



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS POLÍTICAS Y SOCIALES

**LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS ARRECIFES DE CORAL
Y OTRAS AMENAZAS CONSTANTES**

T E S I S

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADA EN RELACIONES INTERNACIONALES**

P R E S E N T A:

EDITH AVALOS MARTÍNEZ

**ASESOR:
DR. ANDRÉS AVILA AKERBERG**



MÉXICO D.F.

2011.



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

AGRADECIMIENTOS

- ✦ Agradezco profundamente el apoyo incondicional que mis padres y hermana siempre me han brindado, ya que sin éste no hubiera sido posible la realización de este sueño tan anhelado, y sobre todo, por su infinito amor y comprensión.

- ✦ A mi familia, por apoyarme e instarme a ser mejor cada día.

- ✦ A mis amigos, por su amistad y por estar conmigo siempre que los necesito.

- ✦ A mi asesor, por sus recomendaciones y acertados consejos.

- ✦ A mis sinodales, por el tiempo invertido en el análisis de la misma y por su crítica constructiva.

- ✦ A la UNAM, por brindarme la oportunidad de formar parte de ella y darme el orgullo de ser universitaria.

ÍNDICE

Introducción.....	i
1. Generalidades del cambio climático	
1.1. Definición e impactos irreversibles del cambio climático.....	1
1.2. Los océanos y la elevación del nivel del mar. La situación crítica de los pequeños estados insulares y las zonas costeras.....	8
1.3. Acciones contra el cambio climático.....	20
1.4. El desarrollo de una agenda política internacional sobre cambio climático. El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) y el Protocolo de Kyoto.....	23
2. Un mundo incierto para los arrecifes de coral	
2.1. El maravilloso mundo de los arrecifes coralinos.....	31
2.2. La importancia de los arrecifes coralinos.....	45
2.3. El cambio climático como generador del emblanquecimiento coralino.....	48
2.3.1. El evento de “El Niño” y la enfermedad coralina.....	55
2.3.2. Acidificación de los océanos y la descalcificación del coral.....	61
2.4. Otros agentes de degradación en los arrecifes de coral.....	64
3. Casos específicos de arrecifes amenazados	
3.1. La Gran Barrera Arrecifal Australiana y el emblanquecimiento coralino.....	76
3.2. La Alianza de los Pequeños Estados Insulares. Caso Tuvalu y caso Fiji.....	85
3.3. El Caribe y el Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM).....	93
3.4. El Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV).....	101
4. Protegiendo a los arrecifes de coral	
4.1. Protecciones internacionales a los arrecifes coralinos.....	104
4.2. El papel de las Áreas Marinas Protegidas (AMPs).....	111
4.2.1. El papel de algunos Organismos Intl. en la designación de AMPs.....	113
4.2.2. El presente Derecho Internacional en su designación.....	115

4.3. Programas para la conservación del coral.....	118
4.3.1. La Alianza del Arrecife Coralino.....	118
4.3.2. La Iniciativa Intl. del Arrecife Coralino y el Año Intl. del Arrecife.....	119
4.3.3. La Red de Monitoreo Global del Arrecife Coralino.....	121
4.3.4. La Red de Acción Internacional del Arrecife Coralino.....	122
- Conclusiones.....	124
- Fuentes consultadas.....	128

ÍNDICE DE GRÁFICOS, MAPAS E IMÁGENES

Capítulo 1:

1. El Efecto Invernadero y el Calentamiento Global.....	2
2. Actividades humanas que generan CO ₂ y otros GEI.....	4
3. Emisiones totales de GEI por región.....	7
4. Las corrientes marinas.....	10
5. Posibles escenarios sobre el aumento del nivel del mar.....	12
6. El derretimiento del Ártico.....	13
7. Número de habitantes que viven dentro de los 100 kms. de la costa.....	16
8. Regiones vulnerables al aumento del nivel del mar.....	18

Capítulo 2:

9. Los arrecifes coralinos.....	32
10. Los manglares y pastos marinos.....	35
11. Distribución mundial de los arrecifes coralinos.....	36
12. Anatomía del pólipos coralino.....	38
13. Tipos de corales: corales pétreos y corales suaves.....	39
14. El desove de algunas especies de coral.....	40
15. Blanqueamiento coralino.....	48
16. Proceso de blanqueamiento en los corales.....	50
17. Índice de oscilación de ENSO.....	58
18. Tipos de enfermedades coralinas.....	60
19. El proceso de acidificación en los océanos.....	62
20. Depredadores que consumen el tejido vivo del coral.....	68

Capítulo 3.

21. Ubicación geográfica de la GBA.....	76
22. Las barreras coralinas e islas de la GBA.....	78
23. Localización geográfica de Tuvalu.....	87
24. Las mareas altas en Tuvalu.....	88
25. Ubicación geográfica de Fiji.....	92

26. La región del Caribe.....94

27. La región del SAM.....98

28. Parque Marino Nacional del SAV.....103

INTRODUCCIÓN

El cambio climático constituye uno de los retos más importantes del siglo XXI. A lo largo de su historia, la Tierra ha presentado cambios de clima naturales que varían año con año. Sin embargo, en los últimos 100 años el planeta se ha calentado de manera acelerada, debido a los incrementos de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera terrestre, principalmente dióxido de carbono (CO₂), lo cual está modificando su composición natural y por ende, provocando alteraciones en el clima.

Uno de los cambios más importantes en el clima es el aumento de la temperatura. En los últimos años, ha ido incrementando progresivamente y de continuar esta tendencia, las consecuencias seguirán siendo irreversibles tanto para las generaciones presentes como para las futuras. Los arrecifes de coral son sólo uno de los ecosistemas más afectados a causa de este fenómeno. Son estructuras con la apariencia de rocas o plantas, que albergan alrededor del 25% de toda la vida marina. Son comunidades formadas por corales de diversas formas y tamaños que abarcan cientos de kilómetros por debajo de la superficie del mar, y cuyo proceso de formación es muy lento y delicado.

Estos ecosistemas coralinos sostienen los medios de vida de millones de personas que viven en las áreas costeras tropicales, pues la mayoría de éstas son muy pobres y sus medios de sobrevivencia diaria dependen de éstos. Además de que nos brindan su belleza, también traen grandes beneficios a la sociedad: son lugares que sirven para la reproducción de crías de numerosas especies comerciales; abastecen a las comunidades costeras de alimento mediante la pesca, ya que en su mayoría dependen del consumo del pescado y sus derivados; proveen a algunas comunidades de empleo e ingresos a través del turismo; actúan como protectoras en caso de algún fenómeno natural como los huracanes y olas intensas y contribuyen a grandes avances farmacéuticos.

Una de las consecuencias del cambio climático es el emblequecimiento coralino, una respuesta generalizada mostrada por los corales al estrés, habiendo evidencia de que los incrementos en la temperatura del mar son los principales responsables de este evento. El cambio climático empeora las perspectivas para la supervivencia de estas maravillas naturales, haciendo hincapié en que este fenómeno

no es el único que altera su estructura. Otros factores antropogénicos influyen en su degradación, incluyendo la contaminación marina, desarrollo costero, turismo irresponsable, entre otros.

Estando conscientes del grave deterioro a los ecosistemas coralinos, el presente trabajo pretende dar a conocer un panorama general sobre el cambio climático, incluyendo sus efectos en los océanos y el medio marino; revisar las acciones o medidas que han tomado los instrumentos jurídicos internacionales que luchan contra el cambio climático; identificar otras causas que generan la degradación de los arrecifes coralinos; establecer casos específicos que comprueben las repercusiones del cambio climático y demás amenazas a éstos; investigar si existen instrumentos internacionales que regulen su preservación, así como el papel que juegan en la protección de éstos; determinar el rol que juegan las AMPs en la conservación de estos hábitats marinos, así como el papel de algunos Organismos Internacionales en su designación; conocer la importancia de las labores de los diversos programas que trabajan en pro de los arrecifes coralinos del mundo; y determinar algunas recomendaciones que puedan mejorar su protección y viabilidad a largo plazo, teniendo en cuenta que la pérdida de estas maravillas oceánicas conlleva a repercusiones políticas, económicas, sociales, ambientales y culturales para el ser humano a niveles locales, regionales y mundiales.

El *capítulo 1* titulado “Generalidades del cambio climático”, proporciona un marco general del mismo, incluyendo los posibles escenarios futuros, así como las acciones y/o medidas que se están llevando a cabo para disminuir sus efectos. El *capítulo 2* titulado “Un mundo incierto para los arrecifes de coral”, se enfoca al objeto de estudio, siendo el cambio climático el generador del emblanquecimiento coralino; asimismo identifica otros agentes de degradación por el ser humano, así como los impactos que puedan producirse en la pérdida de éstos. El *capítulo 3* titulado “Casos específicos de arrecifes amenazados”, establece cinco regiones que presentan “síntomas de estrés” por los factores anteriormente mencionados: la Gran Barrera Arrecifal Australiana (GBA), por ser considerada la barrera de arrecifes más grande del mundo; la Alianza de los Pequeños Estados Insulares (AOSIS, por sus siglas en inglés), debido a su gran vulnerabilidad a los efectos del cambio climático y otras amenazas, específicamente Tuvalu, un estado isleño que podría desaparecer en las próximas décadas, y Fiji (Isla Viti Levu), otra nación propensa a sufrir los mismos estragos; el Caribe, por ser una

región potencialmente amenazada por el cambio climático y demás actividades humanas, al igual que el Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM); y finalmente el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV), porque cuenta con la comunidad coralina más dañada por el hombre de los tres sistemas arrecifales ubicados en nuestro país. El *capítulo 4* titulado “Protegiendo a los arrecifes de coral”, presenta las medidas y/o protecciones a nivel internacional que se han tomado al respecto, incluyendo el papel de las AMPs, así como los programas que trabajan en su conservación y restauración. Finalmente se presentan las conclusiones, en las cuales se dan algunas recomendaciones que aseguran su viabilidad a largo plazo.

Las Relaciones Internacionales (R.I.) son un enfoque multidisciplinario que estudia las relaciones entre los Estados y colectividades humanas, por lo que no sólo comprenden cuestiones políticas, económicas, sociales y/o culturales, también abarcan temáticas medioambientales. Son visiones que la convierten en un escenario lleno de diversas concepciones que hacen de ella una disciplina distinta a las demás, ya que no sólo se orientan al estudio de un solo fenómeno, sino que va más allá en busca de nuevas alternativas y respuestas ajustadas a la realidad internacional.

El Estado es una entidad política que surge como respuesta a la búsqueda de poder. De haberse convertido en el actor principal de las R.I. durante el periodo entre guerras (1919-1945) hoy en día necesita de la participación de otros actores de la sociedad internacional (individuo, Organizaciones Internacionales [O.I.], Organizaciones No Gubernamentales [ONGs], etcétera), debido a su incapacidad de resolver los conflictos. Siendo el representante de su sociedad, tiene el deber de satisfacer el interés nacional, y dar respuesta a los nuevos cambios en el sistema político internacional, con la asistencia de los actores ya mencionados.

El realismo ha sido el modelo teórico dominante en las R.I. Si bien no ha dejado de ejercer su influencia con mayor o menor intensidad hasta nuestros días, sigue poseyendo el dominio de una serie de factores que lo hacen perdurable en el tiempo. No obstante, otras corrientes teóricas están tomando forma en las nuevas concepciones de las R.I. Estas son las referidas al Nuevo Orden Mundial, una “visión idealista” que se caracteriza por ver a las R.I. como una teoría de la sociedad mundial, rechazando todo paradigma estatocéntrico. Esta teoría aporta nuevos elementos a la disciplina, incluyendo la búsqueda de nuevos enfoques y planteamientos que lleven a

un “nuevo orden mundial”, a partir de un interés global común, no sólo centrándose en garantizar la paz, sino también en el resto de problemas que padece el mundo. Señala la necesidad de promover los valores universales que incluyen el bienestar económico, la justicia social, la democracia, los derechos humanos, la erradicación de la guerra y la violencia, así como el equilibrio ecológico, teniendo en cuenta las tendencias que hoy en día aquejan al planeta (crecimiento demográfico, agotamiento de recursos, contaminación ambiental, cambio climático, proliferación nuclear y de armas, terrorismo, entre otras), así como las diferencias de todo tipo existentes en el mundo (la brecha entre el Norte [países desarrollados] y el Sur [países en desarrollo]). Y para alcanzar retos globales, es necesario propiciar estrategias que permitan superar las actuales estructuras y procesos que impiden el establecimiento del nuevo orden mundial.

El Nuevo Orden Mundial debe definirse como aquel que resuelva los retos actuales. Debe crearse una agenda común que comprenda asuntos de gran importancia para todo el mundo, pero también deben incluirse los grandes problemas ambientales en una Agenda Ambiental Internacional, ya que comprenden el mismo orden de importancia. Una alianza entre las grandes potencias como Estados Unidos y China por ejemplo, fijaría las bases para hacer frente a los problemas mundiales. Es necesario que unan fuerzas alrededor de objetivos comunes para lograr un crecimiento mundial sustentable, mediante un diálogo estratégico, y empleen su poder político y económico para entablar una cooperación internacional en todos los niveles. Puede que en un momento los Estados dejen de confiar en las alianzas para seguir su propia política independiente, tanto de un punto de vista estratégico como político. Sin embargo, son mecanismos que pueden lograr grandes cambios en el nuevo orden mundial.

El Ambiente es un asunto de interés global porque es el Patrimonio Común de la Humanidad. Los factores ambientales influyen en las R.I. y en el comportamiento de los Estados a nivel interno y externo. La relación entre problemas ambientales y conflictos sociales internacionales es cada vez más estrecha. Conflictos por el agua y demás recursos naturales son cada vez más frecuentes entre regiones y/o Estados. La mayoría de las guerras en la historia de la humanidad han sido una lucha por el poder que otorga el territorio y los recursos naturales que allí se encuentran y que son condicionantes del crecimiento económico, del poder y la dominación. Primero, los

minerales, metales y demás productos de la tierra; después, los recursos energéticos y el petróleo; y en un futuro, el agua, todos recursos estratégicos. El poder de cualquier Estado, además del poder económico o militar determina el rumbo de cualquier nación, pero ante todo, las condiciones geográficas, así como los recursos naturales, son esenciales si es que quiere seguir erigiéndose como una potencia poderosa.

El Medio Ambiente se erige como elemento crucial de las R.I., sobre todo porque está íntimamente asociado con otro tema fundamental: el desarrollo. El Desarrollo Sostenible es una postura que articula crecimiento económico con protección ambiental, sin agotar la base de recursos en que se sustenta el crecimiento para satisfacer las necesidades de las generaciones presentes y futuras. El Caribe por ejemplo es una de las regiones más pobres, con una de las tasas más bajas de ingreso per cápita, a pesar de que la región tiene petróleo, gas natural, carbón y recursos mineros. ¿Cómo es que una zona con tanta riqueza natural presenta tanta desigualdad, pobreza e injusticia?

Los países desarrollados se resisten a efectuar una verdadera transferencia de conocimiento y desarrollo científico y tecnológico a los países en desarrollo, no sólo porque generarían enormes beneficios y ventajas comparativas en estos últimos, sino también para seguir manteniendo las riendas de la dominación. A partir del auge de la globalización ha habido un mayor deterioro ambiental. No obstante, los países en desarrollo deben verla como una oportunidad de diálogo. Reconociendo la existencia de un mundo global donde hay intereses contrapuestos, las ventajas ambientales y de territorio deben considerarse como el escenario más propicio para irrumpir en las negociaciones internacionales. Incluso podría plantearse un canje de deuda externa por deuda ecológica para compensar los desequilibrios de una gran prosperidad insostenible.

La Sociedad Internacional experimenta transformaciones sustanciales en su estructura y dinamismo. Se han realizado cambios profundos dentro de ésta, pero siguen siendo insuficientes. Ya no sólo persiste la idea de preservar la paz dentro de un orden internacional racional y justo, otros factores de igual relevancia deben ser incluidos. La evolución de ésta hace alentar esperanzas para que ese cambio real se produzca, conforme a las nuevas realidades y a la solución de los problemas profundos que tenemos pendientes. “Un modelo sólo cambia cuando se modifican elementos

fundamentales, y sólo aparece uno nuevo cuando emergen nuevos postulados básicos sobre la realidad". Vivimos en un orden mundial cambiante, por lo que se requieren nuevas formas de replantear y entenderla.

El emblanquecimiento coralino como consecuencia del cambio climático está empeorando las perspectivas de sobrevivencia de los arrecifes coralinos y peor aún, las amenazas a éstos están acrecentándose, afectando a infinidad de comunidades costeras y estados isleños alrededor del mundo. Por ello, constituyen un reto más en la agenda de los gobiernos y en cada uno de nosotros para su preservación. Cabe aclarar este punto: no todas las naciones cuentan con áreas arrecifales. Sin embargo, la conservación y responsabilidad global debe extenderse a más ámbitos de importancia ecológica, ya que la protección del medio ambiente y todo lo que conlleva es vital para definir el futuro de nuestro Planeta.

Resulta de vital importancia considerar varios factores de manera integrada. El enfoque ecosistémico promueve la conservación y uso sostenible de los ecosistemas y sus recursos, buscando un equilibrio entre ambos. Este enfoque reconoce al ser humano como un componente integral en la conservación de los ecosistemas. Fue desarrollado bajo la Convención sobre la Diversidad Biológica (CBD), y reafirmado en la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sustentable (WSSD, por sus siglas en inglés) de 2002. Más acuerdos internacionales lo toman como una herramienta viable para la protección a largo plazo de los arrecifes coralinos (las AMPs representan una importante herramienta para implementarlo).

1. Generalidades del cambio climático

1.1. Definición e impactos irreversibles del cambio climático.

La atmósfera ¹ de la Tierra se ha calentado de manera inusual, considerablemente más rápido que lo que se había visto en milenios previos. Está formada por cuatro capas distintas, que se definen a partir de su temperatura. La parte inferior de la atmósfera se conoce como tropósfera,² la cual contiene el 80% de todos los gases de la atmósfera. La siguiente capa es la estratósfera, la parte más fría de toda la atmósfera (-90°C), seguida de la ionósfera y la exósfera, que nos protegen contra la radiación³ solar ultravioleta emitida por el Sol. Actualmente, la atmósfera contiene 78% de nitrógeno y 21% de oxígeno, constituyendo el 99% de los gases atmosféricos,⁴ aunque sus dos gases más importantes desde el punto de vista climático son el dióxido de carbono (CO₂)⁵ y el vapor de agua,⁶ ya que retienen parte de la radiación solar que entra a la Tierra.⁷ La energía es retransmitida como radiación térmica por moléculas de Gases de Efecto Invernadero (GEI), en lugar de ser emitida hacia el espacio. El Efecto Invernadero es un fenómeno natural, que si bien siempre ha existido, se ha visto alterado debido a las altas concentraciones atmosféricas.⁸

¹ Capa gaseosa que regula la temperatura de nuestro Planeta.

² Es la capa más baja de la Tierra; en ésta interactúan todos los componentes del sistema climático.

³ Se le llama radiación a la emisión de cualquier tipo de rayos, ondas o partículas.

⁴ Otros gases que la constituyen son el argón (0.9%), otros gases raros (0.06%) y el dióxido de carbono (0.04%).

⁵ El CO₂ desempeña un papel crucial en mantener el equilibrio necesario para todo tipo de vida. También es un material residual de los combustibles fósiles que la mayoría de los seres humanos utilizan para la calefacción, transporte y demás necesidades energéticas.

⁶ El vapor de agua ha recibido menos atención que otros GEI, cuyas concentraciones han aumentado significativamente desde la Revolución Industrial.

⁷ El dióxido de carbono, el vapor de agua y demás GEI absorben las radiaciones de onda larga o infrarrojas emitidas por la Tierra, calentando la atmósfera, así como el clima del planeta. Tim Flannery, *El clima está en nuestras manos. Historia del Calentamiento Global*. Título original: *We are the Weather Makers. The Story of Global Warming*. Traduc. Damián Alou, Ed. Taurusminor, Santillana Ediciones Generales, S. A. de C.V., México, 2007, 1ª Parte: La atmósfera. Parte 3: Los Gases Invernadero. p. 40.

⁸ El Efecto Invernadero ha permitido mantener una temperatura promedio de 15°C en el planeta y sin éste, la temperatura de la Tierra sería en promedio 33°C más fría y muy probablemente no se hubiera desarrollado vida. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Qué es el Cambio Climático* [en línea, pdf]. Área responsable: Subsecretaría de Planeación y Política Ambiental. 15 de agosto de 2008. Dirección URL://<http://www.semarnat.gob.mx/educacionambiental/documents/cambioclimaticocarteles.pdf> [fecha de consulta: 28 de agosto de 2009].

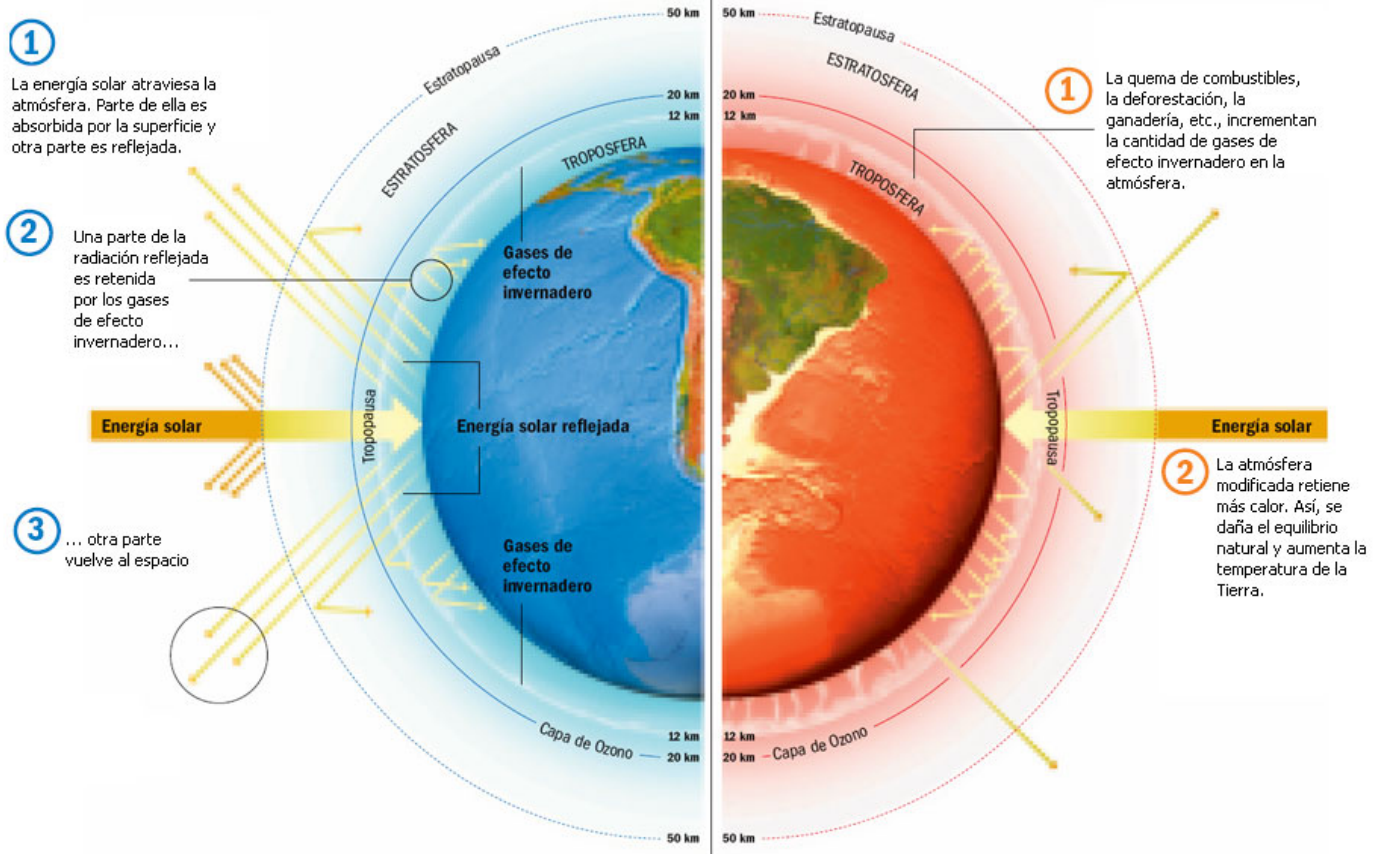
EL EFECTO INVERNADERO Y EL CALENTAMIENTO GLOBAL

EL EFECTO INVERNADERO

Es el calentamiento natural de la Tierra. Los gases de efecto invernadero, presentes en la atmósfera, retienen parte del calor del Sol y mantienen una temperatura apta para la vida.

EL CALENTAMIENTO GLOBAL

Es el incremento a largo plazo en la temperatura promedio de la atmósfera. Se debe a la emisión de gases de efecto invernadero que se desprenden por actividades del hombre.



