943 mm, cómo ocurrió en el año de 1988.

La disminución de precipitaciones registradas en el año 1988 coincide con el fenómeno de “El Niño” registrado en los años de 1986-1988, el cual ha sido uno de los eventos más agresivos de los últimos 40 años registrados. Lo anterior es importante, ya que cómo se mencionó en el capítulo dos en 1983 se presentó el primer evento de blanqueamiento regional, y los daños por blanqueamiento de coral que se presentan cuando existen estos fenómenos pueden ser mortales, ya que los daños ecosistémicos pueden llegar a ser irreparables.

En este sentido, es importante no perder de vista los niveles de precipitación junto con los cambios de temperatura para evitar un desequilibrio ambiental que

⁷⁴ Para profundizar consultar datos del INECC respecto a la climatología estatal de 1985 a 2010 del Estado de Quintana roo, Dirección URL:
https://cambioclimatico.gob.mx/estadosymunicipios/Vulnerabilidad/V_23.html.

perjudique el equilibrio de los ecosistemas que hacen posible la existencia de los arrecifes en el SAM-M.

El nivel de precipitación de la zona del Caribe está marcado por la estaciones del año, siendo el verano los meses más secos. Sin embargo la cantidad de ciclones que se presentan anualmente varía dependiendo de los cambios en los vientos y corrientes oceánicas del Océano Atlántico y el Océano Pacífico. Un claro ejemplo de estos cambios son los fenómenos de “El Niño” y “La Niña”. Los fenómenos climatológicos se han vuelto en los últimos 40 años cada vez más recurrentes, ha aumentado el riesgo que representan sus efectos, y además se presentan de manera más recurrente, lo cual en su conjunto representa una amenaza para los arrecifes y la población que depende de ellos.

“El aumento de los fenómenos de ‘El Niño’ y ‘La Niña’ ha provocado en la zona del Caribe un clima más extremo desde el año 1970”⁷⁵, lo cual se refleja en el número de ciclones que han tocado tierra en Quintan Roo en los últimos años.

De 1988 a 2016 se han presentado 18 ciclones con afectaciones graves para Quintana Roo, de los cuáles 4 fueron huracanes categoría 5 y se registraron de 1988 a 2007. En este sentido es importante destacar que de los 18 ciclones principales ocurridos, 13 se presentaron en los últimos 14 años, como se muestra en la Tabla 5.

⁷⁵ D.W. Stahle, R.D. D'Arrigo, P.J. Krusic, et al, *Experimental Dendroclimatic Reconstruction of the Southern Oscillation*, [en línea], Bulletin of the American Meteorological Society, 79, págs: 2137-2152, 01/10/2018, Dirección URL: https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/79/10/1520-0477_1998_079_2137_edrots_2_0_co_2.xml, [consulta:23 de febrero de 2021].

Tabla 5. Principales Ciclones en Quintana Roo de 1988 a 2016

Año	Nombre	Lugar de Entrada a Tierra	Etapas y Categoría	Periodo	Duración en días	Viento Máximos (KM/HR)
1988	Keith	Cancún	Tormenta tropical	17-24 nov	7	110
1988	Gilbert	Puerto Morelos	Huracán categoría 5	8-20 sep	12	287
1995	Roxane	Tulum	Huracán categoría 3	7 al 21 de octubre	14	185
1996	Dolly	Felipe Carrillo Puerto	Huracán categoría 1	19 al 25 de agosto	6	125
2000	Keith	La Unión	Huracán categoría 1	28 de septiembre al 6 de octubre	8	140
2005	Emily	Cozumel y Playa del Carmen	Huracán categoría 5	10 al 21 de julio	11	269
2005	Wilma	Cozumel y Puerto Morelos	Huracán categoría 5	15 al 28 de octubre	13	324
2007	Dean	Mahahual	Huracán categoría 5	13 al 23 de agosto	10	270
2008	Arthur	Suroeste de Chetumal	Huracán categoría 2	31 de mayo a 2 de junio	3	160

2008	Dolly	Cozumel y Cancún	Huracán categoría 2	20 al 24 de julio	4	160
2010	Karl	Al norte del poblado de Calderitas	Huracán categoría 3	14 al 18 de septiembre	4	195
2011	Rina	Felipe Carrillo Puerto, Cozumel, Isla Mujeres y Benito Juárez	Huracán categoría 2	23 al 29 de octubre	5	174
2011	Harvey	Othón Blanco Bacalar	P. Tormenta Tropical	19 al 22 de agosto	3	91
2011	Don	Benito Juárez	Tormenta Tropical	27 al 30 de julio	3	83

Fuente: Elaboración Propia con datos del Gobierno de Quintana Roo y la CONANP, <https://groo.gob.mx/coeproc2/ciclones-tropicales-con-influencia-en-el-territorio-estatal/> y conanp.gob.mx/programademanejo/RBCMPM.pdf [consulta: 22 de febrero de 2020]

En otras palabras el incremento de ciclones que representan un riesgo para Quintana Roo ha ido en aumento exponencial, y se han presentado en periodos en donde el fenómeno de “El Niño” no ha sido un detonante de la intensidad u ocurrencia. Los principales territorios por donde han entrado los ciclones más fuertes son Cozumel, Cancún, Puerto Morelos, Felipe Carrillo Puerto y Benito Juárez.

Si bien en Quintana Roo los huracanes de categoría 5 no son tan frecuentes, si son los que más daño causan debido al riesgo que conllevan, y los daños económicos y ambientales suelen ser bastante costosos. Es importante mencionar que los daños en los arrecifes pueden llegar a ser irreparables, si se toma en cuenta el grado de degradación del ecosistema que ha sufrido debido a la urbanización del

territorio y deforestación del manglar en la zona, el blanqueamiento y la pérdida de coral.

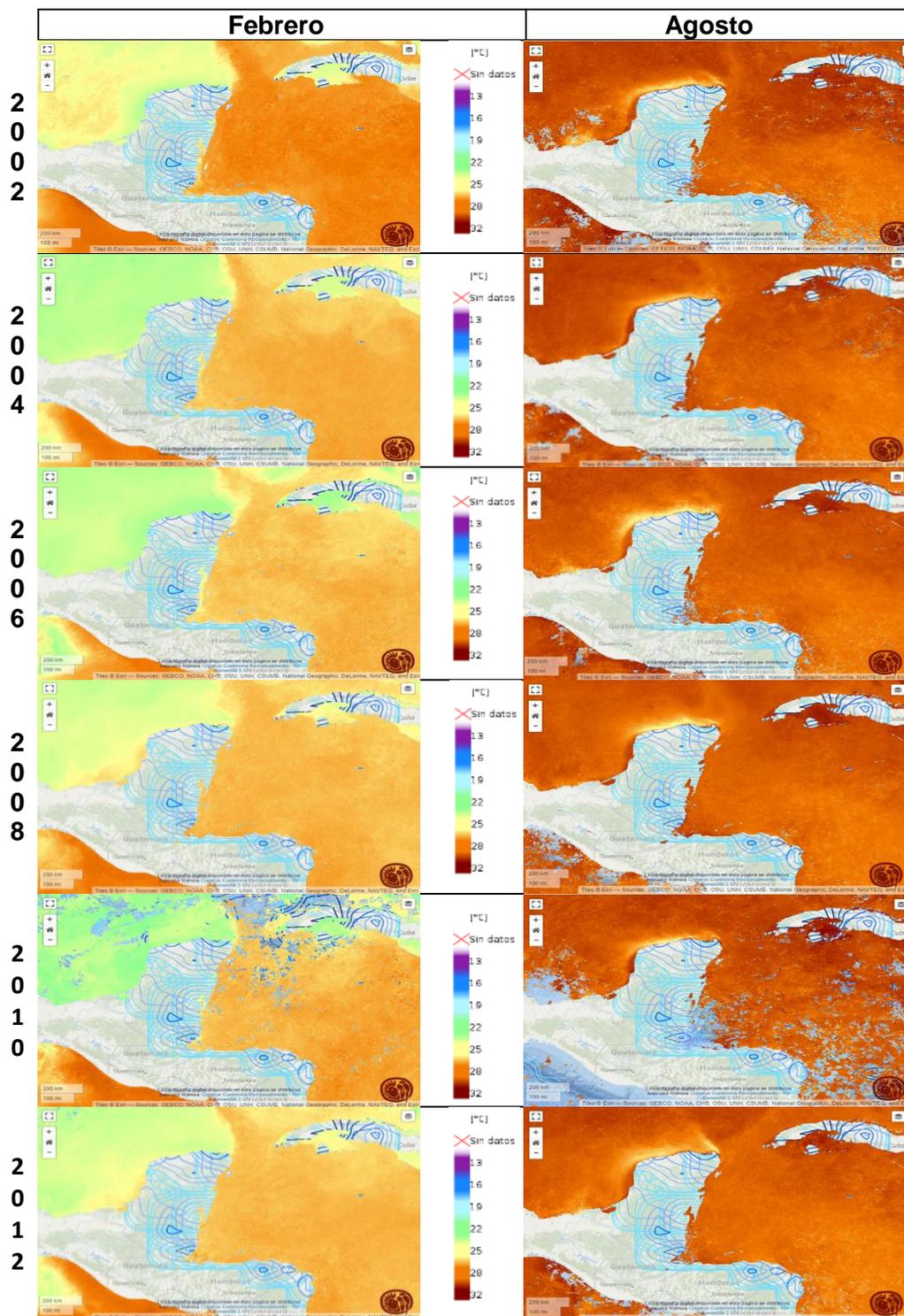
3.2.2 Incremento del nivel del mar en el SAM

Según datos del informe del IPCC⁷⁶ se estima “los océanos han absorbido más del 90% del exceso de calor en el sistema climático” y que los océanos han sufrido aumento en su temperatura superficial desde 1970. En este sentido, se puede decir que el calor que no es absorbido por la atmósfera, es procesado por el océano. El hecho de que el océano es el sistema que capta el calor estancando en la superficie terrestre, tiene como consecuencia el incremento de la temperatura del mar, afectaciones en su Ph y aumento del nivel del mar.

En Quintana Roo se puede observar un aumento de la temperatura oceánica según la época del año. Los meses en donde se puede observar de mejor manera la variación de temperatura, son los meses de agosto y febrero. Meses que concuerdan con el mayor incremento de temperatura (agosto) y menor temperatura atmosférica como es el mes de febrero y se demuestra en la Figura 6.

⁷⁶ Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, *El océano y la criosfera en un clima cambiante*, [en línea], Informe especial, Resumen para responsables de política, 38 págs., Suiza, IPCC, junio 2020, Dirección URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2020/07/SROCC_SPM_es.pdf [consulta: 26 de febrero de 2021]

Figura 6. Temperatura oceánica de 2002 a 2012 en la Península de Yucatán



Fuente: Elaboración propia, con datos de la CONABIO, Dirección URL: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>, [consulta: 27 de febrero de 2021]

Durante los años de 2002 a 2012 el mes de febrero se comportó como uno de los meses con temperaturas más bajas en el océano, sin embargo existe una tendencia hacia el aumento por ondas de calor provenientes del sureste. Es decir, que debido a la ubicación geográfica de Quintana Roo, su vulnerabilidad es mayor respecto al aumento de temperatura, a comparación de otros territorios del Caribe o incluso de la República Mexicana.

Por otro lado, el mes de agosto durante este mismo periodo muestra tendencias de temperatura elevadas cercanas a la costa de Quintana Roo. En los mapas anteriores se observa como el calor en este mes se incrementa desde el noroeste. Este fenómeno de aumento de calor se puede incrementar si se toma en cuenta que son meses con mayor afluencia turística en la zona, y las interacciones con los arrecifes pueden generar un mayor estrés térmico para ellos, y en cadena afectaciones por blanqueamiento de coral y/o enfermedades.

La Figura 6 muestra la temperatura oceánica durante distintos meses del año 2002 al 2012, sin embargo, si se observa como un ciclo, se puede identificar que los cambios de temperatura en el mar cada vez se hacen menos intensos en temperaturas bajas y existe una tendencia por mantener temperaturas altas, lo cual es una amenaza directa para la supervivencia de los arrecifes en el SAM-M.

El aumento del nivel del mar afecta de distinta manera, se estima que “desde 1993 el nivel del mar ha aumentado anualmente entre 2.4 – 3.8 mm/yr”.⁷⁷ En el Caribe “el aumento del nivel del mar ha sido superior que en otras regiones”, la variación responde a su ubicación geográfica y cercanía con el Ecuador. Según Simpson⁷⁸ en su estudio realizado en 2010, estima que para finales de siglo es

⁷⁷ Bindoff N.L, J. Willerbrand, V. Artale, *Observations: Oceanic Climate Change and Sea Level*, [en línea], Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report, pp. 295-428, Cambridge University, 2007, Dirección URL: https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch5.html, [consulta 26/02/2021].

⁷⁸ Para profundizar en el tema consultar *An Overview of Modeling Climate Change Impacts in the Caribbean Region with contribution from the Pacific Islands*, Dirección URL: https://www.researchgate.net/publication/266558233_An_Overview_of_Modeling_Climate_Change_Impacts_in_the_Caribbean_Region_with_contribution_from_the_Pacific_Islands/link/54383a660cf2d6698bded18c/download

probable un aumento del nivel del mar de entre uno y dos metros, dependiendo la isla o territorio.

El aumento del nivel del mar en la zona del SAM-M es una de las multiamenazas que representa el CCA para los arrecifes, ya que al aumentar el nivel se reduce la penetración de los rayos solares a los arrecifes. Por otro lado, también representa una amenaza para la población costera, ya que representa una reducción de playas y las inundaciones de tierras bajas como pueden ser islas.

Uno de los riesgos más importantes del aumento del nivel del mar en Quintana Roo y en el Caribe es el incremento de las inundaciones. Las inundaciones además de generar daños económicos y sociales, son una amenaza para el medio ambiente costero. Los manglares en Quintana Roo han sufrido grandes pérdidas por la urbanización, y si a esto se suman factores como las inundaciones, básicamente el nicho de incubación y crecimiento de muchas especies que habitan en los corales se vería en riesgo.

Las inundaciones son acontecimientos que llenan a los manglares y arrecifes de sedimentos y contaminación, lo cual pone en riesgo el equilibrio ecológico de los ecosistemas costeros de Quintana Roo, ya que tienen una relación de dependencia directa. Si estos eventos se vuelven constantes, los manglares y arrecifes son algunos de los ecosistemas que podrían estar en mayor riesgo de desaparecer, ya que su supervivencia en caso de aumento del nivel del mar, depende del territorio al que se puedan extender los manglares y la cantidad de luz que penetre en los arrecifes.

3.2.3 Enfermedades de coral en el SAM

Las enfermedades en los corales se pueden dar por deterioro del coral o por su sometimiento a estrés. “Las enfermedades pueden causar la muerte parcial de los tejidos, interferir con la capacidad de un coral para crecer o reproducirse y provocar la muerte de la colonia”.⁷⁹

⁷⁹ Atlantic and Gulf Rapid Reef Assesment, Dirección URL: <https://www.agrra.org/coral-reef-monitoring/coral-indicator/> [consulta: 05/03/2021]

La aparición de las enfermedades no está relacionado a un hecho exacto, sin embargo se ha observado que en periodos donde la temperatura es elevada o existe contaminación, los corales son proclives a enfermedades. Las enfermedades más comunes en el Caribe son la enfermedad de banda negra, la enfermedad de banda blanca y la enfermedad de banda amarilla.

En el Caribe particularmente, las enfermedades han causado pérdidas devastadoras de corales vivos, “cubriendo alrededor del 50-80% de las colonias”.⁸⁰ En la década de los 90 se presentaron casos de banda blanca, y se incrementó la incidencia de casos de banda amarilla. Por lo anterior, Cróquer⁸¹ en su artículo de 2005 señala que algunos investigadores sugieren que el Caribe “es un lugar con propensión alta para presentar enfermedades en los corales”. En este sentido existen investigaciones que señalan que “debido a la riqueza de variedades de corales, faunas marítimas y nutrientes que conviven en la península de Yucatán, existe mayor diversidad de enfermedades en los corales de esta porción del SAM”.⁸²

En los últimos años la enfermedad que representa mayor amenaza en el Caribe es la Enfermedad de Pérdida de Tejido de Coral Pétreo (SCTLD por sus siglas en inglés), la cual se documentó por primera vez en Florida. Sin embargo hasta 2016 no se tiene evidencia de esta enfermedad en los arrecifes del SAM-M.

En 1998 se consideraba que el “El Ecosistema del Sistema Arrecifal Mesoamericano estaba en mejores condiciones que muchos de los otros arrecifes del Mar Caribe”⁸³, sin embargo estudios del Healthy Reefs de 2008 muestran que muchos indicadores de salud arrecifal están abajo del promedio que corresponde al Caribe.

⁸⁰ Arronson RB, Precht WF, “White band disease and the changing face of Caribbean coral reefs”, 32, 3, Hydrobiologia, 2001, págs: 25-38

⁸¹ Cróquer A., Weil E., et al., “Impacto d White plague-II outbreak on a coral reef in the archipelago Los Roques National Park, Venezuela”, 41, Caribbean Journal of Science, 2005, págs: 825-823.

⁸² Para profundizar consultar J.R. Ward, K.L. Rypien, et al. “Coral diversity and diseases in México”, 69, Diseases of Aquatic Organisms, 2006, págs: 23-31.