Fuente: http://www.educasitios2008.educ.ar/calentamiento_global.jpg
[consulta: 13 de enero de 2010]

Hay dos tipos de efecto invernadero: uno natural que funciona desde hace miles de millones de años (vapor de agua) y otro intensificado, causado por los GEI presentes en la atmósfera, debido a las actividades humanas. El gas más importante de GEI es el vapor de agua, aunque son cinco sus principales emisiones que han sido influenciadas directamente por el ser humano: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), clorofluorocarbonos (CFS)⁹ y ozono (O₃).¹⁰

⁹ Compuesto químico formado de cloro, flúor y carbono que llega a la atmósfera y adelgaza la capa de ozono. National Library of Medicine, *Clorofluorocarbonos*, [en línea], Tox Town en español, 11 de mayo de 2009, Dirección URL: <http://www.nlm.nih.gov> [consulta: 12 de marzo de 2009].

¹⁰ No todos los GEI producen el mismo efecto, ya que si bien la atmósfera está constituida por 0.04% de dióxido de carbono, este último es el que más contribuye al problema. PNUD-SEMARNAT, *¿Y el medio ambiente? Problemas en México y el mundo*, México, 2007, p. 169.

El Potencial de Calentamiento Global (GWP, por sus siglas en inglés) es un indicador que mide la capacidad de los GEI en la retención de calor en la atmósfera. Cuanto más larga sea su permanencia en ésta, acumularán más calor, y a medida que aumentan, el calor adicional que retienen conduce al calentamiento global que influye en el sistema climático de la Tierra y puede llevar al cambio climático (el CO₂ es la base para todos los cálculos). ¿Qué tan caliente se tornará el planeta y a qué ritmo? A lo largo de los 4500 millones de años de historia de la Tierra, las interacciones del aire, mar y tierra han provocado que el clima fluctúe entre periodos de calor y frío.¹¹ Aunque la intervención humana ocurrió desde hace milenios, esta cobró relevancia a partir del siglo XIX, al iniciarse la Revolución Industrial¹² desde 1750, provocando que grandes cantidades de dióxido de carbono se liberaran a la atmósfera. En este periodo y hasta 1990, las concentraciones de CO₂ se incrementaron 30% y se prevé que antes de finalizar el próximo siglo se habrán duplicado.

Hasta antes de 1750, estas concentraciones nunca habían excedido las 280 ppm¹³ en la atmósfera, pero al comenzar la época preindustrial, las cifras indicaron que su concentración total ascendió a 390 ppm, vertiendo cientos de miles de millones de toneladas y otros GEI.¹⁴ El Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) publicado en 2007 indicó que, si no se adoptan las medidas necesarias para frenar sus efectos y disminuir los GEI emitidos, para el 2100 se prevé que la concentración global de dióxido de carbono será entre 540 y 970 ppm, teniendo en cuenta que las actividades humanas han vertido más de 1.1 miles de millones de toneladas de este gas por el uso excesivo de combustibles fósiles, de los cuales 770 millones fueron vertidos en los últimos 50 años.¹⁵

¹¹ Los cambios de clima son el resultado de la constante interacción entre la atmósfera, los océanos, las capas de hielo, los continentes y sobre todo, las diversas formas de vida en el planeta.

¹² Periodo de rápido crecimiento industrial que comenzó en Inglaterra en la 2da. mitad del siglo XVIII, extendiéndose a Europa y posteriormente a otros países como Estados Unidos. Si bien es cierto que por muchos años los combustibles fósiles han sido utilizados por el hombre, es en este periodo cuando se acentúan en mayor grado.

¹³ Abreviatura de “partes por millón”, que se define como la cantidad de materia contenida en una parte sobre un total de millón de partes. *Resumen del Informe Stern. La economía del Cambio Climático* [en línea, pdf] Euskadi en acción contra el Cambio Climático, Dirección URL: http://www.stopco2euskadi.com/documentos/informe_stern.pdf [consulta: 14 de enero de 2011], p. 2.

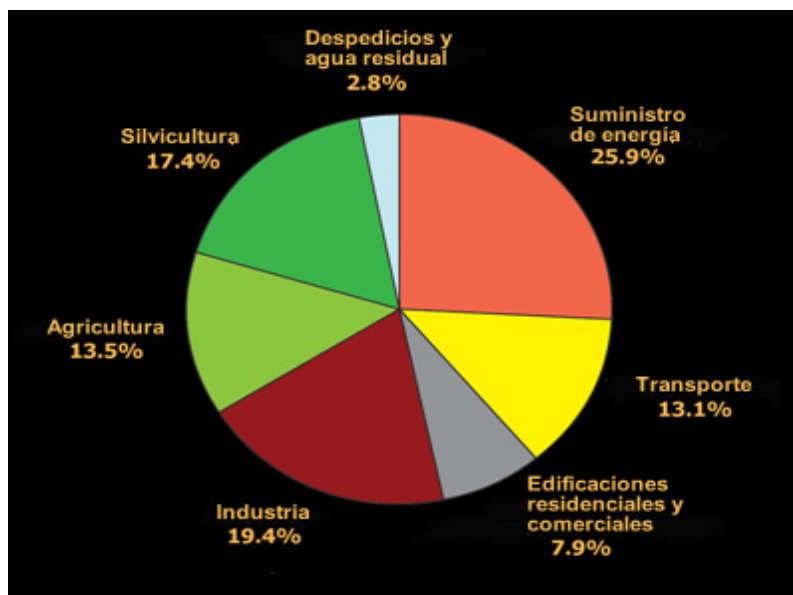
¹⁴ SEMARNAT. *Estrategia Nacional de Cambio Climático*. Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, México, 2007, p. 22.

¹⁵ *Cambio Climático 2007: Informe de Síntesis*. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo del Panel Intergubernamental de Expertos del Cambio Climático, Ginebra, Suiza.

Según el IPCC, el cambio climático se refiere a “todo cambio producido en el clima a lo largo del tiempo, ya sea debido a la variabilidad natural o como resultado de la actividad humana”, uso que difiere del adoptado en la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC, por sus siglas en inglés), donde el cambio climático se refiere a “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables.”¹⁶

Tal parece que las actividades del ser humano como la quema de combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón) en la industria y para el transporte, la urbanización y la deforestación de bosques y selvas son las principales generadoras del cambio climático: actualmente las emisiones de CO₂ que todos los humanos han liberado al quemar combustibles fósiles durante este último siglo, siguen flotando en el aire y es la causa directa e indirecta de aproximadamente el 65% del calentamiento global.¹⁷

ACTIVIDADES HUMANAS QUE GENERAN CO₂ Y OTROS GEI



Fuente: http://www.ipcc.ch/publications_and_data.jpeg
[consulta: 28 de abril de 2011]

Después del CO₂, el metano es el gas invernadero más importante, aunque sólo constituye 1.5 ppm de la atmósfera. Es 60 veces más poderoso que este gas a la hora

¹⁶ *Cambio Climático 2001: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad*, Contribución al Grupo de Trabajo II al Tercer Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. Cambridge University Press, 2001.

¹⁷ Miguel Ángel Rivera Ávila, *El Cambio climático*, Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Tercer Milenio, 1ª edición, México, 1999, pp. 32-35.

de retener calor, pero por suerte perdura menos años en ésta. Es creado por microbios que prosperan en entornos carentes de oxígeno, como en estiércol y manejo del ganado, así como en cultivos de arroz, depósitos de agua estancada y pantanos. En el caso del óxido nitroso, es 270 veces más eficiente en atrapar calor que el CO₂, pero es más escaso que el metano (un tercio de las emisiones globales de este gas proceden de la quema de combustibles fósiles, mientras que el resto proviene de plantas, residuos animales y uso de fertilizantes).¹⁸ Los GEI menos comunes son sustancias químicas pertenecientes a la familia de los hidrofluorocarbonos (HFC) y los clorofluorocarbonos (CFC) presentes en aerosoles, refrigerantes, aires acondicionados, extinguidores, entre otros. Fue hasta la década de los 90 cuando se prohibió su uso en los países desarrollados, y más tarde en los países en desarrollo,¹⁹ aunque actualmente siguen siendo utilizados en muchos países (son mil veces más poderosos a la hora de retener la energía calorífica que el CO₂ y pueden perdurar varios siglos en la atmósfera, sólo que sus emisiones son menores a diferencia de este último, cuyas acumulaciones perduran durante algunos miles de años).²⁰

Estreses que resultan del cambio climático, han comenzado a alterar la calidad de nuestro Planeta: cambios severos en el clima; temperaturas más altas y prolongadas; elevaciones en el nivel del mar; acidificación de los océanos; derretimiento de los glaciares; cambios en las corrientes oceánicas; disminución de la salinidad debido al incremento de las precipitaciones; huracanes y tormentas frecuentes;²¹ desaparición y pérdida de los ecosistemas y poblaciones; eventos de sequías e inundaciones; daños a la salud (propagación de enfermedades como el cólera, paludismo y diarreas); y el blanqueamiento de los arrecifes coralinos.²²

¹⁸ Hoy en día hay un 20% más de óxido nitroso del que había al inicio de la Revolución Industrial. Los gases generados en nuestros hogares e industrias, representan el 12% del total de GEI emitidos. John Houghton, *Global Warming: The Complete Briefing*, Cambridge University Press, Second Edition, Cambridge, 1997, Chapter 3: The Greenhouse Gases, pp. 22-25.

¹⁹ El Protocolo de Montreal suscrito en 1987, fue creado con el objetivo de reducir el uso de dichas sustancias, ya que la capa de ozono se estaba adelgazando.

²⁰ Mayores cantidades de CO₂ se emiten a la atmósfera cuando los combustibles fósiles son quemados. S/a. ¿Cuáles son los gases que más contribuyen al calentamiento global? [en línea]. Dirección URL: <http://www.tuimpacto.org/alto-potencial-de-calentamiento-global.php/GasesdeEfectoInvernadero>. [consulta: 5 de mayo de 2011].

²¹ Se cree que serán más numerosos e intensos que en la actualidad, debido a que el calor de los océanos, del cual se alimentan, se extenderá hacia los polos.

²² SEMARNAT. *El Planeta se está calentando* [en línea, pdf], México, 2007. Primera edición. Dirección URL: [http://www.semarnat.gob.mx/educacionambiental/Documents/ElPlaneta seestaCalentando.pdf](http://www.semarnat.gob.mx/educacionambiental/Documents/ElPlaneta%20se%20esta%20Calentando.pdf) [consulta: 2 de marzo de 2010].

En lo que va del siglo XXI, la temperatura del planeta se ha incrementado entre 0.3 y 0.6°C,²³ y el nivel del mar ha subido 10 a 25 centímetros (las temperaturas oceánicas aumentaron entre 0.3°C en los trópicos y 0.7°C sobre el pasado siglo, prediciendo un incremento de 2-3°C en este siglo).²⁴ El cuarto informe de 2007 sobre cambio climático elaborado por el IPCC, señala que las temperaturas de la superficie en este siglo son tan calientes o más que en cualquier otro siglo, estimando que los años acontecidos de 1998 a 2006 han sido los más calientes desde 1861. La Administración Nacional Aeronáutica y Espacial (NASA, por sus siglas en inglés), señaló que los cinco años más calurosos desde 1890 han sido 1998,²⁵ 2002, 2003, 2004 y 2005 (el año más caluroso de los últimos 150 años de récords meteorológicos, superando las estimaciones de 1998).

Ya sabemos que el ser humano interviene en los procesos naturales de la Tierra. El acelerado proceso de industrialización, deforestación, urbanización y otras actividades humanas refuerzan los GEI en la atmósfera. Por el solo hecho de usar aparatos eléctricos, encender una estufa o prender el automóvil, estamos contribuyendo por mínimo que sea, directa o indirectamente a la emisión de éstos. Para estabilizar las concentraciones atmosféricas se necesitaría reducir de inmediato las emisiones totales a menos de la mitad. Sólo si se comienzan a reducir hoy y se adoptan medidas viables como el incremento de sumideros²⁶ naturales y artificiales, llegaremos a un nivel que permita atenuar la intensidad del calentamiento global hacia el año 2100, ya que de lo contrario, éstos ya no podrán seguir absorbiendo GEI, y por lo tanto, acumularán y atraparán más calor. De no ser por las plantas, pronto nos ahogaríamos en CO₂, ya que mediante la fotosíntesis,²⁷ éstas lo recogen, utilizándolo para producir su propia

²³ Se estima que la temperatura continuará aumentando, con un promedio global de entre 1.4 y 5.8 °C sobre los niveles de 1900 para 2100. Cecilia Conde, *México y el cambio climático global*, SEMARNAT, México, 2007, p. 11.

²⁴ El nivel del mar está aumentando 0.5 mms. por año, y su velocidad está acelerándose, prediciendo un incremento de 90 cms. para el final de este siglo. SEMARNAT. *Estrategia Nacional del Cambio Climático*, op. cit. p. 17.

²⁵ Este año es considerado como uno de los más cálidos de las últimas décadas, debido a las temperaturas anormalmente altas presentadas entre junio y noviembre del mismo año. PNUD-SEMARNAT, op. cit. p. 176.

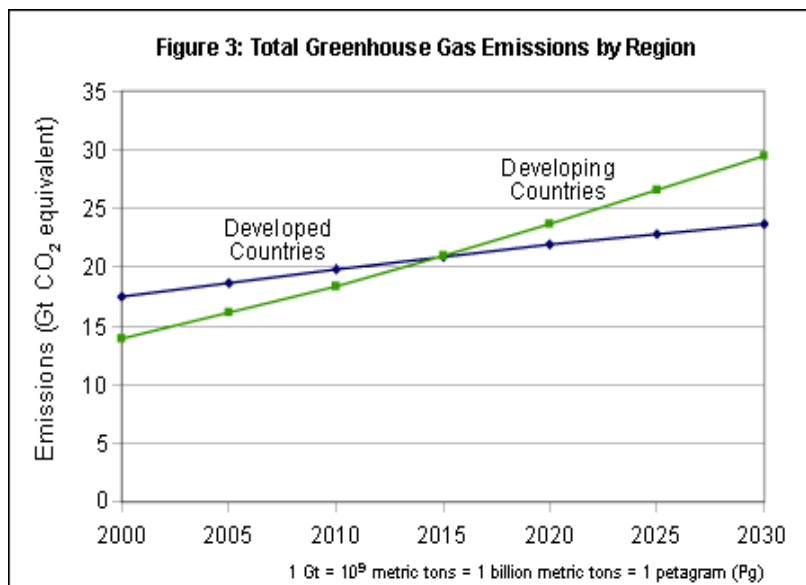
²⁶ Depósito o almacén que absorbe GEI. Los hay naturales (bosques, selvas y océanos) y artificiales (sistemas de dispositivos técnicos que capturan y modifican químicamente las emisiones industriales). Miguel Ángel Rivera Ávila, *El Cambio climático*, "Glosario" op. cit.

²⁷ Es el proceso mediante el cual las plantas utilizan energía solar, agua y CO₂ para producir oxígeno. En la gran mayoría de los ecosistemas de la Tierra, la fotosíntesis es el motor subyacente que impulsa la vida.

energía. Por ello, debe continuarse con la plantación de árboles, para que, además de que nos brinden oxígeno puro, capturen mayores cantidades de este gas.²⁸

La agricultura, la silvicultura (cultivo y explotación racional de los bosques), la pesca y el turismo son sectores que dependen del clima, por lo que el grado de amenaza aumenta: es urgente la necesidad de implementar las mejores estrategias para adaptarse y mitigar el cambio climático. Los principales responsables de las emisiones globales anuales de estos gases son China, la Unión Europea (UE) y el principal emisor, Estados Unidos (E.U.), que vierten a la atmósfera más de 17 mil millones de toneladas de CO₂, lo equivalente al 70% del total de las emisiones de GEI (este último ha argumentado que no firmará el Protocolo de Kyoto porque dicho instrumento no hace responsable a los países en desarrollo que también generan una cuantiosa cantidad de emisiones de gases). Es necesario que éstos y otros países industrializados o en vías de desarrollo como Indonesia y Brasil también contribuyan en la lucha contra el cambio climático y reduzcan sus emisiones.²⁹

EMISIONES TOTALES DE GEI POR REGIÓN



Fuente: http://www.epa.gov/climatechange/emissions/images/total_emissions_region.gif
[consulta: 14 de marzo de 2011].

²⁸ Durante millones de años, gran parte del CO₂ se ha almacenado en la corteza terrestre. El proceso de almacenamiento ocurre a medida que las plantas quedan enterradas bajo el suelo, donde se convierten en combustibles fósiles. Los árboles, plantas y bosques liberan este gas a medida que la vegetación vieja se pudre, y lo vuelven a absorber cuando la nueva crece.

²⁹ Del total de las emisiones de los primeros, deriva la quema de combustibles fósiles, mientras que de los segundos, las tres quintas partes de sus emisiones son el resultado de la deforestación y los cambios del uso de suelo. Ian Whyte, *Climatic Change and Human Society*, Ediciones Arnold, London, 1995, p. 113.

Las actividades humanas están desencadenando procesos cambiantes en el mundo entero. La humanidad está entonces interviniendo en los mecanismos de la Tierra y lo peor, es que muchas de las consecuencias aún no pueden ser precisadas con exactitud. El impacto más dramático de nuestros tiempos es el calentamiento global, y con ello cambios abruptos en el clima, un fenómeno que debe ser afrontado desde una perspectiva mundial que permita reducir su intensidad. Hoy, los debates políticos se centran en las temperaturas cambiantes de la Tierra, para ser precisos, en su calentamiento a un ritmo “anormalmente acelerado”, que amenaza nuestra salud, calidad de vida, y posiblemente nuestra existencia misma. ¿Seguirá calentándose la Tierra y el nivel del mar subiendo, o como ya lo hizo en el pasado, el calentamiento actual se convertirá en un enfriamiento y el Planeta sufrirá nuevamente una congelación?³⁰ Sólo el tiempo lo dirá.

1.2. Los océanos y la elevación del nivel del mar. La situación crítica de los pequeños estados insulares y las zonas costeras.

Los océanos son una parte fascinante y vital de nuestro mundo. Han inspirado mitos y leyendas, obras clásicas de arte y literatura, y numerosos programas de televisión y películas. A lo largo de toda su historia, y hasta nuestros días, ha representado el mayor espacio habitable en la Tierra,³¹ desempeñando una función vital para el desarrollo y la evolución de la vida. Cubren aproximadamente 61 millones de km², y tienen una profundidad media de 3,790 m (el 20% de la superficie oceánica tiene una profundidad superior a 5000 m). La masa total de los océanos es 280 veces la de la atmósfera y la cantidad de calor que es capaz de almacenar es de aproximadamente 1200 veces superior a la del aire terrestre.³²

Uno de los principales agentes que contribuyen a moderar el clima son los océanos, extensas masas de agua que representan el 70% de la superficie terrestre y

³⁰ Hace 3000 años, hubo un descenso en los niveles de CO₂. Esto provocó que el clima de la Tierra se enfriara y no se calentara. Ellen J. Prager, *Los Océanos*, Traduc. Roberto Andrés Haas García, McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V., México, 2001, p. 35.

³¹ Durante la evolución de la Tierra, el CO₂ de la atmósfera empezaba a disolverse en el nuevo océano y a combinarse con los iones de carbonato para formar carbonato de calcio o piedra caliza. La vida en el mar florecía: nacían los crustáceos, erizos y estrellas de mar, esponjas, corales, y demás organismos que comienzan a usar material como la sílice, calcita y fosfato cálcico del agua de mar para crear conchas, caparazones y esqueletos. *Ibidem*, p. 24.

³² Mariano Seoáñez Calvo, *Manual de contaminación marina y restauración del litoral*, Edic. Mundi- Prensa, México, 2000, p. 31.

el 98% del agua del planeta (hoy, casi tres cuartas partes están cubiertas por el océano). Del total de agua en el Planeta, el 97.5% es agua salada y se encuentra en los océanos y sólo el 2.5% es agua dulce o de baja salinidad. De esta última cifra, el 1.5% se encuentra en glaciares y capas de hielo.³³ El mar funciona como un gran regulador térmico, pues influye en los climas de la Tierra, refrescando las zonas cálidas y calentando las zonas frías. Sus principales funciones son la acumulación de calor y CO₂,³⁴ la redistribución del calor del planeta y la amortiguación de las variaciones climáticas, constituyendo el mayor sumidero natural de este gas. También es un gran depósito y transportador de calor y humedad, a través de la evaporación,³⁵ cuya circulación depende en gran medida de los vientos, del equilibrio de la sal y el calor del mar. Las olas por ejemplo, son movimientos ondulatorios creados por la acción del viento. Su altura depende de la fuerza y duración de éste, la profundidad del agua y el área sobre la que sopla. Entre mayores sean los vientos, más altas serán las olas generadas (los tsunamis pueden ser generados por terremotos e impactos de asteroides o erupciones volcánicas).³⁶

Las corrientes oceánicas juegan un papel determinante en los océanos, ya que las aguas cálidas y las corrientes ecuatoriales son transportadas por éstas a regiones más frías como los polos (los niveles óptimos de temperatura en regiones ecuatoriales, se deben a que los rayos del sol emiten mayores cantidades de energía en esas zonas), siendo esenciales para mantener el equilibrio del planeta. Son movimientos de aguas oceánicas que fluyen a través de todos los océanos (Pacífico, Atlántico, Índico, Glaciar Ártico y Glaciar Antártico), desplazándose en determinadas direcciones y con diferentes velocidades.³⁷ Cumplen funciones muy importantes pues actúan como grandes termostatos que regulan el clima global del Planeta, influyendo en la distribución de la salinidad y la temperatura en las aguas de los océanos, así como en la de los nutrientes como el plancton y especies marinas. Éstas pueden ser de dos

³³ *Ibidem*, p. 34

³⁴ La intervención del océano en el calentamiento global se debe a su enorme capacidad para absorber este gas y regular otros GEI comprendidos en esta.

³⁵ Las temperaturas altas conducen a un incremento en la evaporación, un recurso de energía importante para la atmósfera y un recurso de agua para muchos eventos de precipitación intensos. Tim Flannery, *op. cit.* p. 44.

³⁶ Los vientos son un elemento fundamental de la Tierra, ya que transportan calor e impulsan las corrientes de la superficie del océano.

³⁷ Ramón García Bonilla, *La Hidrosfera* [en línea], 15 de abril de 2008, Dirección URL: <http://www.geogeneral-unesr-bna.blogspot.com/2008/04/la-hidrosfera.html> [consulta: 12 de junio de 2011].

tipos: cálidas o frías. Las primeras, se desplazan desde las bajas hacia las altas latitudes, mientras en las segundas sucede lo contrario. Algunos científicos alertan que en 20 años, el calentamiento global podría alterar su curso, pues sin el calor que distribuyen, las temperaturas podrían descender de 5 a 10 °C, además de causar otros disturbios que pueden impactar en la vida marina. Sin embargo otros lo dudan, debido a las constantes interacciones entre la tierra, el mar y la atmósfera.³⁸

Este mapa muestra el desplazamiento de las corrientes oceánicas. El color rojo describe las corrientes cálidas, mientras el color azul las corrientes frías.



Fuente: <http://www.google.com.mx/mapadelascorrientesmarinas>.
[consulta: 13 de junio de 2011]

Algunos componentes del océano son la luz solar, temperatura, salinidad y profundidad, factores que regulan el desarrollo de los ecosistemas marinos. La temperatura de los océanos va de los 20 a los 40°C. En agua costera, la luz penetra sólo hasta 40 mts de profundidad, aunque la radiación visible puede penetrar hasta 150-200 metros. En los océanos, los límites de temperatura se encuentran entre 2 y 30°C. Sin embargo, en ciertos sedimentos abisales de la Antártida, con agua de gran salinidad y de gran presión, pueden bajar de los 2°C bajo cero e incluso alcanzar temperaturas de 7°C bajo cero. Por el contrario, en el Mar Rojo se alcanzan

³⁸ Alejandro Fernández Muerza. *Corrientes marinas y oceánicas* [en línea], 8 de marzo de 2010, Dirección URL: www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/naturaleza.php [consulta: 13 de junio de 2011].

temperaturas de 35°C. Al absorber el agua la radiación infrarroja, ésta puede aumentar hasta 6°C en el primer metro e influir en la tasa de mortandad de diversas especies.

La salinidad del mar influye en la densidad del agua, en la temperatura y en el pH³⁹ del mar. Se refiere a la cantidad de minerales orgánicos (sales) disueltos en el agua oceánica. En el agua de mar, las sales disueltas se hallan en forma de iones o partículas (en todos los océanos la salinidad del agua puede variar, pero la proporción de sus sales siempre es la misma).⁴⁰ Los iones más comunes – los principales componentes del agua de mar– son cloruro (55%), sodio (31%), sulfato (8%), magnesio (4%), calcio y potasio (1%), además de bicarbonato, bromuro, ácido bórico, estroncio y fluoruro (- del 1%).