⁸³ Healthy Reefs, *Libreta de Calificaciones correspondiente al Sistema Arrecifal Mesoamericano*, [en línea], 2008, Dirección URL: <https://www.healthyreefs.org/cms/wp-content/uploads/2012/12/Reporte-2008.pdf>, [consulta: 06/03/2021]

El Índice de Sensibilidad Ambiental (ISA), permite identificar el grado de vulnerabilidad de los ecosistemas, siendo las zonas de manglares, arrecifes y/o pastos marinos ecosistemas identificados como altamente vulnerables.

Debido a la sensibilidad del SAM, y la importancia de la protección de los arrecifes se le asignó dentro del Índice de Sensibilidad Ambiental (ISA) la escala de alta vulnerabilidad (10) a las áreas que cuentan con arrecifes, vegetación acuática y zonas de manglar. En este sentido, dichas zonas se han monitoreado en los últimos años para conocer el grado de vulnerabilidad, poder realizar las medidas pertinentes para apoyar a su conservación, y realizar su monitoreo y seguimiento como se muestra a continuación.

Tabla 6. Estado del Sistema Arrecifal Mesoamericano del territorio mexicano del año 2008 a 2015

Estado	2008	2010	2012	2015
Muy bien	0%	1%	2%	1%
Bien	6%	8%	9%	8%
Regular	37%	21%	25%	34%
Mal	50%	40%	40%	40%
Crítico	7%	30%	24%	17%

Fuente: Elaboración propia con datos de los Reportes de Salud del Arrecife Mesoamericano de *Healthy Reefs* Dirección URL: <https://www.healthyreefs.org/cms/es/reportes-de-la-salud/>, [consulta: 1 de Septiembre de 2020]

Como se observa en la Tabla 6 si bien el arrecife mexicano no está en estado crítico, si se puede observar la tendencia hacia el deterioro. Concentrándose el mayor volumen de arrecifes en estado regular a crítico. Cuestión que es de alarmarnos si tomamos en cuenta el tiempo que le cuesta al arrecife recuperarse, aunado al estrés constante en que se encuentran debido al aumento de infraestructura inmobiliaria en la zona, el incremento del número de turistas anualmente, la pesca y factores ambientales como son el evento de ‘El Niño’, ‘La Niña’, y los ciclones.

3.2.4 Blanqueamiento en el SAM

El blanqueamiento de los corales en el Caribe se dispara usualmente “al incrementarse la temperatura superficial del mar en al menos 1.0°C sobre los máximos normales de verano, durante al menos 2 a 3 días”.⁸⁴ Debido a sus características fisiológicas los corales son animales sensibles a los cambios de temperatura en el mar, y ante el aumento de temperatura sufren pérdidas de sus pigmentos, lo cual evita su crecimiento y los puede llevar a la muerte en caso de que la temperatura no se reduzca.

Los eventos de blanqueamiento cada vez son más agresivos y se presentan con mayor frecuencia. Según Andrew Baker en su artículo publicado en 2008 “los eventos de blanqueamiento en el Caribe empezaron a generar relevancia entre 1980 y 1990”⁸⁵. En este sentido, en 1995 y 1998 se registraron eventos de blanqueamiento de coral en el SAM. El primero fue el primer blanqueamiento masivo registrado en el Caribe, se extendió en un amplio territorio, sin embargo su mortalidad no fue alta en el Caribe. No obstante en 1998 el evento de blanqueamiento se presentó en el mismo año que el huracán Mitch (afectó el Caribe) y Gilbert (entró a territorio por Puerto Morelos), por lo que las afectaciones en las colonias de arrecifes del SAM-M fueron mortales.

En el año 2005 se presentó un evento fuerte de blanqueamiento en el Caribe, el cual fue de impacto transnacional debido a que la temperatura del mar aumento a lo largo del océano Atlántico en la zona de los trópicos como se puede comprobar en la Figura 6. En el año 2005 “cerca del 80% de los corales sufrieron blanqueamiento y alrededor de 40% murieron”,⁸⁶ si bien el aumento de temperatura

⁸⁴ A.E. Strong, C.S. Barrientos, et al., *Improved Satellite Techniques for Monitoring of Coral Reef Bleaching*, 2, Proceedings of the 8th International Coral Reef Symposium, págs: 1495-1498.

⁸⁵ Para profundizar consultar Andrew Baker, *Climate change and coral reef bleaching: An ecological assessment of long-term impacts, recovery trends and future outlook*. Dirección URL: https://www.researchgate.net/publication/223834341_Climate_change_and_coral_reef_bleaching_An_ecological_assessment_of_long-term_impacts_recovery_trends_and_future_outlook

⁸⁶ Clive Wilkinson, *Status of Caribbean coral reefs after bleaching and hurricanes in 2005*, [en línea], Global and Coral Reef Monitoring Network, 152 pp., 2008, Dirección URL: https://coralreefwatch.noaa.gov/caribbean2005/docs/Status_of_Caribbean_Reefs_after_Bleaching_and_Hurricanes_2005.pdf [consulta: 16 de marzo de 2021]

del mar pudo no ser tan elevado, tan sólo en la Península de Yucatán se presentaron en ese año dos huracanes (Wilma y Emily), ambos de categoría 5. Lo cual afectó de manera importante los arrecifes del SAM-M, si se toma en cuenta los daños causados en años previos y el tiempo que toma la recuperación de los arrecifes.

Algunas zonas del SAM-M en donde se pudo observar claramente los efectos de blanqueamiento fueron Mahahual, Sian Ka'an y Xcalak desde el mes de julio a octubre. Cinco años después se presentó otro evento de blanqueamiento de coral en el Caribe, el cual de igual manera "afectó de manera agresiva a los arrecifes de la zona de Centro América y la Península de Yucatán"⁸⁷, y en 2015 se documentó el tercer evento de blanqueamiento a nivel mundial según las declaraciones de La Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA por sus siglas en inglés), el cual también resultó en afectaciones para el SAM-M debido a que se registraron altas temperaturas.

3.3 Aportación económica del Sistema Arrecifal Mesoamericano Mexicano

La importancia de los ecosistémica de del SAM-M va más allá del alcance ecológico o biológico, ya que el territorio marino en donde se encuentran los arrecifes mexicanos protegen a las costas, las poblaciones y la infraestructura de las amenazas del CCA. Una de las aportaciones importantes de los arrecifes es su valor económico, ya que provee a las poblaciones costeras de sistemas económicos de subsistencia como es el turismo o la pesca.

En el Caribe "la economía del turismo, que incluye tanto el turismo como todos los sectores que dependen de él, representa el 26% del PIB total en el Caribe y el 10% en América Latina. Además, abarca el 35% del empleo en el Caribe y el 10% en América Latina"⁸⁸. En este sentido, los ingresos obtenidos en la región están directamente relacionados con la alta sensibilidad climática de la zona y se ven

⁸⁷ Mark Eakin, Jessica Morgan, et al., *Caribbean Corals in Crisis: Record Thermal Stress, Bleaching, and Mortality in 2005*, núm. 5, vol. 11, Plos one, 15 de noviembre de 2010.

⁸⁸ CEPAL, *El turismo será uno de los sectores económicos más afectados en América Latina y el Caribe a causa del COVID-19*, [en línea], Dirección URL: <https://www.cepal.org/es/noticias/turismo-sera-sectores-economicos-mas-afectados-america-latina-caribe-causa-covid-19> [consulta:11 de abril de 2021]

afectados por los daños por la multiamenaza que representa el CC, es decir, el blanqueamiento, las enfermedades de coral, la reducción de individuos coralinos, el incremento de huracanes, entre otros.

3.3.1 Turismo

En las costas del SAM-M la economía local según índice de pobreza, depende en su mayoría de la explotación del turismo en actividades relacionadas con los servicios que proporciona el mar. Lo interesante de estas cifras es que municipios con infraestructura turística y comercial, como Benito Juárez, concentran la mayor cantidad de personas con carencias en la calidad y espacios en la vivienda, como demuestra el Informe Anual sobre la Situación de Pobreza y Rezago Social 2016.⁸⁹ Lo anterior se entiende debido a que Quintana Roo es uno de los estados con mayor migración interestatal, debido a las oportunidades económicas que plantea la inversión turística en las zonas contiguas al mar.

En México la mayor aportación al PIB por parte de la actividad económica del “turismo” se da a través de los ingresos por alojamiento, sin embargo la derrama del turismo beneficia a otros sectores económicos, y a la población de la zona. En este sentido, es importante mencionar que “las micro, pequeñas y medianas empresas representaban el 99,8% de las empresas turísticas en México”⁹⁰ según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

En otras palabras, en el turismo genera circulación de capital que beneficia en efecto cadena a varios sectores económicos del país como es el transporte, los restaurantes, el alojamiento, productores artesanos, servicios culturales, deportivos, entre otros; y en consecuencia genera mano de obra y atrae mayor población fija e itinerante para satisfacer la demanda laboral en la zona.