Los gases que componen la atmósfera son todos solubles en agua, pero cada uno tiene su solubilidad particular. El océano contiene gases disueltos como dióxido de carbono, nitrógeno y oxígeno (este último es 31 veces menos soluble que el primero, aunque también depende de factores como la temperatura y la salinidad del agua),⁴¹ nutrientes como la sílice y el fósforo, y cantidades mínimas de yodo, hierro, manganeso, plomo, mercurio y oro. Algunos agentes como el carbono, el nitrógeno y el fósforo son factores limitantes del desarrollo de la vida marina. El carbono por ejemplo, es un elemento esencial en el desarrollo de la vida vegetal, pero en el medio marino se encuentra 9 veces superior al necesario.⁴² Cabe señalar, que el agua de mar fría puede retener más carbono que el agua de mar templada, de modo que si el océano se calienta, pierde su capacidad de absorber CO₂ (el incremento de calor en los océanos indica que la Tierra está actualmente absorbiendo más energía del Sol de lo que puede irradiar de vuelta al espacio).

El aumento del nivel del mar es una de las consecuencias físicas inevitables del calentamiento global. Durante los periodos de calor, su nivel asciende debido a la expansión térmica del agua de mar y al derretimiento de la nieve y hielo glaciales (en

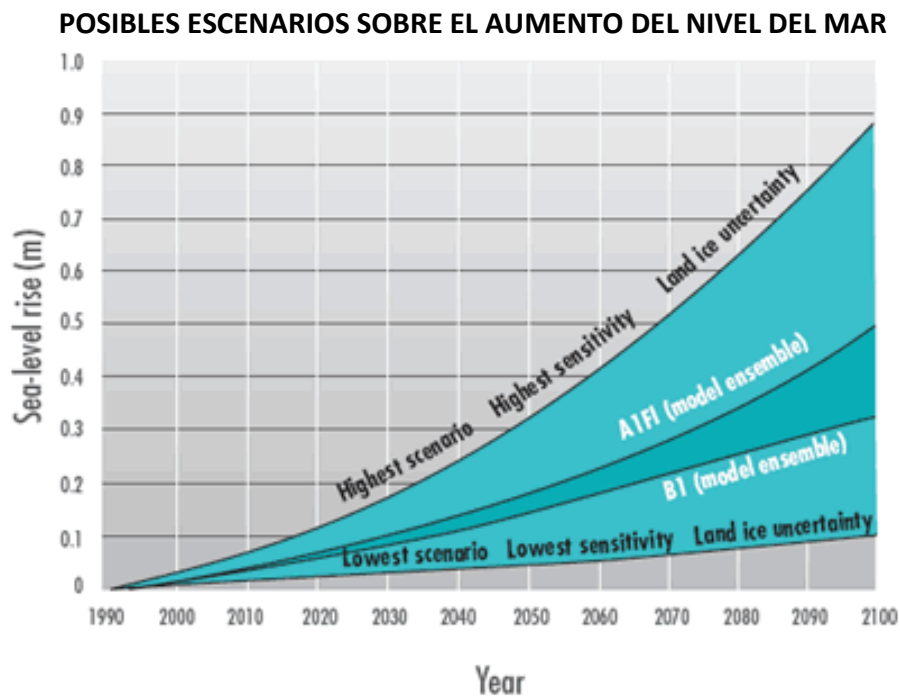
³⁹ Potencial de hidrógeno que mide la acidez de una solución acuosa (suele ubicarse entre 7.9 y 8.3). Diccionario Enciclopédico Larousse. *El Pequeño Larousse Ilustrado*. Agrupación Editorial S.A., México, 2000. p. 787.

⁴⁰ En el mar abierto la salinidad varía de 32 a 37,5 gramos por litro, estimándose que la media es de 34,75 g/l. El mar menos salado es el Báltico (5 gramos de sales), mientras que el más salado es el Mar Rojo (40 g/l), exceptuando el Mar Muerto (226 g/l). Mariano Seoáñez Calvo, *op. cit.* p. 33.

⁴¹ El CO₂ se consume en la fotosíntesis y se desprende en la respiración, mientras que con el oxígeno sucede lo contrario, ya que se encuentra en forma de gas disuelto y sirve para la respiración de los seres vivos marinos provistos de branquias.

⁴² El fitoplancton, las algas y las plantas marinas en general lo toman principalmente en forma de dióxido de carbono, como carbonatos y bicarbonatos.

los tiempos de frío glacial, el nivel del mar baja debido al agua que se convierte en hielo). Científicos del IPCC señalan que ante la falta de esfuerzos por reducir las emisiones de GEI, los niveles del mar se elevarán entre 9 y 88 cms. para el año 2100 en los escenarios más bajos.⁴³ Sin embargo, los investigadores aún se encuentran en una etapa temprana y muchas preguntas aún no han sido respondidas.



Fuente: <http://www.erenovable.com/wp-content/uploads/2007/02/Crise.gif>
[consulta: 19 de marzo de 2011]

En décadas recientes, un fuerte calentamiento en aguas del mar ha sido observado en la región Ártica, afectando especialmente a animales como las focas⁴⁴ y osos polares⁴⁵ que dependen directamente de su hábitat. Estudios internacionales en 2004 de la Evaluación del Impacto del Clima sobre el Ártico (ACIA, por sus siglas en inglés), revelan una reducción significativa en la extensión geográfica de los hielos del Mar Ártico. Muestras satelitales revelan que, del periodo de 1979 a 2005, se presentó un declive del área de hielo de un 15 a 20%, con el peor evento documentado en septiembre de 2005. Algunos temen que si el calentamiento global continúa, la capa de

⁴³ IPCC. *Cambio Climático 2007: Impacto, Adaptación y Vulnerabilidad*. Contribución del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, PNUMA, 2007.

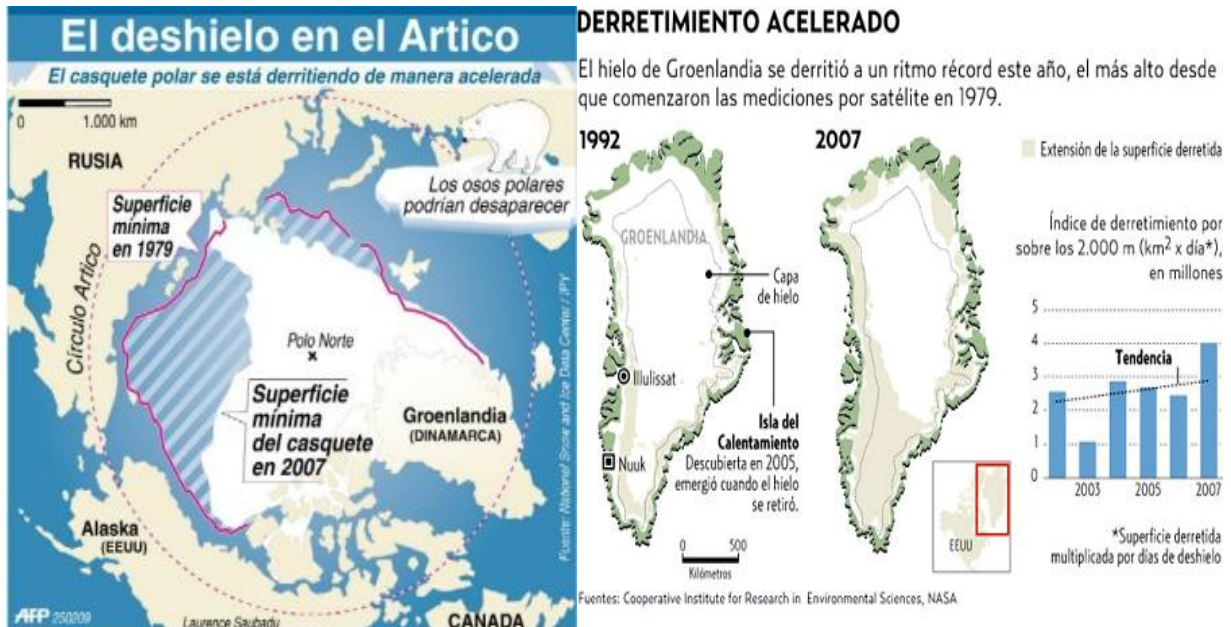
⁴⁴ Durante los pasados 20 años, los índices de nacimiento de las focas declinaron. Este declive se correlaciona con las altas temperaturas subsiguientes de los eventos de el Niño entre 1997 y 1998.

⁴⁵ Alrededor de la Bahía de Hudson, en Canadá, la población de osos polares decreció en un 22% desde 1987. Con la pérdida de hielo durante el verano, se ven forzados a un mayor contacto con los humanos que reducen sus oportunidades de supervivencia.

hielo del Antártico Occidental podría colapsarse. Si todo ese hielo cayera al océano, el nivel del mar podría subir entre 4 y 6 metros, y provocar inundaciones impresionantes en las costas.⁴⁶

Si se mantuviera un incremento de 2-3°C en las temperaturas oceánicas por varios siglos, podría derretirse todo el hielo de Groenlandia, provocando grandes problemas e implicaciones a los países de tierras bajas y zonas costeras que están densamente pobladas. Si se derritieran los mantos de hielo de ambos glaciares, el nivel del mar podría subir entre 65 y 80 metros. La línea costera actual desaparecería por completo debajo del agua, y tierras que actualmente son interiores pronto se volverían valiosas propiedades frente al mar.⁴⁷

EL DERRETIMIENTO DEL ÁRTICO



Fuente: Instituto Cooperativo para la Investigación en Ciencias Ambientales, NASA [consulta: 29 de abril de 2011]

El aumento del nivel de los océanos será el cambio más notable para muchos habitantes alrededor del mundo, ya que el calentamiento de sus aguas ha comenzado a alterar sus patrones de vida de diferentes formas. Si el calentamiento continúa desenfrenado, los escenarios producidos en ambas áreas serán prácticamente inciertos, observando solamente hielo flotante para el final de este siglo. El sur de los

⁴⁶ IPCC, *Cambio Climático 2007: Impacto, Adaptación y Vulnerabilidad*, op. cit. p. 13

⁴⁷ R. Schubert, *Special Report, The Future Oceans-Warming Up, Rising High, Turning Sour*, German Advisory Council on Global Change (WBGU), Berlin, 2006, p. 8.

océanos es “climáticamente una región sensible”. Algún cambio en las aguas del Antártico podría directamente afectar las circulaciones en los Océanos Atlántico, Índico y Pacífico. Un aumento de un metro “desplazaría poblaciones, destruiría infraestructura, inundaría tierras cultivables, contaminaría suministros de agua dulce y alteraría líneas costeras”.⁴⁸

La tendencia del calentamiento global ya predomina en más áreas. Menos del 7% del área de los océanos está representada por las plataformas continentales,⁴⁹ que albergan más del 90% de la pesca global, además de una gran proporción de plancton.⁵⁰ En éste, encontramos a dos grupos: el fitoplancton y el zooplancton. El primero se compone por pequeñas criaturas redondas y unicelulares (- de 1 ml. de diámetro) como diatomeas y dinoflagelados (algas marinas, bacterias y hongos microscópicos),⁵¹ mientras que el segundo grupo, que se alimenta del primero, está compuesto por moluscos, medusas, crustáceos, gusanos y una gran variedad de larvas de otras especies marinas, que a su vez, son el alimento de peces y mamíferos marinos como la ballena. Cabe señalar, que la fotosíntesis que realiza el grupo del fitoplancton, extrae grandes cantidades de CO₂ de la atmósfera (entre mayor es la productividad del fitoplancton en el mar, mayor es la extracción de este gas). Dentro del océano, la producción de piedra caliza, en forma de esqueletos cálcicos o conchas de carbonato de calcio, también reduce este gas. Sin embargo, cuando estos depósitos se exponen a intemperie, este gas vuelve a liberarse a la atmósfera.⁵²

Un minúsculo incremento en la temperatura del agua afectará la vida de los organismos marinos, ya sea directa o indirectamente, y mientras el ser humano siga interviniendo en hábitats ajenos a él, en un futuro esta cadena ya no podrá seguir retroalimentándose. Al mismo tiempo, el impacto humano sobre los ecosistemas marinos en las plataformas continentales es eminente: la sobrepesca, incluyendo la

⁴⁸ Jeremy Leggett, *El calentamiento del Planeta: Informe de Greenpeace*, FCE, México, 1990, Capítulo V: Otros efectos del calentamiento global: Efectos en las zonas oceánicas y costeras mundiales, p. 137.

⁴⁹ Lecho y subsuelo de las áreas submarinas que se extiende más allá de su mar territorial, hasta una distancia de 200 millas y menos de 350 millas. En esta zona, el Estado tiene los derechos exclusivos de explotación y exploración de los recursos naturales del suelo y subsuelo marinos. *El Pequeño Larousse Ilustrado*, *op. cit.* p. 800.

⁵⁰ Serie de pequeños organismos unicelulares o multicelulares que flotan en el agua y cuyo movimiento depende de los vientos, mareas y corrientes. Algunos organismos marinos como la langosta, la anguila, el coral y la estrella de mar son plancton durante una parte de su vida.

⁵¹ Es considerado como la base de la gran cadena alimenticia del mundo acuático por ser el primer grupo que inicia un asombroso ciclo de vida (5000 especies existentes). Miguel Guzmán Peredo, *El fascinante mundo submarino*, Editores Asociados Mexicanos, S. A., México, 1985, pp. 19-23.

⁵² Mariano Seoáñez Calvo, *op. cit.* p. 43.

pesca irregular o ilegal, la degradación y la destrucción de hábitats costeros y marinos, la invasión de especies extrañas, la contaminación, y una nueva amenaza, la acidificación (a esto agreguémosle que una gran proporción de éstos ya está sufriendo algún grado de estrés).

Un equipo de oceanógrafos del Instituto de Oceanografía de San Diego reportaron que, aproximadamente el 60% del calor extra que entra a la Tierra podría ser absorbido e impactado en los océanos durante los próximos cuarenta años. Si esto llegase a ocurrir, podría inundar hasta 15% de la tierra cultivable de Egipto y el 14% de la zona cosechable de Bangladesh.⁵³ Las islas estarían en riesgo, incluidos países isleños como Maldivas, Tuvalu y Kiribati, que son vulnerables a los cambios ambientales, y en especial a los efectos del cambio climático. De continuar este desequilibrio, el clima podría quedar “fuera de control”, un fenómeno que parece imposible de evitar.

El índice del aumento del nivel del mar durante el siglo XXI fue diez veces más rápido que el promedio precedente a 3000 años, afectando seriamente a las zonas costeras y estados isleños, cuyas sociedades dependen de un gran número de sistemas naturales representados por ríos deltas,⁵⁴ planicies costeras, islas de corales y atolones, lagunas, playas, humedales costeros,⁵⁵ manglares, estuarios⁵⁶ (la degradación de ecosistemas costeros como humedales, manglares y arrecifes de coral ya presentan implicaciones serias para el bienestar de las sociedades). Cerca del 30% de estos hábitats costeros a nivel mundial ya han sido extensamente alterados por las demandas del crecimiento de viviendas, industria y recreación, estimándose que 4 de cada 10 personas a nivel global actualmente viven dentro de los 100 kms de la costa.⁵⁷

⁵³ Andrew Goudie, *The Human Impact on the Natural Environment*, Sixth Edition, Blackwell Publishing, United Kingdom, 2006, pp. 249-251.

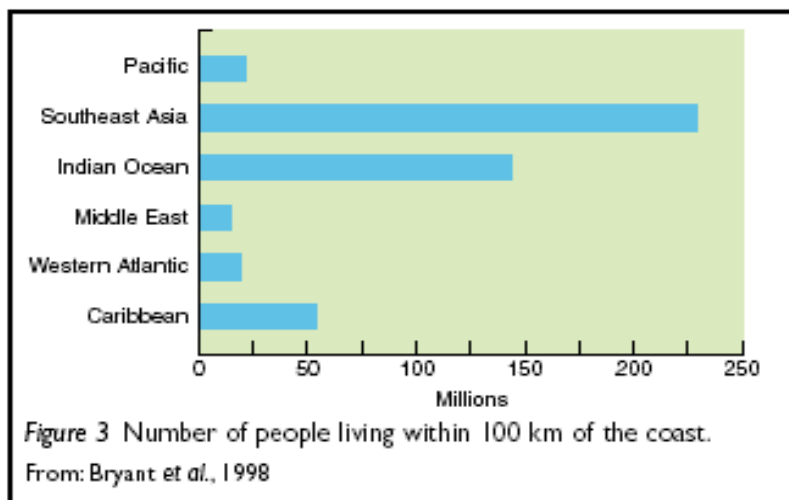
⁵⁴ Zona de acumulación aluvial, elaborada por un río al desembocar en un mar de marea débil o en un lago.

⁵⁵ Terreno o área húmeda que engloba a una gran variedad de hábitats marinos y costeros, que incluyen ríos, lagos, manglares, pantanos, estuarios, marismas, entre otros. *The Ramsar Convention on Wetlands* [en línea]. Dirección URL: www.ramsar.org [consulta: 11 de marzo de 2010].

⁵⁶ Desembocadura de un río, caracterizada por una amplia abertura por donde el mar penetra tierra adentro.

⁵⁷ En 2004, Naciones Unidas estimó que el 21% de la población mundial vive a menos de 30 kms. del mar y prevé que para el año 2030, aproximadamente el 50% de ésta vivirá a menos de 100 kms. de las costas. Bruce E. Johansen, *Global Warming in the 21st. Century*, Melting Ice and Warming Seas, Volume 2, Part IV: Warming Seas, PRAEGER, London, 2006, p. 417.

NÚMERO DE HABITANTES QUE VIVEN DENTRO DE LOS 100 KMS DE LA COSTA.



Fuente: <http://www.reefbase.org/>
[consulta: 6 de mayo de 2011]

La influencia humana amenaza el bienestar y salud de los océanos y vida marina. Las temperaturas oceánicas van en aumento y el nivel del mar asciende unos 8 milímetros anuales. En el siglo actual, el calentamiento de la Tierra presenta un ritmo anormalmente acelerado. Organismos que lograron sobrevivir a varios acontecimientos cataclísmicos⁵⁸ del pasado, pronto podrían ser borrados de la faz del Planeta. Investigaciones relativamente recientes también han descubierto debajo del mar una amenaza nueva y potencialmente importante para el incremento vertiginoso de la temperatura de la Tierra: hidratos gaseosos, una forma sólida y cristalina como el hielo, que contienen un gas adicional, por lo general metano, que a menudo se encuentran almacenados en los sedimentos oceánicos. Se han descubierto grandes acumulaciones de hidratos bajo el mar en las costas de Carolina del Norte y del Sur y en el Golfo de México. El aumento de las temperaturas del océano podría provocar la disociación de los hidratos gaseosos, y en consecuencia, la liberación de enormes cantidades de gas metano a la atmósfera. De ahí que, si se liberaran, los hidratos pudieran incrementar significativamente el calentamiento global.⁵⁹

Desde hace millones de años, el océano ha abrigado desde la bacteria microscópica más diminuta hasta la mayor de las criaturas vivientes: la ballena azul. Sin

⁵⁸ Término derivado del cataclismo, catástrofe producida por agentes de la naturaleza como terremotos o inundaciones.

⁵⁹ Ellen J. Prager, *op. cit.* p. 160.

embargo, ha mostrado señales globales de degradación. La pesca de pez espada, bacalao, atún y salmón se ha colapsado o está a punto de ello, y muchas de nuestras regiones costeras están contaminadas, excesivamente desarrolladas o en proceso de erosión. Desafortunadamente, las ciencias del mar sólo representan el 4% del presupuesto federal para la investigación, y significativas protecciones internacionales a los océanos, solamente han ocurrido en las últimas décadas. Aún cuando existe mucha incertidumbre relacionada con el calentamiento global, varias cosas están claras: el planeta se está calentando, el CO₂ en la atmósfera está aumentando y nosotros mismos estamos contribuyendo a esa acumulación. ¿Seremos los causantes de la próxima catástrofe biológica? Reconozcamos la importancia del mar como una parte integral y sustentadora de nuestro planeta, y mantengamos un status de equilibrio.

Durante el siglo XX el nivel del mar se elevó a una velocidad media de 1 a 2 milímetros por año. Las mediciones satelitales muestran que ya alcanzó los 3 centímetros en la década pasada, y si el calentamiento continúa corremos el grave riesgo de acelerar su aumento. El hielo continental de Groenlandia, así como del Ártico, está comenzando a desintegrarse. Además del nivel del mar, el incremento de la fuerza destructiva de los huracanes también está amenazando muchas áreas costeras.⁶⁰ Aún cuando el nivel del mar ha subido y bajado a lo largo de la historia del planeta, la aceleración de la elevación de su nivel es preocupante para muchas poblaciones costeras, en especial para quienes habitan en las áreas más vulnerables. Un nivel del mar en ascenso puede dar lugar a estragos como inundaciones cada vez más frecuentes y extensas durante las tormentas,⁶¹ la propagación de enfermedades relacionadas con el agua o transmitidas por ésta, la pérdida de propiedades y cosechas, y la intrusión de agua salada en los acuíferos costeros –depósitos de agua dulce–, además de provocar el desplazamiento de millones de personas hacia las partes más cercanas donde puedan estar a salvo.⁶²

Es una situación preocupante para muchos países en el mundo y numerosas ciudades ubicadas en zonas costeras bajas. Las regiones de tierras bajas como

⁶⁰ Anualmente, aproximadamente 120 millones de personas se exponen a los peligros de los ciclones tropicales.

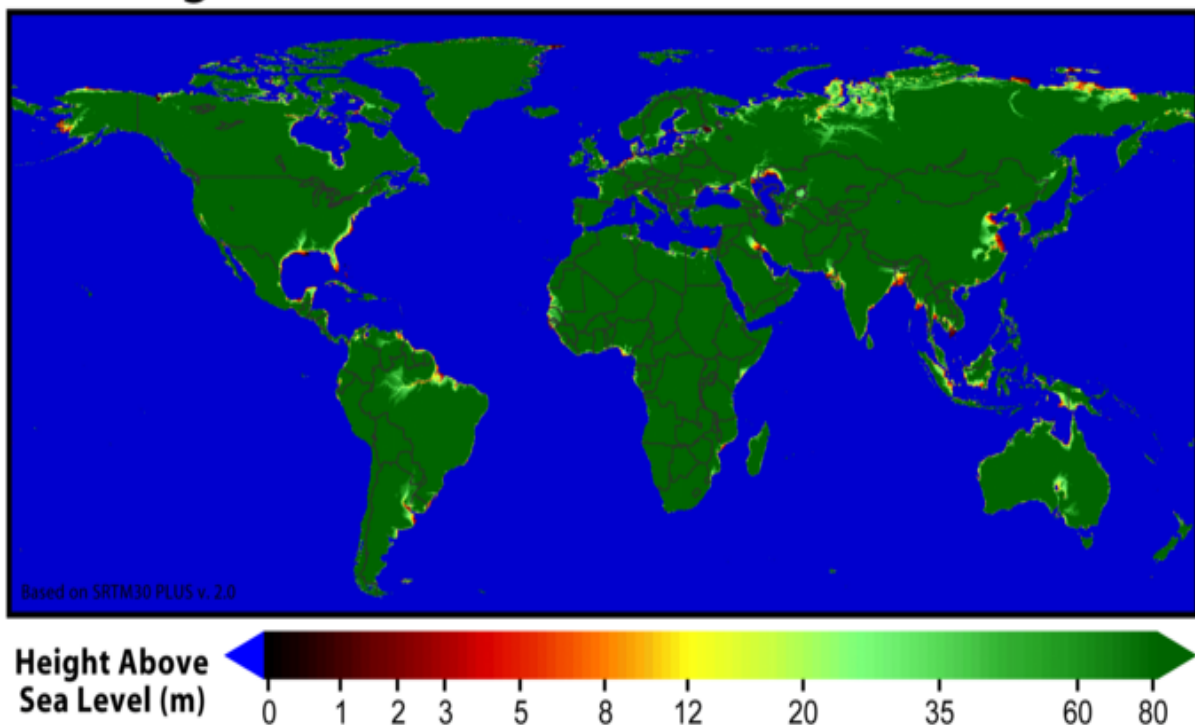
⁶¹ En la actualidad, unas 46 millones de personas sufren cada año las consecuencias de inundaciones y la cifra podría elevarse a 118 millones en el año 2100. Indonesia, Yakarta y otras 69 naciones aledañas probablemente se inundarán durante las décadas venideras. R. Schubert, *op. cit.*, pp. 48-50.

⁶² Rachel Dahl, *Anual Report 2002*, Intergovernmental Oceanographic Commission, UNESCO, Ocean Sciences, Paris, France, 2004. p. 8.