⁸⁹ <https://qroo.gob.mx/eje-4-desarrollo-social-y-combate-la-desigualdad/diagnostico-causal-especifico>

⁹⁰ INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2019), “Cuenta Satélite del Turismo de México” [en línea], Dirección URL: <https://www.datatur.sectur.gob.mx/SitePages/ProductoDestacado3.aspx>, [consulta:11 de abril de 2021]

En Quintana Roo la principal actividad económica es el turismo, representando como actividades terciarias el 86.5% del PIB Estatal según datos del INEGI en el año 2016.⁹¹ Los principales puntos turísticos del estado se encuentran en Cancún, Playa del Carmen, Tulum y Cozumel.

El atractivo para el turismo de Quintana Roo está ligado a la variedad de la naturaleza terrestre y marina de la zona, lo cual a su vez genera pérdidas en el ecosistema. Las pérdidas pueden responder por ejemplo a actividades recreativas o al aumento de infraestructura. La primera incrementa el estrés y blanqueamiento en los corales y áreas contiguas; y la segunda genera pérdida en el territorio para la expansión de manglar, lo cual a su vez se materializa en la disminución de áreas de refugio para especies pequeñas o de cría, además de provocar afectaciones y contaminación a los océanos por sedimentación.

En los últimos años se ha incrementado el turismo cuyo propósito principal es la visita de los arrecifes coralinos.⁹² El Caribe Mexicano es una ruta de transportación turística marítima con tráfico intenso, uno de los principales puertos del Caribe se encuentra en la Isla de Cozumel. El puerto de Cozumel fue en el año 2015 “el primer lugar a nivel mundial en transportación turística marítima con 3.8 millones de pasajeros que arribaron en 1,240 embarcaciones, que significa que más de la mitad de los arribos turísticos a México ocurrieron en este puerto”.⁹³

Si bien la derrama económica que el turismo genera tanto en empleo como flujo de capital en la zona, estos beneficios se generan en muchas ocasiones a costa del ecosistema. Cozumel es un claro ejemplo de cómo los arrecifes son el medio de subsistencia de la población, ya que la Isla de Cozumel se encuentra rodeada de arrecifes y son la mayor atracción turística de la Isla, lo que significa que la gran afluencia turística influye en los factores físicos, químicos y biológicos que afectan

⁹¹ INEGI, “Actividades económicas por entidad federativa”, [en línea], Dirección URL: <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/qroo/economia/default.aspx?tema=me&e=23>, [consulta:18 de abril de 2021]

⁹² Clive Wilkinson, *Status of Caribbean coral reefs of the World*, Global Coral Reef Monitoring Network y Reef and Rainforest Research Centre, Townsville, Australia, 2008, 298 pp.

⁹³ Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, *Programa de Manejo. Reserva de la Biosfera Caribe Mexicano*, México, 2016, pág. 6.

la sensibilidad de los arrecifes, así como en la transparencia del agua la cual determina la cantidad de luz que los corales pueden absorber.

3.3.2 Pesca

El calentamiento del océano en las últimas décadas ha afectado la población de peces y mariscos, y en consecuencia la producción pesquera. En el caso de Quintana Roo, la captura de recursos pesqueros asociados al SAM-M es todavía una de las actividades económicas más importante de la población maya que aún habita en la zona.⁹⁴ La pesquería en la zona de los arrecifes incluye pargo, mero y langosta, sin embargo debido a la falta de regulación de la pesca se ha observado sobrepesca en la zona, afectando las zonas de desove de la fauna.

Según el Marine Stewardship Council “en la zona de los trópicos se pronostica un descenso de aproximada mente del 40% de la producción pesquera de la zona debido al desplazamiento de fauna por el calentamiento del mar”.⁹⁵ Lo anterior, es un efecto indirecto del CCA en la pesca del SAM-M, causando la acidificación del océano, daños al hábitat y crecimiento del nivel del mar, lo cual afecta la zona de refugio de pequeñas especies.

Los efectos en la pesca no se pueden observar en un periodo corto de tiempo, debido a que las afectaciones se observarían como hechos aislados, por ejemplo los años de canícula fuerte o huracanes intensos pueden afectar la producción anual, sin embargo el proceso de afectación de la pesca será progresivo y afectará incluso a las poblaciones cuyo sustento se basa en la pesca.

En el SAM-M la actividad pesquera es en su mayoría ribereña, es decir la pesca se realiza con pequeñas embarcaciones y dependiendo la temporada de

⁹⁴ Magali Daltabuit, “Globalización y turismo en el sur de Quintana Roo”, vol. 27, Estudios de cultura maya, 2006, 99-124 pp.

⁹⁵ Para profundizar consultar el sitio web de Marine Stewardship Council, Dirección URL: <https://www.msc.org/es/acerca-de-msc/el-cambio-climatico-y-la-pesca> [consulta: 21 de abril de 2021]

pesca. En el SAM-M existen vedas que ayudan a proteger a la fauna de la zona, sin embargo la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza⁹⁶ estima que:

“Alrededor del 5% de las especies óseo marino pesqueros en el Caribe, están amenazados por la pesca excesiva, la depredación del pez león invasor y la degradación de los arrecifes y estuarios coralinos, que proporcionan hábitats y zonas de alimentación para muchas especies. Las especies amenazadas por la pesca excesiva suelen asociarse con el hábitat de los arrecifes.”

Según la CONANP, “el estado de Quintana Roo cuenta con 1,176 km de litorales, lo que representa un 10.6% del total de los litorales a nivel nacional”⁹⁷. Empero, debido a que parte del litoral se encuentra como Área Natural Protegida no existen datos fiables respecto a la producción pesquera de la zona del SAM-M. Sin embargo, se conoce que la mayoría de la pesca la realizan pescadores de la zona y la producción que mayor ganancia produce es la de langosta y el caracol, la cual se obtiene de los litorales en donde se encuentra el SAM-M.

Por lo anterior, en el SAM-M es aún más crítica la conservación de los arrecifes, ya que además de permitir la pesca, sirve como refugio de peces y es parte fundamental del equilibrio biológico de la fauna que habita en la zona. Es decir, un arrecife sano y conservado permite que la pesca se incremente sin alterar los equilibrios ecológicos y permite incluso mejorar el proceso de adaptación de la zona al CCA.

⁹⁶ Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, *La pesca excesiva y la disminución de los arrecifes de coral amenazan las pesquerías de las islas del Pacífico y el Caribe*, [en línea], 8 de junio de 2017, Dirección URL: <https://www.iucn.org/es/news/secretariat/201706/la-pesca-excesiva-y-la-disminuci%C3%B3n-de-los-arrecifes-de-coral-amenazan-las-pesquer%C3%ADas-de-las-islas-del-pac%C3%ADfico-y-el-caribe-%E2%80%93informa-la-uicn> [consulta: 21 de abril de 2021]

⁹⁷ SEMARNAT, Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera del Caribe Mexicano, Dirección URL: https://simec.conanp.gob.mx/pdf_libro_pm/191_libro_pm.pdf [consulta: 19 de abril de 2021]

Conclusión

El capitalismo histórico es una dinámica global que elimina las fronteras en todos los sentidos, tanto económicos, como sociales y culturales. Esta dinámica ha sido un proceso que se ha presentado de manera evolutiva, en la cual se ha mercantilizado con la naturaleza. Los ecosistemas planetarios se han cosificado sin respetar las fronteras ecológicas, y por lo tanto se han generado en consecuencia alteraciones climáticas (cambio climático) y ecosistémicas. Gran parte de la pérdida de flora y fauna se debe a esta mercantilización de artículos por parte del Estado y cuyas afectaciones las sufre la población.

El capitalismo transnacional adquiere su crecimiento y expansión, de los beneficios económicos que obtiene a partir de la explotación de la naturaleza, sobre todo en los países en desarrollo, ya que en estos países la mano de obra es más barata, y existe una amplia gama de recursos naturales que explotar. Esta explotación desmedida, sin tomar en cuenta el equilibrio de la naturaleza o la alternativa del desarrollo sostenible implica problemas globales como el CC, la pérdida de ecosistemas a nivel global y amenazas que afectan de manera transnacional. Los problemas se vuelven globales y se eliminan al igual que en el mercado las fronteras.

Durante la presente investigación, el objetivo es identificar y explicar las multiamenazas generadas por el CCA, específicamente el cómo han afectado en los últimos años a los arrecifes de coral, específicamente a los sistemas ubicados en Quintana Roo. Dentro de las afectaciones se analizaron las físicas como el blanqueamiento de coral o las enfermedades, y sus repercusiones en cadena en la regulación de la temperatura, erosión de la barrera natural contra ciclones, daños de la zona de incubación de pequeños animales marítimos, así como, la disminución de ingresos provenientes de los arrecifes, entre otros.