Bangladesh y las comunidades y ciudades costeras como Nueva Orleans, así como los deltas de los Ríos Ganges y Nilo que están casi al nivel del mar o por debajo de éste, son las que corren mayor peligro. Algunas áreas densamente pobladas y particularmente amenazadas en Europa son el este de Gran Bretaña, el Po Delta al norte de Italia y las franjas costeras de Bélgica, Países Bajos, el noroeste de Alemania y el norte de Dinamarca. Algunas ciudades europeas como Brest en Francia y Swinoujscie en Polonia, han confirmado la elevación acelerada del nivel del mar durante el siglo XXI. Además, se calcula que para entonces las pérdidas de tierra podrían ser de 80% en el atolón de Majuro (Islas Marshall), 17.5 en Bangladesh, 6% en Holanda, 1% en Egipto, 0.05 en Uruguay y porcentajes menores en otros países. Es posible también que la mayor vulnerabilidad,⁶³ habida cuenta de este fenómeno ocurra en el Este, Sur y Sudeste de Asia, y en algunas zonas costeras de África y el Caribe, aunque los pequeños territorios insulares resultarán los más afectados.⁶⁴

REGIONES VULNERABLES AL AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR

Regions Vulnerable to Sea Level Rise



Fuente: http://www.globalwarmingart.com/images/Global_Sea_Level_Rise_Risks.png
[consulta: 17 de febrero de 2011]

⁶³ Mostrar sensibilidad ante escenarios futuros que puedan afectar el medio.

⁶⁴ Thomas E. Downing, *Climate Change and risk*, Routledge, London and New York, Great Britain, 1999, p. 36.

Los pequeños territorios insulares y áreas costeras se caracterizan por ser comunidades que están expuestas en mayor medida a los fenómenos climáticos. El aumento del nivel del mar inundará las costas en los próximos 50 años, y por consiguiente el número de migrantes refugiados aumentará. Para el Derecho Internacional (D.I.)⁶⁵ no es obligación recibir a los refugiados de dichas áreas costeras. Sin embargo, a largo plazo la comunidad internacional no será capaz de ignorar este grave problema, y por lo tanto necesitará desarrollar los instrumentos apropiados para asegurar que la población afectada sea recibida. Existe una necesidad de acuerdos de recepción de refugiados, a través de los cuales los Estados realicen compromisos obligatorios para asumir la responsabilidad de los migrantes, y para alcanzar objetivos claros, es necesario implantar metas específicas. La reubicación de las poblaciones constituirá entonces un serio desafío para los países receptores de pobladores.

Hoy en día, nos enfrentamos a un mundo incierto lleno de cambios ambientales quizá nunca antes vistos. El cambio climático, como una bola de nieve que rueda cuesta abajo, está incrementando en alcance y velocidad. Es tal la magnitud del problema, que en 2006 se realizó el “Informe Stern” (*Stern Review on the Economics of Climate Change*, en su título original), un estudio que cuantifica las repercusiones del cambio climático en la economía mundial. Es un documento de 700 páginas realizado por el economista inglés Sir. Nicholas Stern, un antiguo miembro del Banco Mundial por encargo del Tesoro Británico, que evalúa el impacto del cambio climático sobre la economía mundial, a través de una perspectiva internacional. El Informe señala que esta seria amenaza global afectará los elementos básicos de la vida de la personas, como el acceso al agua, producción de alimentos y/o medio ambiente, estimando que si no actuamos pronto, los costes económicos globales y las repercusiones del cambio climático equivaldrán a la pérdida de al menos un 5% del PIB global anual, si no es que hasta un 20% o más en los próximos años (estos costes podrían ser de hasta 7 mil millones de dólares).⁶⁶

En algunos sitios con baja capacidad de adaptación, así como con alta vulnerabilidad ante estos efectos, los costes económicos y pérdidas mundiales serán significativamente mayores que en el resto del mundo. Otro de los graves problemas es

⁶⁵ Conjunto de normas que regulan las conductas de los sujetos internacionales (individuo, sociedad, Estado, O.I.)

⁶⁶ Resumen del Informe Stern. *La Economía del Cambio Climático* [versión en pdf]. *op. cit.*

que los países en desarrollo cuentan con limitados recursos científicos, aunados con un bajo nivel de desarrollo, por lo que resultan más sensibles y expuestos a las mayores catástrofes. Además, el crecimiento demográfico va en aumento, obligando a millones de personas a asentarse en las costas, sin imaginar que son estas zonas las que padecerán más los efectos drásticos de las variaciones climáticas.

1.3. Acciones contra el cambio climático.

Hace 3 millones de años comenzó la Edad Glacial, una de las variaciones más notables del clima de la Tierra. En ese lapso, ésta sufrió cuatro grandes glaciaciones, cada una seguida de una fase interglaciar cálida y durante las cuales la criósfera⁶⁷ cubrió casi una tercera parte del Planeta. En la última glaciación de la llamada Edad Glacial, ocurrida hace 18 mil años, la temperatura del planeta vino aumentando en forma paulatina y natural (se prevé que la próxima glaciación ocurrirá en varios miles de años). Hace poco más de 100 años, este proceso comenzó a cobrar mayor velocidad, y con ello, mayores emisiones de GEI a la atmósfera, principalmente CO₂.⁶⁸

El cambio climático es uno de los mayores desafíos globales que enfrenta la humanidad. Constituye el problema ambiental más importante del siglo XXI, que trae consigo profundas repercusiones políticas, económicas, sociales, ambientales y culturales. Es indispensable reforzar la cooperación entre los grupos sociales y todos los países para hacer frente a este fenómeno. Por ser un tema global que compete a todas las naciones del mundo, se requiere de un enfoque desde el punto de vista multilateral, pues ningún país puede actuar de manera aislada. Ante esta perspectiva, los expertos han propuesto medidas para enfrentarlo: facilitar la adaptación de los ecosistemas naturales y de las comunidades humanas a las alteraciones climáticas previstas en los próximos años; promover la mitigación del calentamiento global mediante la reducción de las emisiones del GEI; trabajar en la previsión científica de los posibles riesgos,⁶⁹ y buscar mejores respuestas al problema, en un marco de equidad internacional y social.

⁶⁷ Capa de hielo y nieve que cubre parcialmente la superficie continental u oceánica de la Tierra, en forma de casquetes, glaciares o superficies heladas. Miguel Ángel Rivera Ávila, "Glosario", *op. cit.* p. 62.

⁶⁸ Este gas ha superado la capacidad de captura de la atmósfera. SEMARNAT, *op. cit.* p. 19.

⁶⁹ El principio precautorio (prevención) que toma en cuenta el riesgo de los peores escenarios, juega un rol importante en el desarrollo de prácticas de manejo. De acuerdo con éste, las acciones deben ser tomadas incluso si prevalecen inciertas.

En la *adaptación*, es decir, la acción que se efectúa para ajustarse a las condiciones y circunstancias del medio, cada país deberá adaptar sus recursos, además de crear entornos adecuados para sobrellevar tales efectos. Sin embargo, para muchas naciones estas medidas no podrán ser llevadas a cabo, debido a que no todos los países tienen al alcance todos los instrumentos tecnológicos ni los recursos económicos necesarios para adecuarse a las mismas condiciones que otros. En cuanto a las zonas costeras, éstas constituyen un caso especial, pues lo que está en juego es el lugar de residencia. Se requiere que todos estemos preparados para enfrentar y minimizar los posibles daños, pues este fenómeno representa un desafío considerable para la comunidad internacional. Es entonces, cuando se enfatiza de mayor forma la adaptación de los países en desarrollo.⁷⁰

La *mitigación*, relacionada con la disminución de emisiones de GEI vinculadas con actividades humanas, obliga a introducir importantes reajustes en la sociedad, es decir, ejecutar las acciones adecuadas para prevenir una catástrofe. Ejemplo de prevenciones viables y técnicamente posibles lo constituye la reestructuración de los sistemas de energía y transportes; el incremento de sumideros naturales o artificiales; el impulso de tecnologías más eficientes, sustituyendo las actuales; entre otras. Una opción de mitigación de relevancia directa en los océanos es el almacenamiento de CO₂ en el lecho marino, aunque el estudio en geofísica⁷¹ es insuficiente.

Los enfoques de ingeniería pueden ser usados para capturar el CO₂ y comprimirlo en vías de transporte, a través de tuberías o por barcos en repositorios permanentes. También puede ser almacenado en formaciones geológicas sobre tierra o debajo del suelo marino e inyectarse en el mar profundo. Sin embargo, tales enfoques implican un continuo riesgo, liberando lentamente el almacenamiento de este gas dentro de la atmósfera. De esta forma, resulta ineludible la eficiencia al menor costo de medidas de adaptación y de mitigación para alcanzar objetivos claros, enalteciendo acciones urgentes para incrementar los esfuerzos necesarios ante los impactos adversos previsibles.⁷²

⁷⁰ La Primera Conferencia Internacional sobre dicho tema que tuvo lugar en el mundo subdesarrollado, se celebró en Nueva Delhi –del 21 al 23 de febrero de 1989, asistiendo más de 150 científicos–, la cual se centró en la evidencia científica y en los impactos del cambio global del clima, así como en las posibles respuestas a ese problema.

⁷¹ Estudio, a través de la física, de la estructura conjunta del globo terrestre, así como de los movimientos que lo afectan. *Diccionario Enciclopédico Larousse, op. cit.* p. 484.

⁷² Antonio Ruiz de Elvira, *Quemando el futuro: clima y Cambio Climático*, Ediciones Nivola, España, 2001, p. 83.

Para predecir el curso del clima, los científicos necesitan herramientas que les permitan medir las reacciones de la Tierra a los futuros cambios globales. De esta forma, recurren a modelos climáticos perfeccionados por computadora, –basados en ecuaciones matemáticas– para representar los procesos e interacciones físicas del sistema climático global, determinando el comportamiento de los factores que lo impactan. Surgen en la década de los 60, y son utilizados para simular condiciones futuras, así como para comprender mejor los efectos de estos cambios a largo plazo.⁷³

Mientras más avanza el cambio climático, hay mayores probabilidades de que ocurran mayores consecuencias. Por ello, será preciso mejorar los instrumentos de medición climática y sobre todo, emprender acciones y participar en la búsqueda de acuerdos a nivel local, regional y mundial para minimizar el problema, ya que de esto dependerá la mayor o menor emergencia en la toma de decisiones y acciones inmediatas. El reto entonces, consiste en reducir las emisiones globales, hasta encontrar un punto de equilibrio con la capacidad de la captura de carbono; sólo de esa forma se logrará detener el aumento de las concentraciones de GEI y reducir las profundas manifestaciones que día con día van incrementando. Un dato curioso es que otros ecosistemas como la tundra, comienzan a transformarse en emisores netos, liberando metano almacenado en el permafrost,⁷⁴ a causa de la reducción de la extensión de hielo en el Ártico. Es entonces cuando la comunidad internacional se enfrenta a mayores desafíos, porque ya no sólo las actividades humanas contribuyen al incremento de estos gases, sino que también este tipo de ecosistemas están incrementando las emisiones de metano.⁷⁵

El cambio climático es real; es la causa directa del incremento de los GEI. Es el problema más severo que nos está afectando hoy en día. Es evidente también que los combustibles fósiles serán más costosos o más escasos que otros; que las fuentes de energía se convertirán económicamente más competitivas y por lo tanto, políticamente más aceptables. Es esencial el desarrollo de fuentes renovables, como la solar y eólica, y sobre todo, una buena oportunidad para mitigar los peores efectos a nivel mundial.

⁷³ Lisa Gardiner, *¿Qué es un Modelo Climático?*, [en línea], 23 de septiembre de 2008. Dirección URL: http://www.windows2universe.org/earth/climate/cli_models2.html [consulta: 17 de enero de 2010].

⁷⁴ En las regiones frías, parte profunda del suelo permanentemente helada que se forma cuando la temperatura se mantiene por debajo de los 0°C durante varios años.

⁷⁵ PNUD-SEMARNAT, *op. cit.* p. 170.

1.4. El desarrollo de una agenda política internacional sobre cambio climático. El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) y el Protocolo de Kyoto.

La Tierra está experimentando un cambio climático acelerado, ocasionado por el rápido incremento de los GEI. En los últimos 20 años, la creciente preocupación por el cambio climático y el calentamiento global inducido por los seres humanos se ha convertido en área de creciente interés para científicos, ecologistas y políticos. Estos cambios están modificando drásticamente las condiciones bajo las cuales la fauna y flora del Planeta han florecido durante millones de años. Es importante notar que la velocidad del cambio climático está actualmente ocurriendo de 100 a 200 veces más rápido que lo que se ha visto durante los periodos glaciares e interglaciares de los pasados 400 mil años.⁷⁶

En 1972, durante la Cumbre de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano realizada en Estocolmo –Conferencia de Estocolmo–, científicos y demás expertos en la materia reconocen formalmente que la humanidad estaba experimentando profundos impactos sobre el medio ambiente. En ese año se establecen 24 principios sobre la gestión ambiental cooperativa global, preparando el terreno para las futuras convenciones y tratados internacionales. En 1979 se realiza la Primera Conferencia Mundial sobre el Clima, expresando la necesidad de establecer una institución internacional que formule acuerdos en el establecimiento de cuotas liberadas de CO₂ permitidas por cada ciudad cada año.

En los años 80, cuerpos internacionales se reunieron con grupos científicos para advertir que el clima de la Tierra estaba cambiando abruptamente. En 1985, científicos de varios países se reúnen en una Conferencia de alto nivel en Villach, Austria, debatiendo el tema de “Los efectos de GEI, cambio climático y ecosistemas”. En 1989 se crea el IPCC. En 1990, la Asamblea General de Naciones Unidas aprueba el desarrollo de una convención internacional para hacer frente al cambio climático, creando dos años después la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), firmada por 154 naciones y la Unión Europea (UE), en la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro. En 1997, cerca de 10 mil delegados, observadores y

⁷⁶ Bruce E. Johansen, *The Global Warming Desk Reference*, Volume 1, Greenwood Press, London, 2002, p. 153.

periodistas se reúnen en la Tercera Conferencia de las Partes de la CMNUCC (COP₃) en Kyoto, Japón, acordando el Protocolo de Kyoto.⁷⁷

La comunidad internacional estaba preocupada por los efectos del cambio climático en el Planeta, por lo que en 1988 el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) establecieron el IPCC, un grupo especializado que cuenta con aproximadamente 3000 expertos de 150 países, cuya tarea es analizar y difundir la información científica y técnica sobre el cambio climático, su impacto y posibles soluciones, a través de sus Informes Especiales, Documentos Técnicos y Guías Metodológicas, además de proporcionar asesoramiento científico, técnico y socioeconómico a la Conferencia de las Partes (COP) de la CMNUCC.⁷⁸

El IPCC, considerado como el principal recurso científico para los gobiernos fue establecido para informar a los líderes mundiales sobre la seriedad de este problema. Una de sus principales actividades es realizar informes de evaluación periódica, a partir de la información disponible. Hasta el momento ha realizado cuatro, publicados en 1990, 1995, 2001 y 2007. *El Primer informe* en 1990, conocido como FAR, por sus siglas en inglés, fue presentado en la Segunda Conferencia Mundial del Clima, causando conmoción entre la comunidad internacional, al confirmar la existencia científica del cambio climático y sus posibles impactos. Basados sobre simulaciones computarizadas del clima, trescientos científicos climáticos de más de veinte países predijeron que, si los GEI continúan con los presentes índices, habría el doble de CO₂ atmosférico para mitades del siglo XXI.⁷⁹

En 1995, el IPCC publicó su *Segundo Informe*, conocido como SAR por sus siglas en inglés, el cual incluía material adicional sobre las implicaciones de las emisiones y sus posibles consecuencias, además de algunos puntos claves para la negociación de la adopción del Protocolo de Kyoto de 1997. *El Tercer Informe*, conocido como TAR por sus siglas en inglés, fue publicado en 2001. Indicaba que los informes anteriores habían sido muy conservadores en cuanto a la predicción de los posibles efectos del cambio climático, por lo que reveló nueva evidencia científica que

⁷⁷ William Ruddiman, *Earth's climate: past and future*, University of Virginia, New York, 2001, p. 358.

⁷⁸ Julia Martínez y Adrián Fdez, *Cambio climático: una visión desde México*, SEMARNAT, México, 2005, p. 20

⁷⁹ Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [en línea], Dirección URL: http://www.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml [consulta: 15 de julio de 2010].

señalaba que la influencia humana había generado la mayor parte del calentamiento observado durante los últimos cincuenta años. Este tercer informe comprende tres documentos o grupos de trabajo y un Equipo especial sobre inventarios nacionales de los GEI: el *Grupo de Trabajo I*, es el grupo científico que evalúa la información científica mundial del cambio climático; el *Grupo de Trabajo II*, es el grupo que evalúa la vulnerabilidad de los sistemas naturales y socioeconómicos al cambio climático, así como las consecuencias positivas y negativas de éste. Asimismo, identifica sus impactos, proponiendo medidas de adaptación y mitigación; el *Grupo de Trabajo III*, es el grupo que evalúa opciones para contrarrestar las emisiones de GEI, además de construir estrategias de mitigación al mismo. El Equipo especial sobre inventarios nacionales lleva a cabo el Programa sobre el Inventario Nacional de GEI.⁸⁰

En la decimoctava sesión del IPCC, celebrada en septiembre de 2001, el Panel acordó seguir preparando los informes de evaluación, dando lugar al *Cuarto Informe* publicado a principios de 2007, conocido como AR4, por sus siglas en inglés, en el que sólo se confirmaban las tendencias del cambio climático, integrando además datos científicos, técnicos y socioeconómicos actualizados para la definición de políticas en relación con el mismo. Algunas conclusiones a las que llega es que efectivamente, las concentraciones atmosféricas de los principales GEI antropogénicos han aumentado considerablemente desde 1750, calentando la superficie de la Tierra durante los últimos cincuenta años; que el aumento de las concentraciones de CO₂ en el siglo XXI se debe principalmente a la quema de combustibles fósiles; y que la superficie media anual ha aumentado considerablemente.⁸¹ El IPCC seguirá preparando los próximos informes de evaluación. Sólo se espera que su difusión y demás documentos sirvan como estímulo para los científicos de todos los países, pues se ha convertido en una parte esencial en la agenda de la mayoría de los gobiernos, y en el avance de la CMNUCC.

Han habido grandes cambios en la composición de la atmósfera y el clima mundial en periodos geológicos y hasta nuestros días. Los cambios climáticos repentinos y graduales han sido parte de la evolución natural de la Tierra. En los últimos decenios, los problemas y las preocupaciones ambientales, aunados con el cambio climático se han hecho evidentes a nivel internacional, afectando de mayor forma a los

⁸⁰ *Idem.*

⁸¹ Cambio Climático 2007: *Informe de Síntesis* [en línea, pdf]. Dirección URL: www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf [consulta: 05 de julio de 2010].

países en desarrollo. El año de 1992 se convierte en el periodo en que se establecen una serie de acuerdos, mediante los cuales los países de todo el mundo se reunieron para hacer frente a este fenómeno y sus graves impactos, abordándose cuestiones relativas a la desertificación, contaminación marina, extinción de especies animales y vegetales, entre otros, aunque otro de los problemas realmente alarmantes lo era el cambio climático.⁸²

Se debía adoptar un plan de acción común. Así, el 9 de mayo de 1992, se crea la CMNUCC⁸³ en el seno de Naciones Unidas, adoptada en Nueva York por más de 150 países –entrando en vigor el 21 de marzo de 1994–, como resultado de la ratificación de 50 países (actualmente más de 175 países la han ratificado). Su principal objetivo era “estabilizar las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero, a un nivel que impida efectos antropógenos⁸⁴ peligrosos en el sistema climático”,⁸⁵ aunque nunca especificó cuáles debían ser los niveles de concentración. El órgano supremo de la CMNUCC es la COP, reunida por vez primera en 1995, en la cual están representados todos los Estados que ya ratificaron la Convención (aún sigue reuniéndose anualmente, contribuyendo con el fomento de su aplicación). Cabe destacar que la tarea de cada Estado Parte entre otras, es promover la elaboración de planes nacionales para reducir sus posibles efectos y presentar un inventario de las fuentes nacionales de las emisiones de los GEI (fábricas y transportes).

Al haberse consolidado la CMNUCC en 1992, posteriormente los gobiernos se preguntarían cuál sería el siguiente paso, adoptando cinco años después el Protocolo⁸⁶ de Kyoto, que establecería la pauta sobre el nivel de objetivos de las emisiones de GEI en el futuro, y compartiría los principios y preocupaciones establecidas en la Convención de Naciones Unidas, pero añadiendo compromisos más sólidos que los que se habían estipulado en la Convención anterior. Fue un instrumento adoptado en Kyoto, Japón en 1997, en el tercer periodo de la COP de la CMNUCC, y que entró en

⁸² UNEP/UNFCCC; *Para comprender el Cambio Climático: Guía elemental de la Convención Marco de Naciones Unidas y el Protocolo de Kyoto*, [en línea], Suiza, 1999. Disponible en: <http://www.unep.ch/iuc>.

⁸³ Esta Convención Marco significó el punto de partida para los acuerdos posteriores entre los países, dando paso a reuniones periódicas.

⁸⁴ Es el resultante de la actividad humana o producida por éste.

⁸⁵ IPCC. *Cambio climático 2007*, Artículo 3 de la CMNUCC, Anexo 1-Glosario, *op. cit.* p. 103.

⁸⁶ Acuerdo internacional autónomo, pero vinculado a un tratado existente.

vigor el 16 de febrero de 2005⁸⁷ en el que se comprometen 38 países y la UE a reducir entre 2008 y 2012, sus emisiones antropógenas de los GEI en un 5.2% como mínimo, respecto de los niveles de 1990.⁸⁸ Lo que hizo el Protocolo fue seguir reforzando los acuerdos alcanzados en la CMNUCC, por lo que no contiene compromisos nuevos para los países en desarrollo (Anexo 1, que incluye a los países miembros de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico [OCDE] y las economías en transición).

Se acordó que los países industrializados emisores de GEI (Anexo 2) debían ser los primeros en adoptar las medidas y mecanismos necesarios para controlarlos. En el caso de los países en desarrollo, no existen metas cuantificables para reducir sus emisiones pero sí existen compromisos particulares, entre los que destacan la elaboración de inventarios nacionales de emisiones. Al respecto, todos los países emisores son responsables del problema, pero no todos lo son de igual manera tanto en cantidad de emisiones anuales, como en emisiones históricas.⁸⁹ Esta controversia se hizo evidente con la creación de la CMNUCC y dicho Protocolo, ya que el nivel de responsabilidad en relación con el surgimiento de nuevos actores económicos mundiales como China e India parecía no tener rango. Las responsabilidades comunes pero diferenciadas deben reordenarse en las negociaciones internacionales, haciéndolas obligatorias para los mayores emisores de GEI. De lo contrario, determinar sanciones comerciales por el no cumplimiento de los regímenes establecidos.

Uno de los grandes impedimentos por los que aún no entraba en vigor, fue porque los países que emitían más GEI no lo habían ratificado. “El Protocolo será jurídicamente obligatorio sólo una vez que por lo menos 55 países, entre ellos los países industrializados que representan aproximadamente el 55% de las emisiones de CO₂ de los países desarrollados en 1990, lo hayan ratificado”.⁹⁰ Son países que se consideran contaminantes activos; por lo tanto era necesario que lo ratificaran. Si

⁸⁷ Su entrada en vigor, significó un paso esencial para combatir el cambio climático, creando las bases para una creciente acción global efectiva en su lucha en las próximas décadas.

⁸⁸ World Wild Found/Adena; *Protocolo de Kyoto. Situación actual y Perspectivas* [en línea]. Disponible en: <http://www.wwf.es>. [consulta: 25 de mayo de 2009]. p. 3-8.

⁸⁹ “Los países que enfrentarán los costos más altos serán aquellos, cuya contribución en tanto emisiones de GEI es pequeña”. Gian Carlo Delgado Ramos. *Petróleo, Medio Ambiente, Cambio Climático y Seguridad: Macondo, otra advertencia más* [en línea, pdf]. Nómadas. Revista Crítica de Ciencias Sociales y Jurídicas, México, febrero de 2011. Dirección URL: <http://www.ucm.es/info/nomadas/30/giandelgado.pdf> [consulta: 17 de octubre de 2011].

⁹⁰ UNEP/UNFCCC, *Para comprender el Cambio Climático*, op. cit. p. 21.

alguno de los grandes emisores no lo ratificaba (UE, Rusia y Japón), resultaría imposible que el Protocolo entrara en vigor. En el caso de la UE,⁹¹ sus emisiones debían reducirse en un 8%; E.U. 7% y Japón 6%, aunque se temía que países como Noruega las aumentara en un 1%, Australia 8% e Islandia 10%.⁹²

En noviembre de 2004, Rusia, país responsable del 17.4% de las emisiones mundiales de GEI ratificó su adhesión al Protocolo, con lo cual Kyoto entraba en vigor el 16 febrero de 2005, después de un largo periodo de incertidumbre. En una reunión del 31 de octubre al 8 de noviembre de 2005, el Grupo de los 8 (G8)⁹³ trató justamente dicho tema, en un esfuerzo más por hallar acuerdos sólidos al respecto. Durante esta reunión se buscó diseñar estrategias para combatir el problema, mediante políticas de fomento al uso de tecnologías limpias para la generación de energía, así como crear condiciones favorables para negociaciones futuras dentro del marco de la ONU. Cabe destacar que en noviembre de 2006, 168 países se habían adherido al Protocolo de Kyoto, representando el 61.6% de la emisión total de los GEI de los países en desarrollo o con economías en transición.⁹⁴

Australia declaraba que mientras este tratado no fuera ratificado por E.U., éste tampoco lo haría. Además, el gobierno australiano señalaba que al firmarlo, se causarían graves repercusiones en su economía, debido a significativas exportaciones del carbón y fuerte dependencia de este combustible. Pese a ello, en diciembre de 2007, el nuevo Primer Ministro Australiano Kevin Rudd lo ratificó,⁹⁵ declarando su fuerte compromiso para reducir sus emisiones en un 8%, respecto a los niveles de 1990. Al

⁹¹ La UE suscribió su propio acuerdo interno para llegar a la meta fijada del 5.2%. Luxemburgo debía reducir sus emisiones en un 28%, Dinamarca y Alemania 21%, aunque se temía un aumento de Grecia, con un 25% y Portugal con un 27%. *Portal de la Unión Europea*. Dirección URL: http://www.europa.eu/pol/env/index_es.htm. (consulta: 12 de junio de 2008).