Dentro del marco jurídico que busca regular la explotación y/o exposición de los arrecifes, se puede observar que la sociedad internacional ha realizado tratados internacionales que buscan el cuidado de los corales. Estos esfuerzos por la

conservación de los sistemas arrecifales comenzaron desde la década de los setenta con la Conferencia de Estocolmo y se han realizado esfuerzos continuos por crear instrumentos jurídicos y acciones globales que apoyan la conservación de los arrecifes. Sin embargo, aunque se han realizado acciones que benefician el cuidado de los ecosistemas, como son las Zonas Económicas Exclusivas, los sitios RAMSAR, o en su caso el Marco de Conservación de los Arrecifes; las intenciones se han quedado cortas para garantizar la protección.

Lo anterior, se puede observar i) debido a la capacidad institucional de los países en desarrollo de implementar las medidas correctamente, ii) el grado de vulnerabilidad de los distintos países, iii) la velocidad en que se ha incrementado la vulnerabilidad respecto a la velocidad con la que han avanzado los efectos del CC, y iv) por el aumento de estrés que ha generado el turismo en los ecosistemas acuáticos (intereses corporativos). En la actualidad uno de los grandes retos es justo disminuir la vulnerabilidad en la zona de Centroamérica y el Caribe, ya que es una de las regiones más azotada por el incremento de ciclones y aumento de la temperatura en el océano. Empero, las desigualdades e intereses no han permitido la realización de acuerdos regionales para la protección de la naturaleza, específicamente de los arrecifes de coral.

En México existen áreas de oportunidad para mejorar la normativa para la conservación de los ecosistemas acuáticos, ya que hasta el año 2016 los artículos 26, 27 y 48 de la Constitución son la norma con mayor fuerza para la conservación de los ecosistemas, siempre que sea parte del Plan Nacional de Desarrollo o de los objetivos ecológicos de la nación.

Una economía marítima diversificada y sostenible que logre generar en las poblaciones costeras resiliencia contra el CC es una opción de buenas prácticas que se podría aplicar como alternativa ante la multiamenaza del CC y para avanzar en el cumplimiento del objetivo 14 “Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos” de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Es decir, la economía azul es una alternativa que permite desacelerar

las afectaciones medioambientales que resultan del crecimiento, generando de esta manera un desarrollo inclusivo mediante el uso de la tecnología eficiente.

Por otro lado, si bien existen leyes que regulan la explotación de los recursos, sería conveniente establecer medidas como las de otros países (Filipinas, Tailandia o Indonesia) para realizar cierres temporales de las áreas naturales con riesgo ecosistémico, para permitir la restauración de la flora y fauna. Una medida alternativa que podría apoyar a reducir el estrés al que están sometidos los arrecifes es el cierre parcial de las playas, ya que las prácticas inadecuadas de turismo, la pérdida del hábitat costera y las deficiencias en trato de las aguas residuales aunado a la multiamenaza del CC, podrían incrementar los riesgos que conlleva la pérdida de arrecifes coralinos.

En México se han realizado cierres parciales de playas para apoyar a la recuperación de los arrecifes, como sucedió en 2019 en Cozumel. Durante el tiempo de cierre parcial se realizaron acciones estratégicas de corto a largo plazo, con el fin de generar conciencia de la importancia de los arrecifes, establecer sistemas de monitoreo, crear buenas prácticas de servicios de recreación turísticas, fomentar la educación ambiental; entre otras acciones que permiten que la sociedad civil, los hoteleros y el gobierno de los municipios apoyen el realizar las medidas adecuadas para proteger a los arrecifes.

El cierre de playas es una alternativa para permitir que la naturaleza se recupere de los estragos a los que se les ha sometido, que se concientice sobre la importancia de los arrecifes. El cierre parcial es una medida realizada en distintos países como Tailandia en las Islas Kho Phi Phi, Bali en Tailandia, Boracay en Filipinas y ahora en México, específicamente en las playas de Cozumel. Establecer esta medida permitiría una mejor conservación de los arrecifes, y en consecuencia atraería beneficios en las zonas costeras continuas como es el manglar y los pastos marinos e incluso los ecosistemas terrestres.

Se debe contemplar que los ecosistemas acuáticos sirven como reguladores de la temperatura del océano, la atmosfera y como barrera natural contra ciclones, y su salud permite ser el hábitat especies marítimas. Es decir, si los gobiernos y la

población concientizaran en conjunto al valor de los arrecifes, la degradación de ellos sería menor debido a que existirían políticas públicas eficientes para su cuidado y restauración, bajo la tutela del Estado y la sociedad civil.

Algunos de los factores que intervienen para determinar el estado de salud de los arrecifes son la cantidad de nutrientes en el mar donde éstos se localizan, cobertura de coral, mortalidad, bioerosión, macroalgas y la riqueza de las especies marítimas que habitan en él.

La principal función climática de los arrecifes es regular la temperatura del océano y su capacidad de capturar el CO², y funcionan como contención de los vientos que impactan la costa. Los principales arrecifes en mundo se encuentran en los mares de los trópicos, en quince zonas principalmente, sin embargo es importante observar el grado de degradación en el que se encuentran, algunos de los arrecifes se encuentran destruidos, en estado crítico, o en riesgo. Los arrecifes donde se puede identificar mayor degradación se encuentran en la región de Mesoamérica (3,040 km²), las Antillas del Este (1,920 km²) y las Islas Micronesias (5,270 km²); sumando un territorio total de 10,230 km².

En este sentido, según la comparación que se realizó en la investigación con los reporte de *Status of Coral Reefs* la región de los Corales de Mesoamérica es una zona en donde se ha logrado reducir el grado de amenaza siempre y cuando se encuentren bajo poca o nula amenaza, ya que las medidas preventivas como realizar Áreas Naturales o establecer normativas puede apoyar en la reducción de la vulnerabilidad. Por otro lado, la historia ha sido distinta para los arrecifes que se encuentran en estado de riesgo, ya que en su mayoría se encuentran expuestos a sedimentación, turismo o explotación petrolera. En el caso de México existe una evidente relación entre el riesgo que plantea el aumento de huracanes sumado al estrés causado por la explotación desmedida por actividades terciarias en la zona.

Es importante desde el punto de vista económico identificar el valor de los arrecifes, en principio debido a que tienen un valor *per se* como ecosistema, pero también su existencia genera una derrama económica, ya que permiten ser fuente de alimentación a través de la pesca, de igual manera permiten la atracción de

turismo, lo cual genera una fuerte derrama en el PIB. Por la anterior, genera polos de inversión que permiten mejorar la calidad de vida de las poblaciones costeras. La explotación recreativa de los arrecifes es un factor determinante y directamente proporcional al aumento de oferta hotelera en la zona costera contigua.

El blanqueamiento es una amenaza que se debe medir respecto a los daños que causa en el arrecife, es decir, si el daño es reparable o mortal, en otras palabras, si se puede o no recuperar el coral a su estado previo al evento. Históricamente, las principales afectaciones de blanqueamiento de coral se dieron durante los eventos de “El Niño” en el océano Pacífico. Sin embargo, en los últimos años se ha observado un aumento considerable de la temperatura, lo que cual ha generado el incremento de eventos de blanqueamiento de los corales.

El constante aumento de temperatura ha impactado a los arrecifes, ya que estos no tienen la capacidad de trasladarse a aguas más frías, y se encuentran en constante contacto con el estrés término, perdiendo su capacidad de recuperación frente a los cambios de temperatura, ya que la disminución o pérdida de su capacidad receptora de carbono conlleva la disminución de su crecimiento. Es decir, cuando la temperatura asciende más de lo que los arrecifes tienen la capacidad de tolerar, suceden los eventos de blanqueamiento.

Los huracanes se distinguen por trasladar aires calientes hacia zonas frías, y para los arrecifes este fenómeno tiene repercusiones mayores que para la mayoría de la fauna, ya que por carácter sésil no pueden protegerse de los efectos adversos, es decir, no pueden trasladarse a zonas seguras, por lo cual las pérdidas de coral se vuelven significativas durante la temporada de huracanes.

De 1983 a 2016 se han presentado numerosos, huracanes tormentas y depresiones; sin embargo en la última década (2006-2016) el número de eventos aumentó tanto en ocurrencia como en intensidad, siendo que se presentaron 84 huracanes de categoría mayor a 3; es decir ha aumentado la presencia de aire caliente en zonas frías, las corrientes de aire y en consecuencia las corrientes

marinas han presentado un aumento en la presencia de temperaturas elevadas. Lo cual ha generado huracanes cada vez más intensos.

Los efectos de los huracanes, más el blanqueamiento son dos amenazas muy importantes para los arrecifes, ya que si el arrecife no se encuentra lo suficientemente fuerte como para poder recuperarse de las pérdidas de pigmentación y de esqueleto, su supervivencia se pone en riesgo, y así mismo su desaparición pone en riesgo los ecosistemas contiguos como son los pasto marinos o los manglares, ya que como se mencionó previamente a lo largo de la investigación, los arrecifes de coral sirven naturalmente como incubadora de pequeñas especies.