⁹² UNEP/UNFCCC, *op. cit.* p. 28

⁹³ Grupo conformado por los 8 países más ricos del mundo, integrado por Francia, Alemania, Reino Unido, Italia, Estados Unidos, Canadá, Rusia y Japón; mientras que los países invitados son China, India, Brasil, Sudáfrica y México. Fue creado el 25 de marzo de 1973.

⁹⁴ Instituto Nacional de Ecología, *Portal sobre Cambio Climático*. Dirección URL: http://cambio_climatico.ine.gob.mx. [consulta: 14 de junio de 2009].

⁹⁵ En las elecciones del 24 de noviembre de 2007, Kevin Rudd, miembro del Partido Laborista, quien había prometido desde el principio de su campaña electoral firmar el Protocolo de Kyoto, derrocó al conservador John Howard quien nunca tuvo intenciones de ratificarlo.

haber pasado 90 días para que su ratificación entrara en vigor, Australia se convirtió en un nuevo miembro del Protocolo en marzo de 2008.⁹⁶

E.U. quedó excluido de la lista de posibles países que lo ratificaran, ya que durante la Administración Bush, nunca se aceptó un compromiso por el que estuvieran de acuerdo y mucho menos ratificarlo. E.U. es un país que utiliza el doble discurso. Por un lado, señala que la conservación del medio ambiente es vital para alcanzar objetivos claros, pero por otro lado, aún no ratifica el Protocolo de Kyoto desde su suscripción, debido a su gran dependencia de los combustibles fósiles, siendo el interés económico, el punto crucial para seguir erigiéndose como la mayor potencia mundial.

Es importante saber que el Protocolo de Kyoto también estableció tres mecanismos flexibles para mitigar las emisiones de GEI: el Comercio de Emisiones, el Desarrollo Limpio y la Implementación Conjunta. El primero permite que los países industrializados adquieran y vendan créditos de emisiones entre sí, es decir, los países con un superávit de emisiones, podrán vender los créditos de emisiones excedentes a otros países que consideren no llegar a la meta fijada. Este punto ha sido muy criticado, debido a que no tiene soluciones de fondo, además de que el proceso de medición sobre cuantificación de emisiones no ha sido bien utilizado por muchos países (deben comprobar la reducción de emisiones sobre una línea base); en el segundo se le da la posibilidad a los gobiernos y empresas privadas, nuevas vías para transferir tecnologías limpias a los países en desarrollo, mediante la promoción del desarrollo sostenible, ya que éstos últimos no han fijado metas; y en el tercero sólo participan países del mismo nivel de desarrollo, a través de proyectos de desarrollo sustentable⁹⁷ que implementen nuevos mecanismos que puedan prevenir los impactos sociales y ambientales.⁹⁸

El Protocolo de Kyoto ha significado una tarea ardua y difícil en las negociaciones de algunos países industrializados, debido a las oposiciones de las industrias petroleras, de carbón y automotrices principalmente. Cualquier cambio o

⁹⁶ S/a, Cambio Climático: “Australia ratifica el Protocolo de Kyoto. Estados Unidos será el único país industrializado afuera del acuerdo” [en línea], Radio Mundo Real, 4 de diciembre de 2007, Dirección URL: <http://www.ecoportal.net> [consulta: 15 de marzo de 2009].

⁹⁷ La Agenda 21, el documento final de la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (conocida también como Cumbre de la Tierra), celebrada en Brasil en 1992, adoptó el término de “desarrollo sustentable”, aquel que satisface las necesidades del presente, sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras. Su objetivo es asegurar que la escala total de la actividad económica no sobrepase la capacidad de carga de los ecosistemas. *Agenda 21* [en línea], Naciones Unidas. División para el Desarrollo Sustentable, 2009. Dirección URL: http://www.un.org/esa/dsd/agenda21_spanish/ [consulta: 14 de marzo 10].

⁹⁸ UNEP/UNFCCC, *Para comprender el Cambio Climático*, op. cit. pp. 31-33.

alteración en sus actividades económicas, representaría una amenaza y obstáculo para sus actuales operaciones comerciales. A pesar de los esfuerzos realizados, este fenómeno global sigue poniendo en peligro a millones de habitantes sin importar ubicación geográfica, estrato social o recursos económicos. Actualmente, el impacto más directo se refleja en los países en desarrollo, por lo que se requieren reducciones drásticas en las emisiones de GEI, mediante acciones rápidas, concretas y ambiciosas que son esenciales para prevenir cambios climáticos peligrosos. Empecemos por nosotros mismos y contribuyamos a que el cambio climático disminuya sus efectos, ya que pequeñas acciones pueden llevarnos a grandes cambios.

Las actividades antropogénicas continúan cambiando la composición de la atmósfera y los componentes del sistema climático. La concentración de emisiones de GEI podría alcanzar el doble de su nivel preindustrial, y los riesgos de los peores impactos sólo podrán reducirse si se estabilizan sus niveles actuales, mediante una mayor eficiencia energética, modificación de la demanda, y la adopción de tecnologías de energía limpia, señalando que la adaptación es la única respuesta para sobrellevar las consecuencias del cambio climático, y que la cooperación a nivel de países, sociedad civil, ciudadanía, y sector público y privado es necesaria para reducir sus riesgos. Es urgente una firme acción colectiva para lograr una economía global de baja emisión de CO₂.

Una de las consecuencias del cambio climático es la destrucción y pérdida de los ecosistemas, y los arrecifes coralinos se encuentran entre los hábitats que están siendo afectados en mayor medida. En las últimas décadas, los corales han constituido el punto de partida para saber más allá de lo que nos ofrece la naturaleza, a través de numerosos estudios que nos han dotado de su verdadera esencia. Si bien se han expuesto a los diversos cambios del clima, hoy en día se enfrentan a amenazas múltiples que inciden en las alteraciones del Planeta y todo lo que esto conlleva. Al mismo tiempo, su degradación conlleva a impactos ambientales, políticos, económicos, sociales y por qué no culturales para el ser humano, especialmente para los habitantes de las comunidades costeras y Estados isleños, ya que su bienestar e incluso su propia existencia están en juego.

2. Un mundo incierto para los arrecifes coralinos

2.1. El maravilloso mundo de los arrecifes coralinos.

Los arrecifes coralinos se hallan entre los ecosistemas más antiguos y biológicamente diversos existentes sobre la Tierra, que emergieron hace más de 200 millones de años. Los arrecifes actuales datan desde hace 8000 años después de que crecieron cuando los niveles del mar aumentaron 100 metros, y se han recuperado después de grandes cambios climáticos, meteoritos y otros eventos catastróficos.⁹⁹

Las primeras referencias sobre el estudio de los corales se remontan a las últimas décadas del siglo XVI con los trabajos de Lobel en 1576 e Imperati en 1599, quienes colectaban esqueletos calcáreos (corales) en las orillas de las costas. Posteriormente se realizaron otros estudios por numerosos biólogos, quienes aportaron mayores contribuciones a los corales (los estudios ecológicos en sí comenzaron hasta el año 1800). Científicos pioneros como Charles Darwin fueron de los primeros en descubrir la vida marina del arrecife coralino y proporcionar las primeras teorías acerca del origen y naturaleza de éstos. El viaje a bordo del *Beagle* en 1836 le proporcionó la oportunidad de estudiar las formaciones coralinas muy de cerca, siendo prominentes después de su primera publicación en 1851. Esta travesía fue rápidamente seguida por otros, culminando con el famoso viaje del *Challenger*, en el que pasaron tres años explorando los océanos del mundo a principios de los años 70 (a partir de las investigaciones científicas de Darwin y demás pioneros, se descubrió que los arrecifes coralinos son ecosistemas muy complejos, que aún poseen muchos misterios).¹⁰⁰

Cuando los corales crecen a lo largo del tiempo, adquieren tres principales estructuras características: el arrecife limítrofe (*fringing reef* en inglés), la barrera arrecifal (*barrier reef* en inglés) y los atolones, una isla en forma de anillos, que rodea una laguna central poco profunda.¹⁰¹ Cuando los corales crecen, lo hacen alrededor de una isla volcánica, formando la primer estructura (si las condiciones son las favorables, el arrecife continuará expandiéndose, hasta convertirse en una barrera arrecifal). La segunda estructura se forma cuando la isla volcánica comienza a sumergirse (los arrecifes están separados de ésta por una masa de tierra adyacente a una laguna

⁹⁹ Les Holliday, *Coral Reefs: a Global View*, Tetra Press, USA, 1989, p .10.

¹⁰⁰ *Ibidem*, p. 11.

¹⁰¹ La forma y estructura de cada arrecife es extremadamente variable. Charles Darwin fue el primero en describir su morfología en 1842.

profunda). Cuando la isla está completamente sumergida por debajo del nivel del mar, el arrecife forma un atolón (cambios en el nivel del mar durante la última glaciación pudieron haber ocasionado que estas islas volcánicas quedaran sumergidas).¹⁰²

Cuando pensamos en corales, probablemente imaginamos el mar, aguas azules y claras, playas de arena e infinidad de coloridos peces, sin saber la maravilla oceánica que resguardan. Los corales son organismos pertenecientes a un grupo de organismos llamados coelenteratas o Phylum Cnidaria (este grupo también incluye medusas, anémonas de mar y abanicos de mar), siendo los principales constructores de arrecifes coralinos, grandes cadenas de coral que son comparadas con los bosques tropicales, debido a su gran riqueza natural y diversidad biológica. No obstante, ambos biomas son muy diferentes. Mientras que en los bosques tropicales, las plantas son las estructuras más visibles y los animales están relativamente ocultos, en un arrecife de coral, ambas especies se conjugan para formar un mundo lleno de colorido y formas multifacéticas.¹⁰³

Los arrecifes coralinos —“selvas tropicales del mar”— albergan una gran diversidad marina, incluyendo peces, corales, esponjas y demás organismos marinos.



¹⁰² Science Education Resource Center, *Corals: Unit Overview* [en línea], United States, Carleton College, 12 de agosto de 2008, Dirección URL: <http://www.serc.carleton.edu/eslabs/corals/6c.html> [consulta: 11 de marzo de 2010]

¹⁰³ Sergio González Ferrer, *Corales Pétreos. Jardines sumergidos de Cuba*. Instituto de Oceanología, Editorial la Academia, La Habana, Cuba, 2004, p. 16.



Fuente: <http://www.google.com.mx/imágenes/coralesmarinos>
[consulta: 11 de mayo de 2011]

Los arrecifes coralinos están entre los ecosistemas biológicamente más productivos del mundo.¹⁰⁴ Son comunidades que albergan a una gran diversidad de especies marinas como peces, moluscos, crustáceos y tortugas, abarcando cientos de kilómetros por debajo de la superficie del mar, ya sea en aguas cálidas o tropicales, de tonalidades azules y verdes. Constituyen un inmenso paisaje de corales lleno de atractivos colores brillantes, formas variadas y tamaños diversos que nos dejan entrever las maravillas del grandioso mundo submarino. A pesar de tener el poder de crear las estructuras más sólidas en el mundo hechas por una forma de vida, el delgado tejido del coral es particularmente vulnerable a los disturbios naturales, así como a los efectos de las actividades humanas.

Los corales, caracoles y otros organismos marinos, usan calcio (Ca) y carbonato (CO₃) del agua de mar para construir sus caparazones o esqueletos de carbonato cálcico (CaCO₃) (es increíble la capacidad que tienen para formar estructuras, a partir del calcio del agua). Están hechos de aragonita, un tipo de carbonato cálcico que es secretado por los pólipos coralinos con un promedio de 400 a 2000 toneladas por año. Los corales influyen en el balance químico de los océanos. Así como los mares y bosques tropicales absorben GEI, los corales depositan carbonato cálcico en sus

¹⁰⁴ Hasta la fecha, 100 mil especies marinas han sido nombradas y descritas de un total estimado de 500 mil y 2 millones que viven en los arrecifes de todo el mundo. Miguel Guzmán Peredo, *op. cit.* pp. 19-23.

esqueletos, eliminando grandes volúmenes de CO₂ de los océanos. Con cada átomo de calcio, una molécula de este gas es también depositada, con una fijación estimada de 700 miles de millones de kilogramos de carbono por año (a medida que más y más piedra caliza o aragonita se deposita en el lecho marino, más CO₂ es eliminado de la atmósfera). “Irónicamente, la contribución de estos ecosistemas en la reducción de este gas está acelerando su desaparición”.¹⁰⁵

El agua marina contiene carbonato. Este llega a los océanos desde los ríos que han discurrido por cauces que contenían piedra caliza o rocas que contenían cal, reaccionando con el CO₂ absorbido por los océanos.¹⁰⁶ En esos momentos existe un equilibrio entre la concentración de carbonato y este gas. No obstante, a medida que este último aumenta, el carbonato se consume. Los sedimentos de carbonato de calcio producidos a base de otros organismos que viven en y de un arrecife como el alga calcárea verde *Halimeda*, llenan las grietas de la estructura coralina, produciendo un denso cemento de carbonato cálcico que aglutina fuertemente el arrecife entre sí.¹⁰⁷

Los arrecifes de coral del planeta constituyen 284.300 km², lo que representa el 0.089% de los océanos del mundo y menos del 1.2% de la corteza terrestre mundial. Según el Atlas Oceánico de Naciones Unidas, los arrecifes de coral del planeta albergan alrededor del 25% de la vida marina con cerca de 4000 especies de peces, 800 de corales y cientos de especies marinas que varían en formas, tamaños y colores.¹⁰⁸ Se estima que el crecimiento de un arrecife coralino varía de 1 a 10 milímetros por año, dependiendo de las condiciones ambientales en las que se encuentren y del tipo de coral al que nos refiramos (algunos corales crecen de 0.3 a 2 centímetros por año), ya que su propia existencia puede limitarse en caso de cualquier alteración que perjudique su crecimiento. En términos generales, un arrecife puede crecer 1.0 mm por año en escala vertical y alrededor de 8.0 mm anuales horizontalmente (pueden crecer hasta 10 metros cada mil años).¹⁰⁹

¹⁰⁵ Charles Birkeland, *Life and Death of Coral Reefs*, University of Guam, Chapman & Hall Editions, International Thomson Publishing (ITP), New York, 1997, p. 5.

¹⁰⁶ Hay diferencias notables entre el agua de mar y el agua de los ríos. De los ríos, sus aguas tienen menos cloruro y calcio, pero más magnesio que el agua del océano, mientras que en el agua de los océanos abunda el calcio y carece de magnesio.

¹⁰⁷ Zvy Dubinsky, *Ecosystems of the World: Coral Reefs*, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1990, p. 82.

¹⁰⁸ Atlas de Ecología, *Nuestro Planeta*, Cultural de Ediciones, S.A., Barcelona España, 1995, pp. 94-105.

¹⁰⁹ Ellen J. Prager, *op. cit.* p. 216.

Los arrecifes coralinos forman parte de un gran ecosistema que también incluye manglares y pastos marinos. Los primeros, son ecosistemas conformados por árboles (mangles) con ramas sumergidas tolerantes a la sal, que protegen a las zonas costeras de las tormentas y ayudan a filtrar contaminantes llevados por los ríos hacia el mar. De éstos dependen las dos terceras partes de especies de peces que van a los mares, gran parte de los cuales son de valor comercial, además de proteger a los arrecifes coralinos de los altos niveles de sedimentación y turbidez. A pesar de constituir la vegetación costera dominante de las regiones tropicales, más del 50% de los manglares a nivel mundial han sido talados. Los segundos, son plantas marinas que viven en las aguas costeras de casi todo el mundo. Son ecosistemas claves en la red alimenticia, que proporcionan alimento y hábitat a peces, langostas, tortugas, caballitos de mar, manatíes y demás vida marina como erizos de mar y pepinos de mar, contribuyendo a la diversidad y abundancia en los mares tropicales, además de capturar nutrientes provenientes de las descargas costeras.¹¹⁰

Los manglares y pastos marinos constituyen una parte esencial en el pleno crecimiento de los corales.



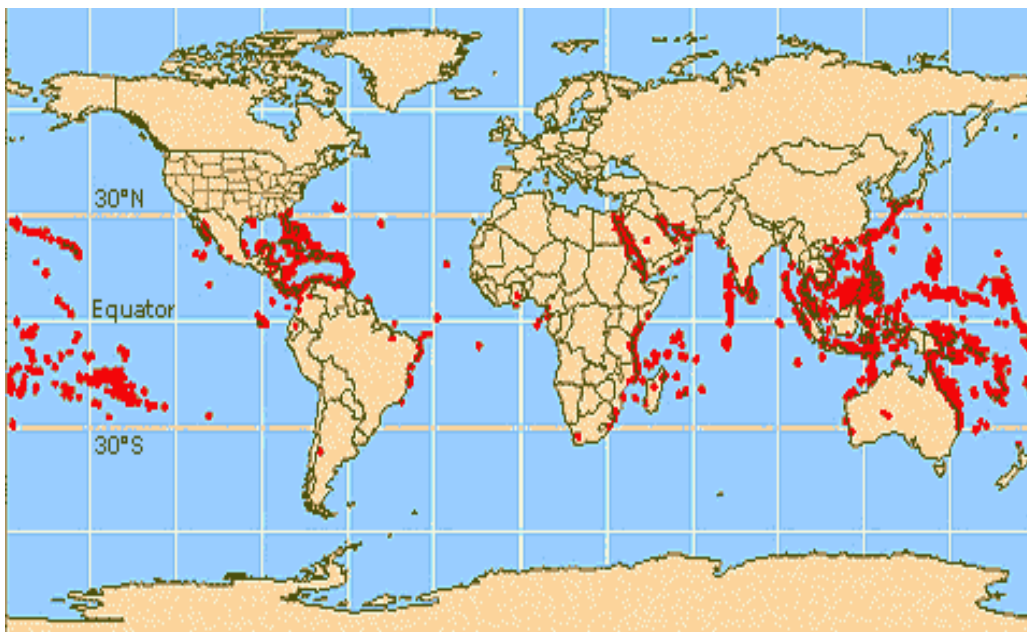
Fuente: <http://www.ecologiablog.com/tag/pnuma>
[consulta: 5 de febrero de 2011].

Los principales factores que fomentan la salud y buen crecimiento del arrecife coralino son aguas claras y templadas. Requieren de aguas cristalinas, por lo que generalmente se encuentran solamente en aguas con pequeñas cantidades de material

¹¹⁰ Carl Roessler, *Coral Kingdoms*, Abradale Press, Harry N. Abrams Inc Publishers, New York, 1990, p. 18.

suspendido y baja turbidez. Se localizan en latitudes inferiores a 30°, entre el Trópico de Cáncer y el Trópico de Capricornio con temperaturas que oscilan entre los 21 y 27°C.¹¹¹ Sólo abundan en las costas orientales de los continentes, debido a las grandes corrientes superficiales cálidas que se desplazan a lo largo del Ecuador en dirección oeste (a estas temperaturas hay mayor deposición de CaCO₃ necesario para la construcción de los arrecifes), y se desarrollan entre los 4 y hasta los 40 metros de profundidad.¹¹² La temperatura es otra de las cantidades medibles que se usan para determinar el ambiente favorable de los arrecifes coralinos, ya que son extremadamente sensibles a estos cambios por mínimos que parezcan,¹¹³ aunque no toda la vida marina lo ha padecido; por ejemplo, la medusa y el calamar gigante crecen más con el solo hecho de sentir el calor de las aguas oceánicas, además de que también se benefician de algunas formas de contaminación humana, incrementando el tamaño y toxicidad de su agujón.

DISTRIBUCIÓN MUNDIAL DE LOS ARRECIFES CORALINOS



Fuente: Servicio Oceánico Nacional de NOAA. <http://oceanservice.noaa.gov/education>
[consulta: 18 de marzo de 2011]

¹¹¹ La temperatura del mar yace dentro de un rango de 16-36°C. Los arrecifes coralinos no se forman donde las temperaturas oceánicas se encuentran regularmente debajo de los 18°C, ya que hay menores índices de CaCO₃.

¹¹² Ivan Valiela, *Global Coastal Change*, Blackwell Publishing, United Kingdom, 2006, p. 22.

¹¹³ La tolerancia térmica parece variar por la especie de coral y la ubicación geográfica. Los arrecifes de los Cayos de Florida crecen con temperaturas de 18°C; temperaturas arriba de los 33°C son toleradas por comunidades coralinas en el norte de la Gran Barrera Arrecifal Australiana (GBA) y el Golfo Pérsico.

La química de los océanos también juega un papel importante en la ubicación de los arrecifes coralinos. La cantidad de sal (salinidad) y aragonita (disponibilidad de carbonato cálcico) en el océano influye en la capacidad del coral para crecer y desarrollarse óptimamente. Más de 70 elementos químicos han sido identificados en el agua de mar, generalmente en pequeñas cantidades. Las sales más abundantes en el océano son el cloro, sodio, sulfuro, magnesio, calcio y potasio. La salinidad del agua de mar necesita estar en una concentración óptima de 35 gramos por litro. No obstante, es afectada por múltiples factores, incluyendo el derretimiento de los polos, la afluencia del agua de los ríos, evaporación, viento, movimiento de olas y corrientes oceánicas.¹¹⁴

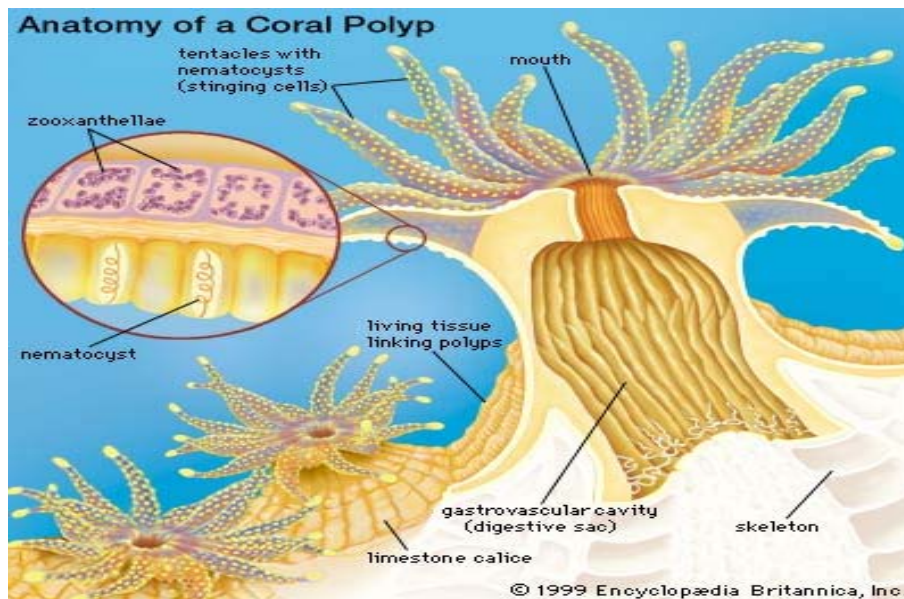
Un rango entre 25 y 40 gramos puede ser tolerado, aunque puntajes más altos son perjudiciales para muchos corales y otras plantas arrecifales y animales marinos. No toleran la baja salinidad, por lo que son poco comunes en costas con desembocaduras de grandes ríos como el Amazonas y el Orinoco en la costa este de América del Sur. Las colonias coralinas que pueden sobrevivir a las altas y bajas salinidades por periodos de tiempo, y las que se exponen extremadamente a mareas bajas pueden secretar una capa mucosa que actúa como barrera contra la desecación (los gametos coralinos son más sensibles a las condiciones de salinidades alteradas que las colonias adultas).

Mientras los corales aparentan ser rocas o plantas, son estructuras compuestas de pequeños organismos invertebrados llamados pólipos, que están unidos por un sistema gastrovascular común, cubriendo al coral en su totalidad. Son cientos de miles de pólipos interconectados que se componen de una capa celular externa llamada epidermis y una interna llamada gastrodermis, éstas, separadas por una delgada capa que las conecta al tejido, la mesoglea, así como de un esqueleto llamado calix de piedra caliza (carbonato cálcico). En una colonia de coral, los pólipos son conectados unos con otros a través de una delgada banda de tejido vivo llamada coenosarco.¹¹⁵ La base del calix en la cual el pólipo se asienta se llama base platal; las paredes externas que lo rodean se llaman theca, esta última cubierta por los tejidos coralinos.