Se estima que desde 1993 al 2017 ha aumentado del nivel del mar aproximadamente 3.1 milímetros (mm) por año, lo cual ha afectado la densidad del agua, la luz que penetra según la profundidad del mar y la pérdida del oxígeno proveniente del mar a los ecosistemas costeros. El aumento del nivel del mar coincide con las latitudes de los territorios en los que se registra un aumento de la temperatura. Es decir, al mismo tiempo que aumenta la temperatura del nivel del mar, se daña el tejido externo de los arrecifes.

El SAM es el sistema arrecifal más largo del Atlántico Occidental, con aproximadamente 1000 km, es el arrecife transfronterizo más grande del mundo. En Quintana Roo los principales ecosistemas marítimos son los arrecifes de coral, las aguas marinas someras, las playas arenosas y las praderas de pastos marinos; siendo los arrecifes el hábitat predominante.

Confirmando la hipótesis de la investigación, el CC es la principal amenaza para el Sistema Arrecifal Mesoamericano, debido a los principales efectos que produce. El Caribe es una región naturalmente sensible a los cambios climáticos debido a su localización geográfica, teniendo influencia del océano Atlántico y Pacífico, debido a que el territorio que divide a los océanos es mucho menor que en el resto del continente. En Quintana Roo, se cuenta con una tendencia a la disminución de precipitaciones y aumento de la temperatura, tan solo en el periodo

de 2009-2016 se observó un incremento considerable tanto en la temperatura. Ejemplo de lo anterior, es que tan solo en el año 2016 se registró un aumento de .7°C respecto a la media de temperaturas máximas del periodo de 1985 a 2016.

Los huracanes son otra amenaza importante para los arrecifes en el estado de Quintana Roo. De 1988 a 2016 se han presentado 18 ciclones con afectaciones graves para Quintana Roo, de los cuáles 4 fueron huracanes categoría 5 y se registraron de 1988 a 2007. En este sentido es importante destacar que de los 18 ciclones principales ocurridos, trece de ellos se presentaron en los últimos 14 años. Sin embargo, es importante notar que si bien el Niño ha tenido repercusiones importantes en los arrecifes, estos eventos no coinciden con los huracanes que han afectado en los últimos años a Quintana Roo. Es decir, su ocurrencia no ha sido independiente.

Como se ha mencionado el Caribe es una zona sensible por su vulnerabilidad geográfica y los datos demuestran que esta zona ha sido una de las más afectadas por el CC en lo que respecta a aumento de temperatura y la ocurrencia de huracanes. En los últimos años, se ha disminuido el número de días fríos y la brecha de temperatura se ha reducido. Lo anterior aunado a los periodos de canícula que se presentan en Quintana Roo genera un riesgo inminente para la supervivencia de los arrecifes. Ya que estos no soportan variaciones de temperatura tan altas y se encuentran en constante estrés desde hace algunos años, no permitiendo su correcta recuperación en su estructura ósea y crecimiento.

En Quintana Roo se puede observar un aumento de la temperatura oceánica según la época del año. Los meses en donde se puede observar de mejor manera la variación de temperatura, son los meses de agosto y febrero. En este sentido, debido a la ubica geográfica de Quintana Roo, su vulnerabilidad es mayor respecto al aumento de temperatura a comparación que otros territorios del Caribe o incluso de la República Mexicana.

Aunado al blanqueamiento, el aumento de la temperatura y la creciente ocurrencia de los huracanes; el aumento del nivel del mar reduce la penetración de

los rayos solares a los arrecifes. Uno de los riesgos más importantes del aumento del nivel del mar en Quintana Roo y en el Caribe es el incremento de las inundaciones debido a que los sedimentos impiden la correcta penetración de la luz para los corales.

Por último, las enfermedades de coral, si bien no están relacionadas al acontecimiento de un hecho exacto, si se tiene evidencia de su aparición cuando la temperatura es elevada o existe contaminación, ya que los corales al estar con bajas defensas por su condición, son proclives a enfermedades. Las enfermedades más comunes en los corales son la enfermedad de banda negra, banda blanca y la de banda amarilla. Debido a la riqueza ecosistémica, los arrecifes ubicados en Quintana Roo y el resto de la Península de Yucatán tienen mayor diversidad de enfermedades que se pueden encontrar, por lo tanto en los últimos años se ha observado tendencia hacia el deterioro de la salud del arrecife.

El tema del impacto del CC en los arrecifes es un tema que se debe seguir investigando, ya que los arrecifes son una de las herramientas que tiene la naturaleza para regular la temperatura, y su supervivencia es esencial en el combate al CCA. Las amenazas en el Caribe se han incrementado en los últimos años, y al momento son muy pocos los datos que se tienen para realizar medidas de mitigación efectivas como región. En México al tener uno de los arrecifes con mayor riqueza ecosistémica podrían existir distintas soluciones y ser pioneros en alternativas de mejora.

Por otro lado, económicamente se pueden realizar estrategias para que desde la gobernanza internacional y nacional se realicen propuestas sostenibles, que sean fructíferas para los ecosistemas de la zona y beneficien de manera incluyente las cuales deberán estar bien planificadas en el corto y largo plazo, ya que los arrecifes necesitan acciones inmediatas para su conservación.

En este sentido, algunos desafíos que identifiqué durante el desarrollo de la investigación fue encontrar datos del periodo elegido respecto a las afectaciones apreciables en los arrecifes y el aumento de temperatura y ciclones. La iniciativa *Healthy Reefs* comenzó a realizar las investigaciones periódicas del estado en que

se encuentra el SAM y los datos que ha arrojado su monitoreo desde 2008. Por otro lado, existe una deficiencia respecto a la falta de normativas a nivel internacional como nacional que cuiden los ecosistemas marítimos, existe literatura respecto a los ecosistemas terrestres, ANP o santuarios, sin embargo existen áreas de oportunidad en la materia para proteger el ecosistema marino.

Algunas propuestas y reflexiones para mitigar las amenazas del CCA a los arrecifes son realizar cooperativas que salvaguarden los ecosistemas costeros, sin embargo, estas cooperativas deben estar reguladas desde el Estado ya que las poblaciones indígenas que han sido desplazadas pueden apoyar de manera eficiente, por su conocimiento de los ecosistemas. Podrían realizarse aldeas sostenibles en donde la población sea empleada, pero también tenga una formación especializada. Estas medidas fomentarían actividades y proyectos que permitan disminuir las vulnerabilidades tanto de la naturaleza como de la población.

Por otro lado, también sería recomendable realizar una estrategia sólida para fomentar el turismo sostenible en la zona, que permita a los arrecifes tener periodos de recuperación y disminuyendo la cantidad de turismo anual en la costa. Si bien puede ser una idea que cause polémica, el incrementar los costos para el hospedaje extranjero y los requisitos podría mejorar la salud de los arrecifes. Es necesario realizar una estrategia de inversión sostenible, ya que la degradación cada vez es mayor.

De igual manera una propuesta que sería recomendable se realice de manera regional (en principio) es la de formar un repositorio donde los países caribeños y centroamericanos publiquen sus datos y resultados de investigaciones. Para poder crear saberes regionales que permitan poner en marcha acciones de cooperación, y en un futuro incluso se podría estar preparado como región ante el CC.

Otra propuesta que se podría hacer es copiar prácticas que se están realizando en otros países como son las granjas marinas, el uso de conchas para absorber el CO₂, los bosques de Kelp, e incluso se podrían realizar injertos de arrecifes para poder restaurar las cadenas pérdidas o que se encuentran débiles.

En la investigación observamos cómo el sistema económico actual (capitalismo) nos ha llevado a un a sobre explotación de los recursos, a rebasar los límites ecológicos, es necesario realizar soluciones consientes y ser parte de ellas, ya que nosotros somos parte de la naturaleza.

Como especie construimos un sistema económico que “funcionó” por siglos, pero en cuanto se acaben los recursos colapsará el sistema (ya lo está haciendo), debemos generar una estrategia sostenible, respetando y ahora apoyando la conservación de la naturaleza y el medio ambiente.

Bibliografía

A.E. Strong, C.S. Barrientos, et al., Improved Satellite Techniques for Monitoring of Coral

Anthony Giddens, Consequences of Modernity, Cambridge, Polity Press, Sociology, 1990, tercera edición.

Arronson RB, Precht WF, "White band disease and the changing face of Caribbean coral reefs", 32, 3, Hydrobiologia, 2001, págs: 25-38

Barbara Brown, "Disturbances to reefs in recent times", New York, EUA, Life and Death of coral reefs, Chapman & Hall, pp: 191-222.

Bindoff N.L, J. Willerbrand, V. Artale, Observations: Oceanic

Bryant D., Arrecifes en Riesgo: Un indicador Basado en Mapas de las Amenazas a los Arrecifes de Coral, [en línea], Instituto de Recursos Mundiales, 1998, p.10, Dirección URL: pdf.wri.org/reefs.pdf [consulta: 6 de noviembre de 2019].

Clive Wilkinson, Status of Caribbean coral reefs of the World, Global Coral Reef Monitoring Network y Reef and Rainforest Research Centre, Townsville, Australia, 2008, 298 pp.

Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo, Informe Brundtland, 1987, p.23

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Programa de Manejo. Reserva de la Biosfera Caribe Mexicano, México, 2016, pág. 6.

Cróquer A., Weil E., et al., "Impacto d White plague-II outbreak on a coral reef in the archipiélago Los Roques National Park, Venezuela",41, Caribbean Journal of Science, 205, págs: 825-823.

David Harvey, The Condition of Postmodernity, Oxford, Basil Blackwell, 1989, p. 415.

Decenio Internacional para la Reducción de “Desastres Naturales” (1990-1999), Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD) en 2005, IV Reporte del IPCC en 2007.

Gay, y otros. 2015. Reporte Mexicano de Cambio Climático Grupo II Impactos, vulnerabilidad y adaptación. Universidad Nacional Autónoma de México / Programa de Investigación en Cambio Climático. México, 2015. pág. 16.

Interamerican Association For Environmental Defense (AIDA), La protección de los Arrecifes de Coral en México: Rescatando la biodiversidad marina y sus beneficios para la humanidad, 2014, pag. 21.

Jesús Arias, Tropic models of the protected and unprotected coral reef ecosystems in the South of the Mexican Caribbean, Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Vol. 366, pp. 236-255.

José Carriquiry, “El papel de los arrecifes coralinos en el flujo de carbono en el océano: estudios en el Pacífico Mexicano”, Carbono en Ecosistemas Acuáticos de México, Hernández de la Torre (Eds.), INNEC-SEMARNAT, México, Ciudad de México, 2007, p.215.

Kate Baker, “Flexibility and specificity in coral-algal symbiosis: diversity, ecology and biogeography of Symbiodinium”, Vol. 34, Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics, pp. 661-689.

Magali Daltabuit, “Globalización y turismo en el sur de Quintana Roo”, vol. 27, Estudios de cultura maya, 2006, 99-124 pp.

Mark Eakin, Jessica Morgan, et al., Caribbean Corals in Crisis: Record Thermal Stress, Bleaching, and Mortality in 2005, núm. 5, vol. 11, Plos one, 15 de noviembre de 2010.

Peter Glynn, “Coral reef bleaching: facts, hypotheses and implications”, núm. 2, Global Change, 1996, pp.495-509.

Piers Blakie, Terri Cannos, Ian Davis, Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters, Londres, Inglaterra, Routledge, 1994, p.277.

Reef Bleaching, 2, Proceedings of the 8th International Coral Reef Symposium, págs: 1495-1498.

Ronald Robertson, Globalization: Social Theory and Global Culture, California, Thousand Oaks, Sage, 1992.

Sofía Cortina Segovia, Gaëlle Brachet Barro, Ibañez, Quiñones, Océanos y costas. Análisis del marco jurídico e instrumentos de política ambiental en México, México D.F, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2007, primera edición, p.41.

Tomilson John, 1999, Globalization and Culture, Chicago: University of Chicago, United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD), 1983-2002. World Investment Report, New York, Estados Unidos.

UNEP-WCMC, In the front line: Shoreline protection and other ecosystem services from mangroves and coral reefs, Cambridge, UK, 2006, p.33.

United Nation, Global Change and sustainable development: critical trends, Report of the Secretary- General, Economic and Social Council, E/CN.17/1997/3, 1997, p. 2.

Veron, J.E., O. Hoegh-Guldberg, T.M. Lenton, J-M- Lough, D.O. Obura, P. Pearce-Kelly, C.R. Sheppard, M. Spalding, M.G. Stafford- Smoth y A.D. Rogers (2009). "The coral reef crisis: The critical importance of <350 ppm CO₂", Marina Pollution Bulletin 58, 2009, ELSEVIER, pp. 1428-1436.

Wilkinson CR (Ed.), "Status of Coral Reefs of the World: 1998", Australian Institute Marine Science, Australia, 1998, 184 págs.

Wilkinson CR (Ed.), "Status of Coral Reefs of the World: 2000", Australian Institute Marine Science, Australia, 2000, 363 págs.

William Cantton y Riley E. Dunlap, "Environmental Sociology: A new paradigm", The American Sociologist, vol. 13, United States, Washington State University, Febrero, 1978, pp.41-49.

William I. Robinson, Una teoría sobre el capitalismo global: producción, clases y Estado en un mundo transnacional, México, D.F., Siglo XXI, 2013, p.18.

William Precht y Richard Aronson, "Climate flickers and range shifts of reef corals", núm. 6, 2004, *Frontiers of Ecology and the Environment*, pp. 331-350.

Ciberografía

Administración Oceánica y Atmosférica Nacional (NOAA), Diving Deeper: Episode 20, [en línea], Departamento de Comercio, U.S. Gobierno de los E.E.U.U., 24/02/10, Dirección URL: <http://oceanservice.noaa.gov/podcast/fab10/dd022410transcript.html> [consulta: 6 de noviembre de 2019]

Agenda 21, [en línea], ONU Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, División de desarrollo sostenible. Dirección URL: <https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/agenda21spchapter17.htm> [consulta: 26 de julio de 2019]

Ashvy S., Taylor M y Chen A, "Statical model for predicting rainfall in the Caribbean", [en línea], *Theoretical and Applied Climatology*, 82, 65-80, Springer, 2005, Dirección URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-004-0118-8#citeas> [consulta: 16 de febrero de 2021]

Atlantic and Gulf Rapid Reef Assesment, Dirección URL: <https://www.agrra.org/coral-reef-monitoring/coral-indicator/> [consulta: 05/03/2021]

Beeden R., B.L. Willis, L.J. Raymundo, C.A. Page, y E. Weil, Underwater cards for assessing coral health on Indo- pacific reefs, [en línea], 2008, Dirección URL: <http://www.gefcoral.org> [consulta 28 de octubre de 2019]

CEPAL, El turismo será uno de los sectores económicos más afectados en América Latina y el Caribe a causa del COVID-19,[en línea], Dirección URL: <https://www.cepal.org/es/noticias/turismo-sera-sectores-economicos-mas-afectados-america-latina-caribe-causa-covid-19> [consulta:11 de abril de 2021]

Cesar, H., L. Burke, y L. Pet Soedes, The Economics Worldwide Coral Reef Degradation, Arnhem, [en línea] The Netherlands: Cesar Environmental Economics Consulting, 2003, Dirección URL: https://www.wwf.or.jp/activities/lib/pdf_marine/coral-reef/cesardegradationreport100203.pdf [consulta: 20 de septiembre de 2019]

Climate Change and Sea Level, [en línea], Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report, pp. 295-428, Cambridge University, 2007, Dirección URL: https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch5.html, [consulta 26/02/2021].

Clive Wilkinson, Status of Caribbean coral reefs after bleaching and hurricanes in 2005, [en línea], Global and Coral Reef Monitoring Network, 152 pp., 2008, Dirección URL: https://coralreefwatch.noaa.gov/caribbean2005/docs/Status_of_Caribbean_Reefs_after_Bleaching_and_Hurricanes_2005.pdf [consulta: 16 de marzo de 2021]

Clive Wilkinson, Status of Coral Reefs of the World: 2002, [en línea], p.11, Australian Institute of Marine Science, Australia, Dirección URL: https://www.icriforum.org/sites/default/files/GCRMN_2002.pdf [consulta: 14 de agosto de 2019]

CONABIO, Infocéanos de México, Dirección URL: <https://infoceanos.conabio.gob.mx/metamares/proyectos/58950>, [consulta: 10 de septiembre de 2020]

D.W. Stahle, R.D. D'Arrigo, P.J. Krusic, et al, Experimental Dendroclimatic Reconstruction of the Southern Oscillation, [en línea], Bulletin of the American Meteorological Society, 79, págs: 2137-2152, 01/10/2018, Dirección URL: https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/79/10/1520-0477_1998_079_2137_edrots_2_0_co_2.xml, [consulta: 23 de febrero de 2021].