¹¹⁴ Les Holliday, *op. cit.* p. 40.

¹¹⁵ Todos los corales surgen de un solo pólipo (pueden medir de 1 a 3 milímetros de diámetro), hasta formar capas de pólipos que conforman todo el coral. Las células de algunos corales son capaces de matar a los pólipos de otros, creciendo una colonia sobre la otra.

ANATOMÍA DEL PÓLIPO CORALINO



Fuente: <http://www.media-2.web.britannica.com>
[consulta: 01 de octubre de 2010]

Todos los corales son carnívoros. Poseen una boca rodeada por un anillo de brazos llamados tentáculos; estos últimos tienen células urticantes llamadas nematocitos que usan los pólipos para capturar su alimento. Se alimentan principalmente de zooplancton, animales microscópicos que viven en el agua de mar (otros animales que se alimentan de éste son las medusas, camarones y pequeños calamares), inyectando a su presa un líquido venenoso que la paraliza.¹¹⁶ El alimento entra al estómago a través de la boca, y cuando ya es digerido por los filamentos digestivos, los desperdicios son expulsados por la misma cavidad (el alimento consumido por un pólipo es compartido con los demás pólipos vecinos). Muchos corales duros o pétreos que viven en aguas poco profundas son alimentadores nocturnos, mientras los corales suaves, que generalmente se encuentran en aguas más profundas, se alimentan durante el día.¹¹⁷

Hay dos tipos de coral: los corales pétreos o duros y los corales suaves. Los primeros, con apariencia rocosa tienen un esqueleto externo hecho de piedra caliza o carbonato cálcico (CaCO_3), mientras los segundos, que son flexibles y suaves lo tienen

¹¹⁶ Muchos corales suaves como las gorgóneas poseen defensas químicas en forma de terpenes, compuestos desagradables en sus tejidos que disuaden a los depredadores.

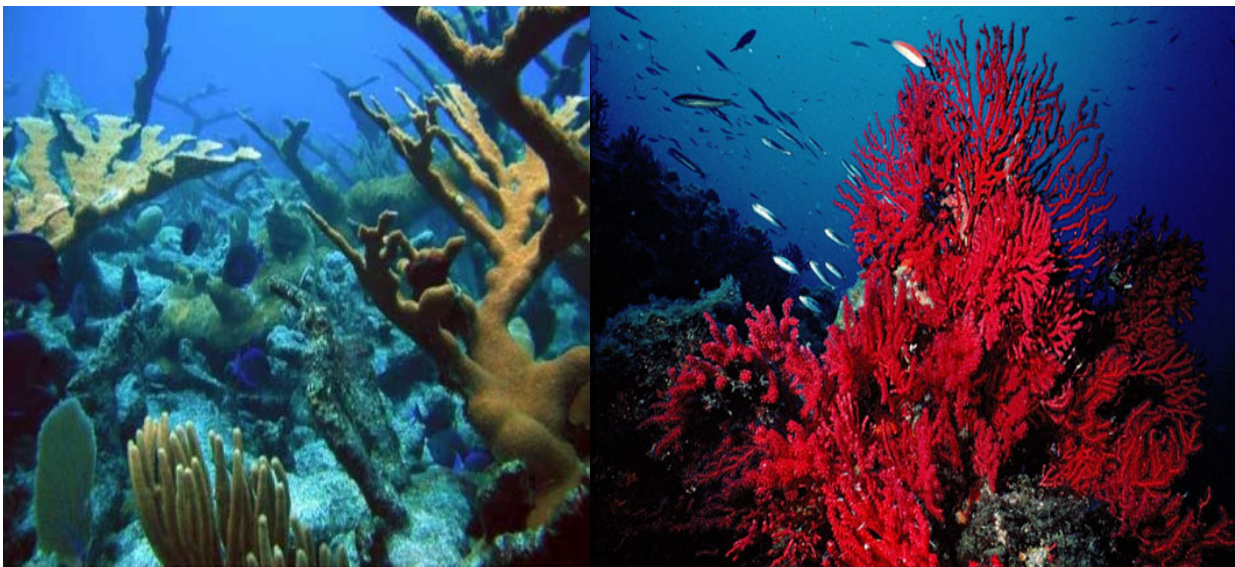
¹¹⁷ En su mayoría se alimentan durante la noche, cuando las olas y corrientes marinas conducen el zooplancton hacia las zonas poco profundas en las que se hallan.

incrustado dentro de sus cuerpos. El CaCO_3 en los corales suaves está en forma de pequeños pinchos que ayudan a unir a muchos pólipos individuales, cuando en los corales duros, los pólipos se encuentran dentro de pequeños huecos construidos por carbonato cálcico. Muchos de estos huecos constituyen una colonia de coral y cuando éstas crecen, los arrecifes de coral son formados (ambos tipos de coral adquieren formas peculiares, dependiendo de los factores físicos en el medio).

Ejemplos de algunas especies de corales duros son el coral cuerno de alce, un tipo de coral con ramas gruesas y anchas parecidas a los cuernos de un alce; el coral cuerno de ciervo; el coral dedo, que hace alusión a su nombre con ramas en forma de dedos (sus columnas alcanzan a medir hasta 3 metros de altura); el coral cerebro, por su similitud a un cerebro humano; y el coral incrustado, que se adhiere al lecho marino. Ejemplo de corales suaves, frecuentemente representados en forma de ramas, lo constituyen el coral follaje, comparado con los pétalos abiertos de una flor; el coral lechuga; el coral hongo, que atribuye su nombre a la forma de un hongo; y el coral abanico o gorgonia, que también hacen alusión a su nombre (este tipo de especies tienden a crecer mucho más rápido, en profundidades de 30 metros o más, y bajo condiciones favorables pueden crecer verticalmente hasta 10 cms. por año).¹¹⁸

CORAL CUERNOS DE ALCE

GORGONIA O ABANICO DE MAR



Fuente: <http://www.blog.navega.eu/wp-content/uploads/coral2.jpg>
[consulta: 5 de abril de 2011]

¹¹⁸ Arrecife de coral. *Reserva Nacional de Investigación Estuarina, Bahía de Jobos* [en línea]. Dirección URL: http://ctp.uprm.edu/jobos/educación/arrecifes_de_coral.html. [fecha de consulta: 10 de Octubre de 2009].

La reproducción es el proceso por el cual nuevos individuos son formados. Los corales pueden reproducirse de forma sexual y asexual. En el caso del primero, se requiere la fusión de dos gametos, femenino (óvulo) y masculino (espermatozoide),¹¹⁹ expulsándolos al agua durante el lapso de desove, que puede ser mensual o anual, y cuyo éxito está condicionado por la temperatura del agua, las mareas y los ciclos lunares. Muchas de estas especies desovan a la vez en eventos sincronizados que ocurren pocas noches cada año, liberando millones de huevos y espermias dentro del agua al mismo tiempo.¹²⁰ Los huevos y espermias rompen el cascarón, y se unen para flotar libremente, creando una larva llamada plánula. Grandes números de plánulas son producidas para compensar muchos de los peligros a los que se enfrentan, como los predadores que encuentran cuando son llevados por las corrientes de agua (el tiempo entre la formación de la plánula es un periodo de alta mortalidad entre los corales).¹²¹

Muchas especies de coral desovan en eventos de masa sincronizados, liberando millones de huevos dentro del agua al mismo tiempo.



Fuente: <http://www.google.com.mx/imágenes/desovedecorales>
[consulta: 14 de enero de 2011]

La plánula nada hacia arriba, y puede durar meses en recorrer varios kilómetros hasta encontrar, por medio de receptores químicos, una superficie sólida adecuada a lo largo del borde de islas o continentes, ya que sólo crecen en las aguas superficiales del mar donde la luz puede penetrar; después de flotar en la superficie del mar, la plánula

¹¹⁹ Cerca de tres cuartos de todos los corales duros producen gametos masculinos y/o femeninos.

¹²⁰ Cerca de 250 especies coralinas ya estudiadas, la mayoría (quizá el 85%) desovan, muchas de las cuales participan en eventos masivos de desove durante periodos limitados cada año

¹²¹ Charles Birkeland, *op. cit.* pp. 177-179.

nada hacia el fondo, donde, si las condiciones son satisfactorias, se fijan en el suelo marino. Una vez que la plánula se asienta, comienza su ciclo de metamorfosis,¹²² dando origen a una colonia de coral y a su vez, formar un nuevo pólipo de coral. Una larva de plánula es diferente al pólipo coralino, ya que aún no tiene tentáculos para alimentarse, y la calcificación no ha tomado lugar.

Una larva que se asentó en un sitio no favorable para su desarrollo puede tener una segunda oportunidad, siendo capaz de retraer su tejido del esqueleto recién secretado y regresar en forma de plancton hasta encontrar otro sitio adecuado. Si de lo contrario, no logra fijarse, la larva muere (cuando mueren los corales viejos de generaciones anteriores, los nuevos se asientan sobre los sedimentos de los esqueletos muertos). Además, con la unión del gameto masculino y femenino de especies diferentes¹²³ durante los eventos de desove, puede ocurrir la aparición de nuevas especies. Si una especie masculina sólo produce espermatozoides, y una femenina sólo produce huevos, se le llama gonocórica (el 25% de las especies coralinas estudiadas a la fecha son gonocóricas). Sin embargo, si una sola especie es capaz de producir huevos y espermatozoides, se llama hermafrodita.

En el segundo caso, la reproducción asexual o gemación se produce cuando un pólipo produce un brote que se deriva de su cavidad gastrovascular, dando origen a nuevas colonias (esto ocurre cuando el pólipo alcanza cierto tamaño y se divide). Este proceso continúa durante toda su vida. En la reproducción asexual, las crías son genéticamente idénticas al progenitor. A diferencia de ésta, que reproduce copias exactas, la reproducción sexual resulta más favorable, ya que ofrece oportunidades de nuevas combinaciones genéticas, además de propiciar un mejor intercambio cromosómico. Sin embargo, la reproducción asexual toma lugar en cualquier periodo del año, evitando los problemas tolerados por la larva en la reproducción sexual.¹²⁴

Los pólipos coralinos y varios otros grupos de coelenteratas contienen dentro de sus tejidos gastrodérmicos, millones de plantas unicelulares de color verde-amarillizo llamada zooxantela. Viven en una relación simbiótica con esta planta, que transporta

¹²² Es el proceso de desarrollo durante el cual la larva experimenta una serie de cambios bioquímicos y morfológicos, mientras completan su transformación a la etapa juvenil.

¹²³ Este fenómeno es conocido como hibridación, fecundación entre dos individuos de razas o especies diferentes.

¹²⁴ Charles Birkeland, *op. cit.*, p. 179.

más del 98% de sus productos fotosintéticos al coral.¹²⁵ El pólipo coralino le proporciona un ambiente de protección, además de los compuestos necesarios – derivados de los desechos metabólicos de su alimentación– para que realice su proceso de fotosíntesis¹²⁶ (como todas las plantas, la zooxantela convierte la luz solar, el dióxido de carbono y el agua, en oxígeno y carbohidratos para alimentar al pólipo coralino, ayudando a producir su carbonato cálcico). En recompensa, el pólipo coralino obtiene nutrientes de la zooxantela (oxígeno, azúcares, lípidos y aminoácidos) para convertirlos en proteínas, grasas y carbohidratos, así como para crecer y liberar calor, desperdicios y dióxido de carbono. Los pigmentos en la zooxantela son los responsables de brindarle al coral fastuosos colores como el rojo, amarillo, morado o anaranjado.¹²⁷ Su colorido se debe a diferentes concentraciones y combinaciones de los pigmentos absorbentes característicos de algunos corales, por lo que el color está estrechamente relacionado con la vasta complejidad de biodiversidad marina.

Los corales y la zooxantelas trabajan juntos para extraer materiales del agua y formar esqueletos duros que crean estructuras arrecifales, depositando calcio varias veces más rápido durante el día que durante la noche. Sólo son encontrados en regiones oceánicas donde las condiciones son las apropiadas para que la zooxantela realice su proceso fotosintético y fortifique los esqueletos de piedra caliza que forman las estructuras coralinas (los récords de fósiles coralinos señalan que algunas de estas estructuras se han formado por alrededor de cientos de millones de años).

Las batallas silenciosas son constantemente hechas por las colonias coralinas que luchan por espacio disponible. El resultado de tales encuentros es que una de las especies de coral se convierte en dominante en parte del arrecife, mientras otras sucumben. En un ambiente de multitud, la competencia por el alimento y espacio siempre está presente. El principal recurso alimenticio para muchos peces arrecifales, es la mayoría de veces otro pez, y “comer o ser comido” es la regla general para

¹²⁵ Otro de los fenómenos simbióticos más interesantes es el de la anémona de mar con el pez payaso, que halla refugio en ésta, gracias a su inmunidad entre los venenosos tentáculos de su anfitrión.

¹²⁶ Es el factor abiótico más importante en la nutrición del coral y su crecimiento gradual. La zooxantela es la única que realiza este proceso. Solamente requiere de nutrientes inorgánicos, CO₂ y luz para la fijación de carbono.

¹²⁷ Sin la zooxantela, los corales perderán sus colores, presentando un color tenue o blanco. De aquí el nombre de blanqueamiento coralino. Sergio González Ferrer, *op. cit.*, p. 33.

sobrevivir.¹²⁸ Los peces herbívoros también son elementos claves en los arrecifes coralinos. En la lucha por la luz y el espacio, las algas marinas crecen rápidamente para monopolizar el espacio del arrecife.¹²⁹ Gracias a que se alimentan de las algas, éstas no se apropian del área donde los arrecifes se desarrollan. Cuando disminuyen las poblaciones coralinas a causa de ciclones, enfermedades u otras perturbaciones, estos herbívoros las controlan, permitiendo que el coral se recupere. En mar abierto, la proliferación de algas alimenta a las criaturas más grandes, lo que no representa amenaza alguna para las demás. En cambio, un florecimiento similar en aguas costeras o cerradas del océano puede crear condiciones devastadoras para la vida marina.¹³⁰

Los corales dependen de la energía solar para construir arrecifes. La profundidad del océano es un factor importante que determina por qué los corales son encontrados en áreas específicas del mundo, ya que al penetrar la luz en océano abierto puede llegar hasta profundidades limitadas de 200 metros, mientras que en aguas costeras sólo llega hasta los 50 metros (eso explica por qué no crecen en zonas más profundas donde la luz solar penetra muy poco). Sin embargo, hay excepciones de corales que crecen en profundidades inimaginables, cuya capacidad de secretar carbonato cálcico es enormemente reducida.

Cerca de la mitad de todas las especies azooxanteladas no tienen alga simbiótica en sus tejidos. Viven en profundidades oceánicas, especialmente en cuevas, donde hay menor competencia por el espacio. No pueden construir arrecifes y solamente coexisten cuando tienen la oportunidad de capturar plancton que pasa por ahí. Este es el caso de los corales *Lophelia*, que fueron descubiertos en la costas de Carolina del Norte (se cree que estos corales han existido desde hace 10,000 años). A diferencia de los corales que se desarrollan en aguas poco profundas y que adquieren cierta apariencia blanquizca cuando expulsan el alga simbiótica, el coral *Lophelia* es naturalmente blanco.¹³¹

¹²⁸ Una estrategia para la supervivencia de la mayoría de las especies marinas es el camuflaje, una herramienta utilizada como defensa a cualquier tipo de peligro, teniendo la capacidad de cambiar rápidamente de color o enterrarse en la arena para confundir a su presa y cazarla.

¹²⁹ El florecimiento de algas se define como el crecimiento excesivo rápido de algas, generalmente causado por los altos niveles de nutrientes.

¹³⁰ Susan M. Wells, *Coral Reefs of the World*. Prepared by the IUCN Conservation Monitoring Centre in collaboration with the United Nations Environment Programme, Cambridge, UK, 1988, p. 136.

¹³¹ Los corales a grandes profundidades están desafiando nuestro conocimiento sobre el crecimiento coralino, así como sus patrones de distribución a nivel mundial.

Los científicos recurren a lechos extraídos de arrecifes coralinos para estudiar su crecimiento, su historia y los cambios ambientales ocurridos con el tiempo (los lechos extraídos de una cabeza de coral se pueden cortar en rebanadas y someterse a rayos X para revelar su edad y los cambios sufridos durante su crecimiento). También han descubierto que cuando se exponen a la “luz negra” (luz ultravioleta), en el esqueleto coralino aparecen llamativas capas de un blanco fluorescente. Se cree que esas bandas brillantes reflejan épocas de fuertes escurrimientos, causados por tormentas importantes, que arrastran grandes cantidades de residuos orgánicos de tierra hacia el mar. Los lechos de coral extraídos en los Cayos¹³² de Florida han permitido determinar que durante las décadas anteriores a 1965, los huracanes azotaban esa región.¹³³

Comparados con los ecosistemas terrestres, los ecosistemas marinos reaccionan con mayor sensibilidad a los cambios de las condiciones climáticas. Son ecosistemas sumamente ricos en especies, que desafortunadamente están siendo amenazados por el cambio climático y demás factores humanos. Los corales que alcanzaron la cima en el pasado, hoy en día están en decline. Las concentraciones de CO₂ en la atmósfera global han incrementado cerca del 25% desde 1700, y los niveles preindustriales podrían alcanzar el doble para 2065. Los cálculos basados en las reacciones químicas evidenciadas por la comunidad científica, señalan que en lo que va del siglo XXI, estos incrementos pueden disminuir la precipitación de aragonita, la principal forma de carbonato cálcico usado por los corales para la construcción de los arrecifes de un 14 a 39% (el suministro de carbonato bajo podría marcar un cambio ambiental crítico, ya que los corales dependen de éste para construir sus esqueletos cálcicos).¹³⁴ Cada disminución podría significativamente debilitar los esqueletos coralinos y exponerlos aún más al peligro por el aumento de tormentas y otros disturbios. Muchos corales serán destruidos en los siguientes 30-50 años porque no soportarán cambios drásticos en la temperatura de los océanos. Todo dependerá de las condiciones ambientales (temperatura, salinidad del agua, disponibilidad de luz, claridad del agua u otros factores) que determinan los patrones de distribución local y morfología del arrecife.

¹³² Cadena de islas, islotes y arrecifes, cubierta en gran parte de mangle, comúnmente encontrada en el mar de las Antillas y el Golfo de México.

¹³³ Ellen J. Prager, *op. cit.* p. 168.

¹³⁴ Manuel Ludevid; *El Cambio global en el Medio Ambiente*, Alfaomega Grupo Editor, México, 1998, p. 46.

2.2. La importancia de los arrecifes coralinos.

Depósitos de inmensa riqueza biológica, los arrecifes de coral son reconocidos como los biotopos¹³⁵ marinos más ricos en especies. Considerados como un recurso valioso para el sustento de millones de comunidades locales que viven en las costas y los pequeños Estados Insulares, también desempeñan un papel importante en los ecosistemas marinos, ya que numerosas especies marinas dependen de arrecifes coralinos saludables, hallando refugio y alimento en éstos, además de ser lugares que sirven para la reproducción de crías de numerosas especies comerciales que abastecen a millones de habitantes del mundo.¹³⁶

Proveen a las comunidades costeras de alimento mediante la pesca, ya que en su mayoría dependen del consumo del pescado y sus derivados, que proporcionan grandes cantidades de proteínas.¹³⁷ A los corales se les asocia una buena parte de las especies de peces y mariscos que se utilizan en el consumo humano, aportando entre el 10 y 12% a las industrias pesqueras totales de los países tropicales y entre el 20 y el 25% solamente contabilizando peces. Su potencial global se estima en 9 millones de toneladas por año, contando sólo la pesca en los arrecifes coralinos, mientras que a nivel mundial se estima en 75-100 millones de toneladas anuales.¹³⁸

Los arrecifes coralinos actúan como protectores en caso de algún fenómeno natural como los huracanes y las tormentas cuando hay oleajes y mareas fuertes, protegiendo a las costas de la erosión (sin corales, la intensidad de las olas podría incrementar su fuerza). Además, han contribuido a delimitar geográficamente muchas regiones continentales e innumerables islas. Cabe destacar que los residuos de los

¹³⁵ Región determinada por condiciones climáticas y geográficas específicas, en la que habitan agrupaciones de seres vivos.

¹³⁶ S/a. *Importancia y amenazas a los arrecifes de coral* [en línea], San Juan, Puerto Rico, PUERTO DRNA, Navega por el Ambiente, 2006, Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, Dirección URL: <http://www.drna.gobierno.pr/oficinas/oficina-de-prensa-y...de.../importancia-y-amenazas-a-los-arrecifes-de-coral-1> [consulta: 3 de octubre de 2009].

¹³⁷ Un km² de arrecifes coralinos saludables pueden producir 15 toneladas de alimento por año, lo suficiente para más de 1000 personas. Holley Ralston, *Climate Change. Challenges Tuvalu/Coral Reefs-Rainforests of the Sea* [en línea, pdf]. Ediciones Germanwatch, Germany, 2004. Dirección URL: <http://www.germanwatch.org/download/klak/fb-tuv-e.pdf>. [consulta: 09 de marzo de 2011]. p. 8

¹³⁸ En las aguas costeras de Asia, las industrias pesqueras ya están casi agotadas, debido a la sobrepesca desmedida, así como la sobreexplotación de sus recursos. Sergio González Ferrer, *op. cit.* p. 34.

sedimentos de los corales que ya no tienen reparación alguna, son mezclados en el agua para llegar a las costas y formar la arena blanca de las playas.¹³⁹

Los arrecifes coralinos representan un atractivo turístico de gran valor. Los recorridos de buceo, viajes pesqueros, hoteles, restaurantes y otros negocios basados en la relación con éstos proporcionan oportunidades que generan un sinnúmero de empleos, ya que millones de personas los visitan cada año. De esta forma, el turismo se convierte en una importante fuente de ingresos para las comunidades locales, siendo una de las industrias más redituables del mundo con ingresos anuales de 375 mil millones de dólares.¹⁴⁰

También contribuyen a grandes avances farmacéuticos. La gran biodiversidad de especies coralinas es considerada una pieza clave para la cura de enfermedades de los próximos años, ya que se están desarrollando medicamentos para la posible cura de algunos tipos de cáncer, malaria, infecciones bacteriales humanas, virus, entre otros. Los científicos han confirmado que de los corales, pueden extraerse sustancias biológicas que se emplean como productos farmacéuticos para la medicina moderna.¹⁴¹ Además, las sustancias químicas que se extraen de éstos para diversos estudios científicos, han resultado de gran utilidad para la investigación en la cura de asma, artritis y SIDA. Por ejemplo, el tratamiento zidovudina o AZT, usado para el tratamiento de infecciones de VIH/SIDA está basado en químicos encontrados en las esponjas de los arrecifes del Caribe. Hoy en día, la mayoría de las investigaciones de los medicamentos cancerígenos están enfocadas en recursos de pequeños organismos marinos, muchos de los cuales habitan en los arrecifes. Esto radica en que su estructura, composición química y porosidad es muy similar a la del tejido óseo.¹⁴² No obstante, la extracción de este preciado recurso debe radicar en un uso sustentable que beneficie a ambas partes.

¹³⁹ Jennie Ramírez Mella, *¿Cuál es la importancia de los arrecifes de coral?*, [en línea], Puerto Rico, Universidad Interamericana de Puerto Rico Recinto de Ponce, Dirección URL: <http://crema.ponce.inter.edu/coral/importancia.htm>. [consulta: 12 de septiembre de 2009].

¹⁴⁰ Se estima que los arrecifes coralinos producen rentas anuales de 500 mil millones de dólares, contabilizando solamente la pesca y el turismo. Miguel Guzmán Peredo, *op. cit.* p. 20.

¹⁴¹ Se han obtenido buenos resultados en el tratamiento de quistes, tumores, cirugía reconstructiva y traumatismos severos.

¹⁴² Impacto Verde, *La Gran importancia de los arrecifes de coral*, [en línea], Primer Periódico ecológico Dominicano, 16 de abril de 2008, Dirección URL: <http://impactoverde.info/ecosistemas/la-gran-importancia-de-los-arrecifes-de-coral.html> [consultado: 8 de octubre de 2008].