Dorina Basurto, Estrategias para el manejo integral de la zona costera: un enfoque municipal, [en línea], Instituto de Ecología A.C. y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SEMARNAT)-Gobierno del estado de Veracruz. Xalapa, México, 2006. Dirección URL: http://www1.inecol.edu.mx/publicaciones/MANEJO_INTEGRAL.htm, [consulta: 27 de abril de 2021]

Fredrik Moeberg, y Carl Folke, Ecological goods and services of coral reef ecosystems, [en línea], Ecological Economies, Vol. 29 (2), pp. 215-233, mayo 1999, Dirección URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800999000099>, [consulta: 20 de agosto de 2019]

Gobierno de Quintana Roo, Diagnóstico Causal Beneficio, [en línea], Dirección URL:<https://qroo.gob.mx/eje-4-desarrollo-social-y-combate-la-desigualdad/diagnostico-causal-especifico> [consulta: 25 de febrero 2020]

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, El océano y la criosfera en un clima cambiante, [en línea], Informe especial, Resumen para responsables de política, 38 págs., Suiza, IPCC, junio 2020, Dirección URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2020/07/SROCC_SPM_es.pdf [consulta: 26 de febrero de 2021]

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, El océano y la criosfera en un clima cambiante, [en línea], Informe especial, Resumen para responsables de política, 38 págs., Suiza, IPCC, junio 2020, Dirección URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2020/07/SROCC_SPM_es.pdf [consulta: 26 de febrero de 2021]

Healthy Reefs, Libreta de Calificaciones correspondiente al Sistema Arrecifal Mesoamericano, [en línea], 2008, Dirección URL: <https://www.healthyreefs.org/cms/wp-content/uploads/2012/12/Reporte-2008.pdf>, [consulta: 06/03/2021]

Healthy Reefs, Libreta de Calificaciones correspondiente al Sistema Arrecifal Mesoamericano, [en línea], 2008, Dirección URL: <https://www.healthyreefs.org/cms/wp-content/uploads/2012/12/Reporte-2008.pdf>, [consulta: 06/03/2021]

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2019), "Cuenta Satélite del Turismo de México" [en línea], Dirección URL: <https://www.datatur.sectur.gob.mx/SitePages/ProductoDestacado3.aspx>, [consulta: 11 de abril de 2021]

INEGI, "Actividades económicas por entidad federativa", [en línea], Dirección URL: <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/qroo/economia/default.aspx?tema=me&e=23>, [consulta: 18 de abril de 2021]

International Coral Reefs, Status of Coral Reefs 2004, [en línea], 2004, vol.1 p.7, Dirección URL: <https://www.icriforum.org/icri-documents/associated-publications/status-coral-reefs-world-2004> [consulta: 12 de noviembre de 2019]

IPCC. 2014^a Anexo II, Glosario En Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II, III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, [en línea], IPCC, Ginebra, Suiza, Mach, K.J., S. Planton y C. von Stechow (eds.), Dirección URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf [consulta: 12 de junio de 2019]

Isabelle M. Coté, John D. Reynolds, Coral Reef Conservation, [en línea], 568 pp., Cambridge University Press, 17 de agosto de 2016, Dirección URL: https://books.google.com.mx/books?id=a_g3vt8ncCAC&lpg=PA2&hl=es&pg=PA2#v=onepage&q&f=false [consulta 10 de septiembre de 2019]

Joaquin Garza, Spatial prediction of coral reef habitats: Interacting ecology with spatial modeling and remote sensing, [en línea], Marine Ecology Progress Series, Vol.269, pp.141-152, Dirección URL: https://www.researchgate.net/publication/250217972_Spatial_prediction_of_coral_r

eef_habitats_Integrating_ecology_with_spatial_modeling_and_remote_sensing/citation/download, [consulta: 20 de agosto de 2019].

John Platt, How much are coral ecosystems worth? Try \$172 billion- A year, [en línea], the Scientific American, 22 de octubre de 2009, Dirección URL: <https://blogs.scientificamerican.com/observations/how-much-are-coral-ecosystems-worth-try-172-billion-a-year/>. [consulta: 11 de agosto de 2019].

La Convención Ramsar y su misión, [en línea], Dirección URL: <https://www.ramsar.org/es/acerca-de/la-convencion-de-ramsar-y-su-mision> [consulta: 25 de julio de 2019].

Lauretta Burke, y otros, Reefs at Risk Revisited, [en línea], World Resources Institute, 2011, 114 pp., Washington, Dirección URL: https://pdf.wri.org/reefs_at_risk_revisited.pdf, [consulta: 3 de septiembre de 2019]

Listado de las Áreas Naturales Protegidas en México, CONANP, Dirección URL: <http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/listanp/>, [consulta: 06 de febrero de 2020]

Mark Spalding, Corina Ravilious, Edmund Green, World atlas coral reef, [en línea], 421 pp, UNEO/wcmc, University of California Press, Dirección URL: <http://fnad.org/Documentos/worldatlasofcora01spal.pdf>, [consulta: 19 de agosto de 2019].

MEPS, Economics of Coral Reef Restoration, [en línea], Arnhem, The Netherlands: Cesar Environmental Economics Consulting. 2003, Dirección URL: <http://map.marineecosystemservices.org/node/12569> [consulta: 23 de septiembre de 2019]

National Centers for Environmental Information, State of the Climate: Global Climate Report for 2017, [en línea], Enero de 2018, Dirección URL: <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/2017/13/supplemental/page-5>, [consulta: 31 de octubre de 2019]

National Geographic, Coral, Dirección URL: <https://www.nationalgeographic.es/animales/coral>, [consulta: 15 de agosto de 2019]

National Geographic, El aumento del nivel del mar se acelera: el cambio climático llega antes y más fuerte de lo previsto, [en línea], Cristina Crespo Garay, 25 de septiembre 2019, Dirección URL: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2019/09/el-aumento-del-nivel-del-mar-se-acelera-por-un-cambio-climatico-imparable> [consulta: 31 de octubre de 2019]

NOAA, Coral Reef Conservation Program, El valor que proporcionan los arrecifes de coral contra los peligros, [en línea], mayo 2019, Dirección URL: <https://coralreef.noaa.gov/aboutcrp/news/featuredstories/may19/welcome.html> [consulta: 20 de septiembre de 2019]

Organización Meteorológica Mundial, El estado del clima en 2018 pone de manifiesto un aumento de los efectos del cambio climático, [en línea], <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/el-estado-del-clima-en-2018-pone-de-manifiesto-un-aumento-de-los-efectos>, [consulta: 12 de junio de 2019].

Organización Mundial del Turismo, Reporte Anual 2017, [en línea], Dirección URL: <https://www.unwto.org/es/highlight/informe-anual-2017-de-la-organizacion-mundial-del-turismo> [consulta: 10 de noviembre de 2019].

PNUD-UNDRO, [en línea] Vulnerabilidad y evaluación del riesgo, 1ª Edición, Programa de Entrenamiento para el Manejo de Desastres, PNUD. Cambridge, Inglaterra: Cambridge Architectural Research Limited, 1991. pág. 36. Dirección URL: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd29/vulnera-riesgos.pdf> [consulta: 21 de julio de 2019]

Rescate del Sistema Arrecifal Mesoamericano, tema prioritario en la COP13, [en línea], Centro Mexicano de Derecho Ambiental, 8 de diciembre de 2016, Dirección URL: <https://www.cemda.org.mx/rescate-del-sistema-arrecifal-mesoamericano-tema-prioritario-en-la-cop13/> [consulta: 8 de agosto de 2019]

Scott Frazier, Visión General de los Sitios Ramsar, [en línea], primera edición, Wetlands International, 1999, 42 pp, Dirección URL: <http://biblioteca.cehum.org/bitstream/123456789/1220/1/Frazier.%20Visi%C3%B3n>

n%20General%20de%20los%20Sitios%20Ramsar%2C%20Una%20sinopsis%20de%20los%20humedales%20de%20importancia%20internacional%20en%20el%20mundo.pdf [consulta: 1 de septiembre de 2020]

SEMARNAT, Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera del Caribe Mexicano, Dirección URL: https://simec.conanp.gob.mx/pdf_libro_pm/191_libro_pm.pdf [consulta: 19 de abril de 2021]

Terrence Hughes, Community Structure and Diversity of Coral Reefs: The Role of History, [en línea] No. 1, Vol. 70, Ecology, pp. 275-279, Dirección URL: https://www.jstor.org/stable/1938434?seq=1#page_scan_tab_contents [consulta: 14 de agosto de 2019]

TNC México, Una brigada de voluntarios aprende a reparar los arrecifes de coral que protegen la costa en el caribe mexicano, Dirección URL: <https://www.tncmx.org/que-hacemos/recursos/historias-destacadas/guardianes-del-arrecife/> [consulta:18 de abril de 2021]

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, La pesca excesiva y la disminución de los arrecifes de coral amenazan las pesquerías de las islas del Pacífico y el Caribe,[en línea], 8 de junio de 2017, Dirección URL: <https://www.iucn.org/es/news/secretariat/201706/la-pesca-excesiva-y-la-disminuci%C3%B3n-de-los-arrecifes-de-coral-amenazan-las-pesquer%C3%ADas-de-las-islas-del-pac%C3%ADfico-y-el-caribe-%E2%80%93informa-la-uic> [consulta: 21 de abril de 2021]

World Wild Forum, Sistema Arrecifal Mesoamericano, Dirección URL: http://www.wwfca.org/especies_yllugares/arrecife_mesoamericano/ [consulta: 22 de octubre de 2020]