Algunas industrias ven a las estructuras coralinas como una fuente de materias primas de gran valor, ya que de algunas rocas sustraídas por estos grandes consorcios obtienen cal, al igual que arena, materiales empleados para la construcción de casas, edificios e iglesias principalmente. Los arrecifes de coral también son utilizados en la fabricación de artesanías y artículos de joyería o decoración.¹⁴³

Aunque los arrecifes coralinos tan sólo cubren el 1.2% de la plataforma continental global, se estima que más de 100 millones de personas son económicamente dependientes de ellos. Siendo uno de los entornos más espectaculares del planeta, están mostrando señales globales de mala salud. Un reporte del estado de los arrecifes de coral a nivel mundial en 2004 señala que, el 20% de todos los arrecifes de coral han sido efectivamente destruidos y no muestran perspectivas de recuperación inmediata; el 24% de éstos están bajo riesgo inminente de colapso, a causa de las presiones humanas y cerca del 26% se encuentran bajo amenaza de colapso a largo plazo.¹⁴⁴ Los cambios de los pasados 20-50 años hacen referencia a una “crisis del arrecife de coral”, ya que la capacidad adaptativa de los corales, animales y plantas asociados con éste a las condiciones ambientales cambiantes, ha sido excedida a nivel mundial.¹⁴⁵

La clave para prevenir una mayor degradación del océano y protegerlo para las generaciones futuras va a depender de nuestro conocimiento del mar y de nuestra capacidad para administrar nuestro impacto en él. Con el 40% de los arrecifes coralinos del planeta ahora en condiciones críticas o ya degradadas más allá de su recuperación y bajo severa amenaza, el bienestar de nuestro planeta depende de la forma en que actuemos. A pesar de haber aprendido tanto en el siglo pasado, sólo hemos explorado menos del 5% de los océanos del mundo. Es difícil imaginar las multitudes desconocidas que se ocultan en el reino marino. Hoy en día, los científicos marinos trabajan en colaboración con técnicos, economistas, especialistas en computación y expertos de muchos otros campos para comprender mejor el mar y la forma en que influye en todo, en todas partes, todos los días.

¹⁴³ Tim R. Mc Clanahan, *Coral Reefs of the Indian Ocean: their ecology and conservation*, Oxford University Press, New York, 2000, p. 18.

¹⁴⁴ Se estima que el costo de su destrucción tan sólo de un 1 km es de casi 1.2 millones dólares en pérdidas de bienes y servicios sobre un periodo de 25 años, aunque el costo real es incalculable. Datos del Banco Mundial. Dirección URL: [http:// www.worldbank.org/cambioclimatico](http://www.worldbank.org/cambioclimatico) [consulta: 20 de abril de 2009].

¹⁴⁵ Susan M. Wells, *Corals Reefs of the World. op. cit.* p. 83

2.3. El cambio climático como generador del emblequeamiento coralino.

Una de las consecuencias del cambio climático es el emblequeamiento coralino, una respuesta generalizada mostrada por los corales al estrés, habiendo evidencia de que los incrementos en la temperatura del mar son los principales responsables de este evento. Antes de 1930, el emblequeamiento coralino era un tema del que se hablaba a pequeña escala. Fue hasta la década de los 70 cuando varias regiones con arrecifes coralinos reportaron eventos de esta naturaleza.¹⁴⁶ Algunas regiones fueron el Caribe; la costa Atlántica de Sudamérica; el Pacífico norte, central, este y oeste; el noreste y sureste de Asia, así como el este y Oeste del Océano Indico.¹⁴⁷ Ya en los años 80 y 90, la masa de blanqueamiento coralino se convertiría en la principal preocupación para el campo de la ecología del coral. Ha habido mucha especulación sobre las causas de la extensión de este fenómeno, pero la más grande evidencia apunta a los cambios atmosféricos que resultan de las temperaturas elevadas, incluso si son pequeños incrementos.¹⁴⁸

BLANQUEAMIENTO CORALINO



¹⁴⁶ El blanqueamiento coralino fue reportado por primera vez en 1964 sobre la costa sur de Jamaica.

¹⁴⁷ Datos colectados de 3800 récords de blanqueamiento de casi 100 países en el reporte de blanqueamiento de la base de datos *ReefBase* [en línea], 23 de diciembre de 2002. Disponible en: <http://www.reefbase.org>. [consulta: 15 de marzo de 2009].

¹⁴⁸ La radiación ultravioleta, la baja salinidad después de inundaciones, y contaminantes químicos causan también eventos de este tipo. Repetidos blanqueamientos pueden contribuir a los comienzos de enfermedades coralinas.



Fuente: <http://www.invemar.org/redcostera1/invemar/images.jpg>
[consulta: 29 de febrero de 2011]

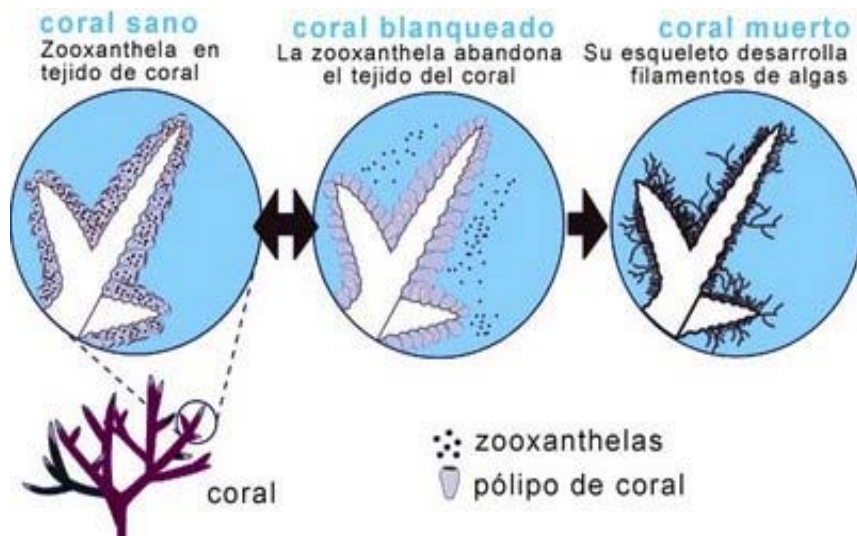
El blanqueamiento coralino se presenta si los límites de temperatura son excedidos por periodos extensos de tiempo, con impactos en su fisiología y esperanza de vida. La frecuencia e intensidad de este fenómeno ha estado expandiéndose rápidamente en las últimas dos décadas.¹⁴⁹ Este evento proporciona una clara señal de advertencia temprana a los futuros cambios climáticos y demás impactos generales sobre los arrecifes coralinos. Ocurre cuando las condiciones ambientales interrumpen la simbiosis entre el coral y la zooxantella. Bajo condiciones normales, el alga simbiótica o zooxantella vive en el tejido del coral para absorber energía del sol y usarla en su proceso de fotosíntesis.

Si el pólipo de coral es sujeto de una situación de estrés, el alga simbiótica o zooxantella será expulsada por el tejido coralino (sin ésta, los corales perderán su principal recurso de energía, y se encontrarán en un debilitado estado), y su delicado balance será destruido. Las millones de algas que constituyen el tejido coralino les brindan a los corales sus colores espléndidos, pero cuando son expulsadas, el coral se decolora. Como resultado de la pérdida del pigmento fotosintético, el esqueleto coralino adquiere cierta palidez; los tejidos se vuelven translúcidos, y pierden sus pigmentos

¹⁴⁹ Eugene Rosenberg, *Coral Health and Disease*, Ediciones Springer-Verlag, Berlín, 2004, p. 417.

clorofílicos. Este fenómeno es fatal, a menos que la relación simbiótica pueda reestablecerse rápidamente.¹⁵⁰

PROCESO DE BLANQUEAMIENTO EN LOS CORALES



Fuente: <http://www.serc.carleton.edu/eslabs/corals/6c.html>
[consulta: 08 de noviembre de 2010]

En los corales expuestos a niveles extremos de radiación solar y altas temperaturas, la zooxantela llega a ser tóxica, produciendo niveles tóxicos de oxígeno 4 a 8 veces más rápido que lo que el coral puede tomar. Cuando esto pasa, la zooxantela es expulsada por los corales, aún cuando esta acción pone sus vidas en riesgo. Estos efectos provocan declines en proteínas, lípidos y carbohidratos; bajo rendimiento reproductivo; necrosis (transformación de orden químico que experimenta la materia viva, y que la conduce a su muerte) en su tejido, entre otros.¹⁵¹

Ya sabemos que el blanqueamiento inhibe el crecimiento coralino. Sin embargo, el efecto es temporal si los estreses son removidos. Algunos tipos genéticos de zooxantela parecen ser más resistentes a los altos niveles de luz y/o temperatura (hasta 1-1.5°C) que otros (esto puede ocurrir en los meses de verano, cuando los promedios de temperatura exceden los promedios estacionales a 1°C). Muchos corales sobreviven a estos episodios, pero repetidos eventos de esta naturaleza pueden ser fatales, ya que si transcurren periodos extensos de altas temperaturas, con incrementos de hasta 3°C, los corales mueren. Un incremento de 1°C aumentaría la extensión del blanqueamiento

¹⁵⁰ Los corales que sobreviven a los eventos de blanqueamiento pueden recuperar a la zooxantela cuando las condiciones ambientales mejoran, aunque puede cambiar su composición genética.

¹⁵¹ Eugene Rosenberg, *op. cit.* p. 72.

50-82%; un incremento de 2°C aumentaría hasta 97%, y un incremento de 3°C causaría la mortalidad total (incluso los arrecifes más saludables no están exentos).¹⁵²

El efecto del agua anormalmente caliente depende del tiempo de exposición y la temperatura actual. Los corales en otras partes del mundo pueden adaptarse a temperaturas más altas de 31°C. Hay arrecifes en el sur del Mar Rojo y el Golfo Árabe/Pérsico donde las temperaturas superficiales pueden alcanzar hasta 36°C sin dañar a los corales, aunque se blanquean con un aumento de temperatura de tan sólo 1°C arriba de lo normal. Si se eleva el nivel del mar, se encontrarán a mayores profundidades, recibirán menos luz solar, y por ende, crecerán más lentamente (también producirán menor cantidad de CaCO₃, material que construye y mantiene los cimientos de las islas). Y a medida que aumenten las temperaturas, las tormentas y huracanes se tornarán con más frecuencia y las amenazas hacia estos ecosistemas marinos serán constantes.

Extensos y severos acontecimientos de blanqueamiento se suscitaron a principios de los años 80, incrementando en frecuencia e intensidad sobre áreas arrecifales de todo el mundo. El evento más intenso ocurrió en 1997-1998, que dio como resultado la muerte del 16% de todos los arrecifes tropicales a nivel mundial, luego de haberse presentado un catastrófico evento de emblanqueamiento y mortalidad a causa del aumento de la temperatura. A nivel regional, la zona más afectada fue el Océano Índico en donde se decoloró el 46% de los corales, y el Pacífico mexicano, que registró el 18% en la mortalidad de éstos. Aproximadamente, entre el 70 y 80% de los corales de aguas poco profundas en muchos arrecifes de estas regiones perecieron. Todos los corales a nivel mundial demostraron que las condiciones de ese año fueron relativamente extremas a los cambios que se habían suscitado en periodos anteriores. Pese a ello, dichos eventos no desencadenaron una mortalidad completa de alguna población coralina.¹⁵³

Las temperaturas registradas en 2005, generaron el blanqueamiento y pérdida masiva de muchos corales en el mundo. Reportes documentados del Centro Mundial de Pesca (WFC, por sus siglas en inglés), y la Red Internacional de Acción de los

¹⁵² Durante etapas tempranas, los corales parecen ser capaces de recuperarse en 6-8 semanas (si el calor de las aguas oceánicas es transitorio, el coral puede recuperarse lentamente). Sin embargo, si las condiciones de estrés persisten, o si el evento de estrés es más severo, entonces mueren. Jan Sapp, *What Is Natural?: Coral Reef Crisis*. Chapter 13: Coral Bleaching and Global Warming, Oxford University Press, New York, 1999, p. 190.

¹⁵³ PNUD-SEMARNAT, *op. cit.* p. 180

Arrecifes de Coral (ICRAN, por sus siglas en inglés) señalaron que el blanqueamiento coralino se ha convertido en un suceso endémico alrededor del mundo, es decir, una enfermedad que continúa expandiéndose con mayor frecuencia. Todo dependerá de la potencia y duración de las anomalías de la temperatura.¹⁵⁴ Hasta 18% de los arrecifes de coral del mundo podría perderse debido al cambio climático. El IPCC, ha advertido que si la situación no mejora, estas “selvas marinas” desaparecerán en 40 años. Según un estudio del PNUMA, casi la tercera parte de los corales ha desaparecido y se prevé que desaparecerá hasta el 60% para el año 2030. Estudios recientes de la Universidad del Norte de Carolina en E.U. analizan la situación de los arrecifes del Indo-Pacífico, – región que contiene el 75% de los corales de todo el planeta–, los cuales han sido degradados casi en su totalidad. Aseguran que desde 1997, en esa zona se pierden cerca de 3,168 Km² de arrecifes.¹⁵⁵ El Caribe, región que cuenta con más del 7% de los arrecifes de coral del planeta, también ha presentado severas pérdidas de arrecifes, a causa del cambio climático, la sobrepesca y el turismo, siendo los más afectados los arrecifes de Belice, Jamaica y Cuba, con significativos declines de coral y rápidas transiciones a comunidades dominadas por algas.

Los arrecifes coralinos tienen la capacidad de aclimatizarse en respuesta a la amplia gama de condiciones normalmente encontradas en su ambiente natural. Por ejemplo, los arrecifes de Hawai se ajustan enseguida a las temperaturas estacionales de los 21 hasta los 28°C sin dificultad. Sin embargo, en las exposiciones prolongadas a temperaturas más altas que exceden sus límites de tolerancia, la aclimatización no ocurre. Quizá, la única forma de salvarse es adaptarse a los cambios del próximo siglo, pareciendo que la adaptación es la única ruta de escape para los corales.

Los corales comienzan a estresarse cuando las temperaturas de la superficie del mar son 1°C más calientes que las temperaturas esperadas en la temporada más caliente del año (esta temperatura es llamada el umbral del blanqueamiento). Éstas pueden ser monitoreadas mediante el uso de satélites orbitales y/o indicadores especializados, o bien, mediante la toma de muestras directas, que son capaces de mantener un continuo monitoreo sobre el estado de los océanos alrededor del globo

¹⁵⁴ *Idem.*

¹⁵⁵ *Idem.*

terráqueo (los datos de estos satélites son vitales para predecir el blanqueamiento del coral), además de detectar la presencia de algún otro fenómeno inusitado.

Las especies coralinas, y por ende sus comunidades tienen diferentes tolerancias térmicas, las cuales varían por latitud, especies y otros factores físicos. El estrés de calor sobre los corales se acumulará si las altas temperaturas permanecen arriba del umbral de blanqueamiento en un periodo extenso de tiempo. Además de medir este umbral, los científicos también utilizan un método conocido como las “Semanas de Grados de Calor” (DHWs, por sus siglas en inglés). Estas Semanas, que en conjunto miden el estrés térmico generado en determinada área sobre las 12 semanas previas al evento, fueron desarrolladas como un indicador. Un DHW es igual a una semana con una temperatura de 1°C por encima de la temperatura del verano máximo durante las previas 12 semanas. La Administración Atmosférica y Oceánica Nacional de E.U. (NOAA, por sus siglas en inglés), proporciona un sistema de advertencia temprana para esto. El análisis de las series de medición muestra que 8 DHW conducen al blanqueamiento del coral en el 99% de todos los casos. Este fenómeno puede ser predecido hoy en día sobre el 90% de probabilidades, varias semanas antes de que los eventos ocurran.¹⁵⁶

Una duplicación de CO₂ dejará “Semanas de Grados de Calor” en más regiones tropicales que no se han recuperado completamente de los eventos acontecidos en 1997-1998, que causaron eventos de mortalidad en la isla de Palau al sureste de Filipinas, la isla de Okinawa en Japón, Seychelles y el arrecife Scott, ubicado al noroeste de Australia. Los arrecifes que se blanquean pueden recuperarse, aunque los que experimentan 0.5 grados de calor durante los meses del verano experimentarán masas de blanqueamiento con fuertes efectos letales en su crecimiento y reproducción. Los arrecifes que están expuestos a 3.2 DHW al año o más, experimentarán una mortalidad casi completa de sus poblaciones coralinas (los modelos de cálculo basados en los escenarios del IPCC indican que, entre los años 2030 y 2050, eventos similares al año anómalo de 1998 podrían ocurrir anualmente, lo que significaría el fin de los ecosistemas de coral).¹⁵⁷

¹⁵⁶ R. Schubert, *op. cit.* p. 19.

¹⁵⁷ Eugene Rosenberg, *op. cit.* p. 474.

De acuerdo con sus investigaciones, en 30 a 50 años, el blanqueamiento del coral ocurrirá en la gran mayoría de todos los arrecifes de coral si éstos no se adaptan a una tolerancia de temperatura de 0.2 a 1°C por década, datos que también coinciden con el Programa de Monitoreo del arrecife de coral del NOAA. La Red de Monitoreo Global del Arrecife Coralino (GCRMN, por sus siglas en inglés), cuya tarea es evaluar su status en todo el mundo, muestra signos rápidos de recuperación desde la última severa masa de blanqueamiento del 97-98 en los arrecifes del Este y Sureste de Asia y Palau, y también en algunas áreas de la Gran Barrera Arrecifal Australiana (GBA), aunque tardarán varias décadas antes de que éstos puedan recuperarse.¹⁵⁸

En Seychelles se encontró que la estructura total de las comunidades de peces ha cambiado muy poco, a pesar de las disminuciones masivas de corales en 1997-98. Estas especies son directamente dependientes de la presencia del coral para su existencia, y desaparecen rápidamente si el coral es removido. Dado que los GEI como el CO₂ permanecen por mucho tiempo en la atmósfera, muchos de los impactos del cambio climático en los arrecifes son inevitables. La pregunta es cómo los corales están respondiendo a este incremento de temperatura. Algunas posibles respuestas, es que todo depende de la especie de coral, de la profundidad del agua y la localización de éstos. Por ejemplo, la adaptación evolutiva de los corales es una opción viable para que puedan sobrevivir ante las adversidades. Después de que el blanqueamiento coralino ocurra, grupos de algas simbióticas tolerantes al calor podrían ser ocupadas por el tejido del coral, y ofrecerle una protección de mejora contra futuros apogeos de temperatura. Sin embargo, se expresa la preocupación de que su adaptación evolutiva y las algas simbióticas no puedan adaptarse genéticamente y mantengan el mismo paso con los rápidos cambios ambientales.

Lamentablemente, estas maravillas del mundo submarino están experimentando un dramático deterioro en todo el mundo. Ya no sólo persiste la idea de que el ser humano está incidiendo en las alteraciones climáticas; también está afectando un megadiverso ecosistema, que constituye un valor esencial para muchos países costeros e islas insulares. A nivel mundial, estos efectos han producido el emblanqueamiento en muchos de los arrecifes coralinos existentes. Se prevé, que en sólo 30 años, el cambio climático habrá afectado seriamente su distribución y

¹⁵⁸ *Idem.*

composición, un fenómeno que resulta desfavorable para la salud de nuestros mares y el Planeta entero.

2.3.1. El evento de “El Niño” y la enfermedad coralina.

El evento de “El Niño”, históricamente referido al calentamiento de las aguas superficiales, es reconocido como un componente del fenómeno climático global “La Oscilación de el Niño del Sur” (ENSO, por sus siglas en inglés).¹⁵⁹ ENSO es un fenómeno climático que ocurre como resultado de las interacciones entre los océanos y la atmósfera a lo largo de los trópicos, refiriéndose a los ciclos anuales en los sistemas de viento que manejan las corrientes oceánicas que afectan el transporte de agua caliente o fría a lo largo de la superficie del océanos y cuyos impactos pueden extenderse a dimensiones con consecuencias devastadoras.¹⁶⁰

Desde que existen los océanos, ha habido una interacción entre el clima y el mar. La temperatura de la superficie del mar y los procesos evaporativos generan algunas tempestades como huracanes¹⁶¹ y monzones (lluvias torrenciales) e influyen en los patrones mundiales del tiempo, a través del fenómeno conocido como el Niño. Durante los eventos de “El Niño”, las aguas superficiales calientes fueron desplazadas de un lado a otro, generando “puntos calientes” en los océanos. El evento “El Niño” de 1972-73 fue el primer catalizador que permitió realizar los primeros estudios de su impacto sobre el medio ambiente. En 1982 y 1983, y nuevamente en 1997-98, los fuertes efectos de este evento azotaron y provocaron estragos en todo el mundo. En muchas áreas del mundo, las poblaciones sufrieron la intensidad de sequías e inundaciones debido a este fenómeno. Partes de Indonesia, Asia, Australia y África se vieron afectadas por un calor extremo y una grave sequía. Incendios incontrolables consumieron extensas áreas forestales de Florida, Indonesia y Australia Meridional. Comunidades enteras de la costa oeste de E.U. y Perú se vieron afectadas por lluvias

¹⁵⁹ ENSO tiene dos fases principales. La primera fue el fenómeno de “El Niño”, cuando el Pacífico oriental fue el más caliente (1997-1998), y el segundo conformado por el fenómeno “La Niña”, cuando el Pacífico oriental fue más frío que lo normal (1999-2000).

¹⁶⁰ John Edward Veron, *A reef in time: The Great Barrier Reef. From beginning to end*, Harvard University Press, Cambridge, 2008, p. 65.

¹⁶¹ Son las tormentas más poderosas y destructivas de la Tierra. Existe la preocupación de que el calentamiento global pueda aumentar la cantidad e intensidad de éstos.

torrenciales e inundaciones.¹⁶²

En el Pacífico, las islas de Hawai y Tahití (isla más grande de la Polinesia Francesa) se vieron azotadas por poderosos tifones, mientras que los huracanes devastaron las costas mexicanas del Pacífico. Por su parte, el clima caliente, la lluvia y el crecimiento exuberante de la vegetación provocaron la multiplicación excesiva de la población de insectos y roedores, aumentando la incidencia de enfermedades transmitidas por éstos y/o el agua como la tifoidea, el cólera, la malaria y la fiebre amarilla. Regiones de las islas Galápagos, ubicadas a 1000 kms. de Ecuador, las costas del Perú y el sur de California recibieron aguas mucho más cálidas que lo acostumbrado (durante El Niño de 1982-83, el calentamiento del océano acabó con 95 a 98% de los corales de las aguas de la primera).¹⁶³

Los eventos de este fenómeno dejaron una alta mortalidad y desplazamiento de peces costeros. Las poblaciones de mamíferos marinos y aves marinas sufrieron pérdidas o cambios en la disponibilidad de sus presas con altas mortalidades entre los más jóvenes, además de fracasos reproductivos y abandono de nidos o crías. Se estima que las temperaturas calientes del agua de mar y una mayor incidencia de enfermedades marinas también influyeron en la muerte de numerosos delfines, ballenas y manatíes arrastrados por el mar a las playas en 1997.¹⁶⁴

ENSO es un sistema climático atmosférico-oceánico de gran importancia para los corales del Pacífico, incluyendo la GBA. Un evento más fuerte de “El Niño” que calentó las aguas del primero en 1982-83 durante un periodo de diez meses, generó un principal interés global sobre este fenómeno. Fue notado por primera vez en el Caribe, pero atrajo particular atención después de 1982-83 cuando éste se extendió a sitios del Indo-Pacífico. Durante este evento, reportes severos de blanqueamiento coralino ocurrieron al este de esa región, mientras varios grados de blanqueamiento fueron reportados en algunas áreas del Caribe y la GBA al mismo tiempo.¹⁶⁵ Sus efectos en los arrecifes coralinos por periodos prolongados fueron devastadores, y los eventos de blanqueamiento afectaron a los corales de Panamá y Costa Rica. Como resultado de las elevadas temperaturas, entre el 70 y 90% de los corales de éstos perecieron.

¹⁶² Peter Attiwill, *Ecology: An Australian perspective*, Chapter 7: El Niño: ENSO and Decadal –Multidecadal Climatic Variability–, Oxford, University Press, Second Edition, National Library of Australia, 2006, p. 98.

¹⁶³ *Idem.*

¹⁶⁴ *Idem.*

¹⁶⁵ Tim McClanahan, *op. cit.* p. 73.

Similares masas de mortalidad fueron observadas en Colombia y Ecuador. Otro evento de ENSO en 1987 provocó eventos de blanqueamiento a lo largo del Mar Rojo y el Caribe. En 1989, extensos eventos que dejaron grandes mortalidades coralinas fueron reportados en Tailandia y la Polinesia Francesa. Durante el periodo de 1997-98, este fenómeno devastó la región del Océano Índico. Las altas temperaturas ocurrieron en 13 diferentes países de esta región, seguido por el Caribe en el verano de ese mismo año. Los arrecifes del Océano Índico experimentaron pérdidas estimadas de hasta un 46% en algunas áreas. Significativos eventos ocurrieron en el Golfo de Arabia central, y al sur y centro del Mar Rojo. El blanqueamiento también ocurrió en las Maldivas a mediados de 1997, y de nuevo en 1998, incluyendo Seychelles, Comoros y África del este.¹⁶⁶

Datos afirman que el 90% del total de los arrecifes de las Islas Seychelles fueron destruidos en su totalidad en enero de 1999, y más de 430 casos a causa de este fenómeno fueron documentados en ciudades como Filipinas, Indonesia, Malasia, Japón, Kenya, Madagascar, Tanzania, Sri Lanka, Ecuador, la costa de Florida, entre otros. En el Pacífico este, estos eventos comenzaron con las temperaturas más fuertes en abril a junio de 1997, persistiendo hasta junio de 1998. Dicho episodio trajo graves pérdidas económicas, con una estimación de 34 mil millones de dólares.¹⁶⁷ En los arrecifes coralinos del mundo entero ya iniciaron las extinciones provocadas por el cambio climático, y buen ejemplo de ello es el caso de un diminuto pez conocido como *Gobiodon* que habita en estos ecosistemas. La gran mayoría del hábitat de esta especie fue destruido por la decoloración del coral y los impactos adyacentes de “El Niño” de 1998. Ahora sólo puede verse en una extensión de coral de una laguna de Papúa Nueva Guinea.

Por medio de una serie de acciones de monitoreo en el Pacífico ecuatorial, imágenes satelitales y modelos computacionales, los científicos lograron predecir con precisión la irrupción de El Niño y empezaron a predecir sus efectos. Existen evidencias de que El Niño ha venido ocurriendo desde hace cientos, miles y quizá hasta millones de años, pero 1997 fue la primera vez en que lograron verlo llegar. Ese mismo año, los científicos lograron pronosticar la llegada de ENSO con seis meses de anticipación.

¹⁶⁶ *Idem.*

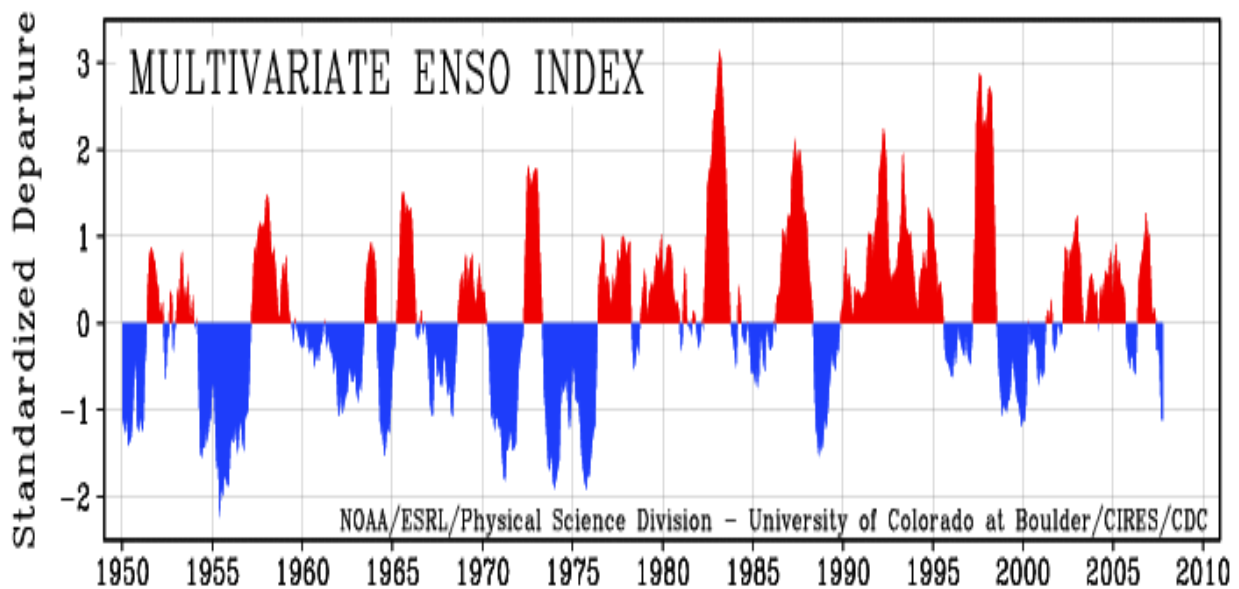
¹⁶⁷ Tim Flannery, Segunda Parte. 2050: *¿El Gran Arrecife Mermado?* op. cit. p. 108.

Estas fluctuaciones ocurren cada 3-7 años, y cada evento implica un deterioro de 12-18 meses, aunque pueden presentarse antes o después.

Cuando las aguas se volvían sumamente frías, a eso le llamaron “La Niña”, un fenómeno menos comprendido que El Niño, pero igualmente devastador. La Niña es en esencia lo opuesto de El Niño y se caracteriza por aguas extraordinariamente frías en todo el Pacífico ecuatorial con vientos y pluviosidades ¹⁶⁸ más fuertes de lo normal. Terminando El Niño de 1997-98, las temperaturas de la superficie del océano Pacífico empezaron a descender y siguieron descendiendo hasta enero de 1999-2000. Entonces, los efectos de “La Niña” empezaron a afectar el clima del mundo, con situaciones arrasadoras en la Península Ibérica y en el sur-oeste de E.U. ¹⁶⁹

ÍNDICE DE OSCILACIÓN DE ENSO.

Color rojo: Fenómeno “El Niño”/ Color azul: Fenómeno “La Niña”



Fuente: <http://www.americanthinker.com/multivariate%20ENSO%20index.gif>
[consulta: 09 de marzo de 2011]

Los arrecifes coralinos están experimentando síntomas de estrés, debido a la combinación de factores naturales y antropogénicos perjudiciales. Desde hace ya 30 años, han presentado algún tipo de enfermedad, principalmente entre los corales jóvenes, a diferencia de los ya existentes desde hace cuatro siglos, debido a su baja capacidad de resistencia (al parecer aumentan por los estreses antropogénicos y

¹⁶⁸ Cantidad de lluvia caída en un lugar determinado durante un tiempo dado.

¹⁶⁹ Ellen J. Prager, *op. cit.* p. 150.

ambientales, que en combinación con múltiples factores podrían alcanzar proporciones epidémicas).¹⁷⁰

Las enfermedades coralinas modifican la estructura y función de sus comunidades. Desde su primer reporte en 1973, su descubrimiento ha incrementado dramáticamente con más de 29 casos reportados en el Caribe e Indo-Pacífico.¹⁷¹ Se cree que este incremento se debe al deterioro de la calidad del agua asociado con los contaminantes generados por los seres humanos y el aumento de la temperatura del mar.¹⁷² Aunque este aumento intensifica las enfermedades, el calentamiento favorece la extensión de la infección, que al padecerla, los corales sufren daño celular y no logran asimilar el alimento (estos agentes permiten la proliferación y colonización de microbios que atacan directamente a las zooxantelas).¹⁷³

Una de las bacterias causantes de estas enfermedades es conocida como *Vibrio*, que al igual que en los corales, ha causado infecciones en cangrejos, camarones y langostinos. Incluso, se le ha relacionado con la bacteria *Vibro Cholerae*, el agente patógeno que causa epidemias de cólera, aunque los investigadores no suponen peligro alguno para los seres humanos.¹⁷⁴ Las causas exactas aún se desconocen a profundidad, ya que mientras las patologías o mecanismos por los cuales muchas enfermedades actúan sobre el pólipo coralino no son bien conocidas, los efectos que éstas tienen han sido bien documentados.

Cuatro enfermedades de banda son actualmente reconocidas. La enfermedad de la banda negra, la banda blanca, la banda roja, así como la enfermedad de la banda amarilla, aparecen como franjas descoloridas, manchas o lesiones que se extienden rápidamente sobre, o alrededor de la superficie del coral, hasta consumir todo su tejido vivo.¹⁷⁵ La primera es contagiosa, y se transmite a colonias no infectadas. Sin embargo, no es altamente infecciosa. Ha sido reportada en el Mar Rojo, Mauritania, y al norte del

¹⁷⁰ En los últimos 10 años, su frecuencia ha incrementado significativamente, causando la mortalidad general entre todo tipo de corales.

¹⁷¹ Lilian Bird y José Molinelli, *Los arrecifes de coral*, [en línea, pdf], Derechos Reservados 2002, Dirección URL: www.alianzageografica.org/leccioncoral.pdf (consulta: 5 de marzo de 2009).

¹⁷² Las enfermedades coralinas ocurren generalmente en respuesta a los estreses biológicos (bacterias y virus), y los estreses no biológicos (aumento de las temperaturas, la radiación ultravioleta y los contaminantes).

¹⁷³ Las temperaturas cálidas las vuelven aún más virulentas, y si los corales ya están infectados, son letales.

¹⁷⁴ S/a. *Bacterias propiciadas por el calentamiento global amenazan a los arrecifes de coral* [en línea], Dirección URL://<http://www.europapress.es/ciencia>. [consulta: 09 de agosto de 2010].

¹⁷⁵ Son enfermedades provocadas por la asociación de microorganismos y bacterias que producen su muerte por falta de oxígeno. La banda café es un nuevo síntoma que está infectando a los corales del norte y sur de la GBA. Tim McClanahan, *op. cit.* p. 277.

Golfo de Arabia. Fue observada por primera vez en 1994 en los arrecifes de la GBA, principalmente en gorgonias. La segunda, es conocida como “la Muerte Blanca” o “Plaga”, la cual no es contagiosa. Fue reportada por primera vez en el Mar Rojo. Además se ha encontrado en Mauritania, el Golfo de Omán, y algunas partes del norte y sur del Golfo de Arabia. La tercera es una enfermedad recientemente descubierta, por lo que se desconoce si es contagiosa (a la fecha, sólo se han reportado casos en las Bahamas). La cuarta y última fue reportada por vez primera en 1994 en los corales de los Cayos de Florida,¹⁷⁶ revelando una degeneración en el tejido del coral en forma de franjas o anillos de color amarillo pálido. Ya para 1996, se presentaba en algunos corales de Panamá y el Caribe, y recientemente en Indonesia, Tailandia, Filipinas, las Islas Vírgenes (al este de Puerto Rico) y el Golfo de Omán.¹⁷⁷

Estos tipos de coral están siendo atacados por la enfermedad de la banda negra y la enfermedad de la banda amarilla respectivamente.



Fuente: <http://www.serc.carleton.edu/eslabs/corals/6c.html>
[consulta: 16 de enero de 2011]

Otras enfermedades presentadas en los corales son la plaga blanca, manchas oscuras, viruela blanca, neoplasia o tumor¹⁷⁸ e hiperplasia (chichones irregulares o exagerados por encima de la superficie de las colonias coralinas), que al igual que las primeras afectan sus tejidos, sin posibilidad de recuperarse. La reunión internacional más importante sobre dicho tema, tuvo lugar en Eliat, Israel en 2003, la cual evaluó el

¹⁷⁶ En los últimos años, han padecido episodios frecuentes de enfermedades y blanqueado. *Idem*.

¹⁷⁷ *Ibidem*, p. 278.

¹⁷⁸ Los tumores coralinos están afectando a las poblaciones de la GBA en un 18%-23%.

status de la salud y enfermedad coralina, señalando que se estaba extendiendo a más comunidades arrecifales de todo el mundo, aunque ésta no llegó más allá del debate.¹⁷⁹ Ésta y otras medidas deben ser implementadas por los gobiernos involucrados si queremos alcanzar objetivos claros, y no sólo quedarse en el discurso.

2.3.2. Acidificación de los océanos y la descalcificación del coral.

En los albores del siglo XXI, el dióxido de carbono aumentó sus concentraciones en los océanos más rápidamente que en algún otro lapso de tiempo, estimando que para el año 2100, todos los océanos presentarán las mismas cantidades de CO₂, si las emisiones de GEI continúan aumentando (antes de que acabe el siglo, los océanos absorberán un 10% menos de este gas que en la actualidad). Hoy en día, se calcula que un tercio de las emisiones de GEI son absorbidas por los océanos, desempeñando un papel muy importante en la mitigación del cambio climático.¹⁸⁰ Cuando este gas se disuelve en el agua de mar, se forma ácido carbónico, un compuesto que disminuye el pH¹⁸¹ del agua y causa significativas alteraciones en el medio marino. Su disolución en las aguas oceánicas conduce a una acidificación considerable, y por ende, a cambios en el balance químico de los océanos.¹⁸²

Cuando comienza la Revolución Industrial en 1750, la acidez en los océanos aumentó en un 30%, suponiendo que todo se debía a la gran cantidad de emisiones provocadas por las actividades humanas (cuanto más ácido es el océano, menos CO₂ puede absorber). La acidificación es otra de las amenazas evidentes para infinidad de organismos marinos que usan carbonato cálcico (CaCO₃) para construir sus caparazones o esqueletos.¹⁸³ Aunque los océanos solo han alcanzado un tercio de su

¹⁷⁹ Eugene Rosenberg, *op. cit.* p. 488.

¹⁸⁰ Anualmente absorben 8 mil millones de toneladas de CO₂. Los bosques y selvas también absorben este gas, sólo que en menor proporción. *UNESCO advierte aumento en acidificación de los océanos*, [en línea], Centro de noticias ONU, octubre de 2008, Dirección URL: <http://www.un.org/spanish/news/fullstorynews.asp> [consulta: 4 de noviembre de 2008].

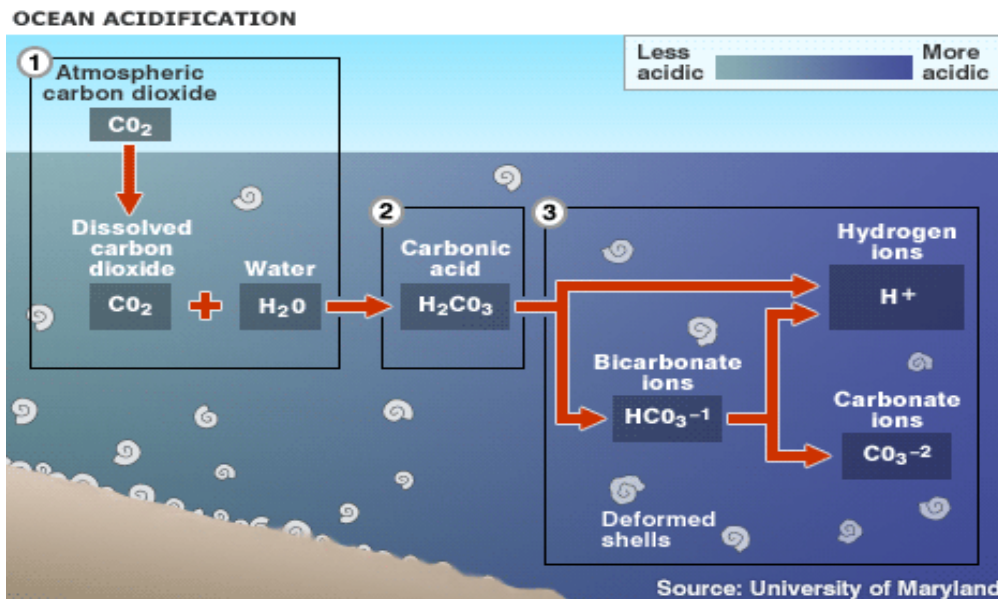
¹⁸¹ Su nivel de acidez depende de las condiciones meteorológicas y el oleaje, señalando que el pH del agua puede recuperarse y volver a su temperatura normal. S/a, “Aumenta peligrosamente la acidificación de los océanos”, [en línea], México, *La Jornada.unam.mx*. Sección ciencias, 23 de mayo de 2008, Dirección URL: <http://www.jornada.unam.mx/2008/05/23/index.php> [consulta: 5 de noviembre de 2008].

¹⁸² El pH del mar se encuentra en un rango de 7.9-8.3, pero en los últimos 300 años se ha reducido en 0,1 unidades y puede que se reduzca hasta en 0,5 unidades. *Idem*.

¹⁸³ La acidificación debilita la estructura de todos los organismos que cuentan con un esqueleto calcáreo. En el caso de los corales, disminuye la cantidad de iones de carbonato disponibles para la formación del arrecife. S/a. *La acidificación de los océanos pone en peligro la vida de varias especies*, [en línea], Revista Consumer, Dirección URL: http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/2005/10/03. [consulta: 12 de octubre de 2008].

capacidad para absorber los excesos de CO₂ que los seres humanos han emitido, el nivel de aumento del carbono en el agua de los océanos, y por lo tanto la acidez, ha provocado que el caparazón protector de las especies se debilite en gran medida, ya que cuando este gas es disuelto en el mar, el ácido carbónico que entra, resulta corrosivo para el CaCO₃ de los corales.¹⁸⁴

EL PROCESO DE ACIDIFICACIÓN EN LOS OCEÁNOS



Fuente: <http://www.greatbeltresearchcruise.com/generalidades/>
[consulta: 12 de febrero de 2010]

En el año 2005, se incrementaron los niveles de CO₂ en los océanos, lo que provocó que el cambio de acidez fuera el suficiente como para disolver sus estructuras de carbonato cálcico y las de otros animales marinos como las ostras, cangrejos, langostas, y caracoles marinos¹⁸⁵ que también cuentan con un caparazón de similar apariencia (esta reacción impide fabricar su armazón, y por ende secretar el calcio necesario). La calcificación¹⁸⁶ es el proceso fisiológico más importante, ya que permite que los organismos marinos puedan acumular calcio en sus tejidos y por lo tanto tener

¹⁸⁴ Este proceso conlleva a la formación de colonias coralinas con bajo peso, y por ende, que los corales crezcan lentamente, haciéndolos más frágiles y vulnerables a la erosión.

¹⁸⁵ Se prevé que para el año 2030, el salmón y el bacalao cuya principal fuente de alimento es el caracol de mar escasearán, y por consiguiente la industria salmonera se irá a la quiebra.

¹⁸⁶ Proceso mediante el cual se generan depósitos de calcio en los tejidos.

un almacén más resistente contra cualquier alteración producida por el ser humano o por la misma naturaleza.¹⁸⁷

Si el CO₂ atmosférico se duplica, la calcificación se reducirá hasta en un 50%, hablando incluso de una “osteoporosis coralina”.¹⁸⁸ Además, el CO₂ debilita la calcificación y obstaculiza la propagación de los arrecifes de coral a regiones marinas más frías. Esto significa que el cambio climático actúa cada vez más rápido, poniendo en peligro la su subsistencia y la de las especies marinas. En experimentos de laboratorio simulando el doble de sus concentraciones en la atmósfera, el índice de concentración para los corales disminuye del 11 al 37%. De acuerdo con estas investigaciones, la calcificación hoy en día ha descendido de un 6 a 11% comparado con los índices preindustriales.¹⁸⁹

La comunidad internacional está preocupada por este fenómeno. Es un proceso que se está acelerando a un ritmo frecuente, por lo que en octubre del año 2008, se realizó el 2º Simposio en Mónaco sobre la acidificación de los océanos¹⁹⁰ organizado por la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) perteneciente a la Organización de Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y Cultura (UNESCO), el Comité Científico de Investigaciones Oceánicas (SCOR), el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), y el Programa Internacional sobre la Geosfera y la Biosfera, para debatir este problema tan serio que está afectando a miles de especies y ecosistemas marinos que están o pueden estar en peligro de extinción.¹⁹¹

Fue un foro internacional que, con la participación de algunos países, principalmente europeos,¹⁹² analizaron dicho problema, para de esta forma definir las prioridades presentes y futuras. De este simposio derivó una mayor conciencia acerca

¹⁸⁷ S/a, The Ocean Acidification Network an information network for the international scientific community. *How will ecosystems be affected?* [en línea], UNESCO, Dirección URL: <http://www.ocean-acidification.net> [consulta: 26 de abril de 2009].

¹⁸⁸ Al igual que en los arrecifes de coral, en los seres humanos sucede lo mismo. Si la osteoporosis se presenta en los huesos, los hace más frágiles.

¹⁸⁹ S/a. *¿Un futuro para los arrecifes de coral del mundo?* [en línea], Dirección URL: <http://www.projectsyndicate.org/commentary/connolly1/Spanish>. [consulta: 2 de mayo de 2009].

¹⁹⁰ En mayo de 2004, se llevó a cabo la 1ª Conferencia relativa a este tema. A partir de ese momento, países como E.U. y algunos europeos, acuñaron esta expresión.

¹⁹¹ UNESCOPRENSA, “Destacados científicos del mundo entero piden que se actúe inmediatamente para acabar con la acidificación de los océanos”, [en línea], 30 de enero de 2009, Dirección URL: <http://www.portal.unesco.org/noticias> [consulta: 2 de noviembre de 2009].

¹⁹² A este foro asistieron alrededor de 150 especialistas en ciencias del mar procedentes de 26 países, entre los que destacan Francia, Alemania, Países Bajos, Noruega, Suecia, Suiza, España, Mónaco, Islandia, E.U., Canadá, Bermudas, Australia y Japón.

del grave problema al que la humanidad se está enfrentando, enfatizando que la única salida para que este fenómeno disminuya es reducir las emisiones de CO₂. Por ende, los miembros participantes solicitaron a todos los gobiernos a nivel mundial, implementar las políticas necesarias para frenar este problema, a través de acciones y medidas viables e inmediatas.

La UE también está trabajando en otros proyectos que ayuden a combatir la acidificación de los océanos y sus consecuencias. Uno de éstos lo constituye el Proyecto Europeo sobre la Acidificación de los Océanos (EPOCA), una iniciativa que tuvo lugar durante una reunión de expertos en la materia en Niza, Francia, en junio de 2008, que aglutinó a cientos de científicos de 29 organizaciones procedentes de nueve países europeos para analizar sus efectos e implicaciones en los océanos.¹⁹³ Cabe destacar que este Proyecto pretende reunir a países no pertenecientes a la UE, con el fin de difundir una mayor participación a nivel internacional y colaborar en mayor medida para frenar dicho fenómeno que está acelerando el cambio climático.¹⁹⁴

Nuestros océanos están enfermos. No sabemos hasta qué punto lo están, pero lo que sí poseemos son los suficientes datos que muestran que la química de las aguas oceánicas se está modificando y que acabará afectando a diversos organismos marinos. En el mundo moderno se cree que nuestros mares proporcionan recursos ilimitados. Al igual que en éstos, las actividades humanas son la principal amenaza a los ecosistemas coralinos, teniendo en cuenta que en muchas regiones ya están significativamente debilitados por factores como la contaminación, sobrepesca, desarrollo costero, y demás alteraciones que están marcando su fin. Todo dependerá de nuestras acciones y del modo en que actuemos ahora, y en un futuro.

2.4. Otros agentes de degradación en los arrecifes de coral.

A lo largo de la historia, los arrecifes coralinos han sido blancos de explotación por los seres humanos. Un gran número de factores están alterando el medio marino y perturbando su salud a nivel local, regional y global. Además, la demanda por éstos y

¹⁹³ Algunas organizaciones europeas que apoyan el Proyecto EPOCA están conformadas por la Red Europea para el Análisis de Ecosistemas Oceánicos (EUR-OCEANS), Biodiversidad Marina y Funcionamiento de Ecosistemas (MARBEF), Mares Europeos del Sur (SESAME IP), entre otros. S/a, *European Project on Ocean Acidification* [en línea], julio de 2008, Dirección URL: [http://www.ocean-acidification.eu-European Project on Ocean Acidification \(EPOCA\)](http://www.ocean-acidification.eu-European Project on Ocean Acidification (EPOCA)) [consulta: 28 de abril de 2008].

¹⁹⁴ Ya la COI se unió a este proyecto para trabajar arduamente fuera de la UE con investigadores científicos de todos los países del mundo.

sus recursos está aumentando cada año, debido al crecimiento mundial de la población. De acuerdo con un artículo de la revista Science, el 60% de los arrecifes de todo el mundo han mostrado signos de degradación inducida por los seres humanos, y cerca del 30% de todas las especies marinas a nivel mundial que los habitan se encuentran en peligro de extinción.¹⁹⁵

El Equipo de Tarea Global patrocinado por el PNUMA, la COI, y la Asociación Ambiental de Instituciones del Pacífico Sur, junto con la OMM, y la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés) advirtieron que, “la condición de muchos arrecifes coralinos del mundo ha alcanzado un punto crítico”, y “que el cambio climático impone directamente nuevos estreses sobre éstos, interactuando directamente con otras presiones humanas que causan un acelerado daño ambiental”.¹⁹⁶ Aunque organizaciones ambientales y líderes de gobiernos están preocupados por esta grave situación, muchos críticos afirman que el calentamiento global sólo es publicidad exagerada, argumentando que “el Apocalipsis vende”. Ellos temen que el “efecto de gas invernadero” empuje a los gobiernos a invadir la libertad individual, para después crear un nuevo tipo de “control social”. Muchos otros rechazan la validez de alguna evidencia del calentamiento global, indicando la falta de fiabilidad en los récords de temperatura del pasado siglo, así como en las incertidumbres implicadas en predicciones climáticas, basadas en modelos matemáticos y simulaciones computarizadas.¹⁹⁷

Las amenazas a los arrecifes de coral son similares alrededor del mundo. Son encontrados en cerca de 100 países, principalmente en las regiones tropicales en desarrollo. A pesar de su vulnerabilidad, han sido utilizados por cientos y miles de años como el principal recurso alimenticio. La masa de mortandad de este hábitat marino ha sido reportada desde 1870, aunque este índice ha incrementado en años recientes. A pesar de ser considerados los ecosistemas más diversos del planeta junto a las selvas tropicales, han experimentado un grave deterioro en todo el mundo, debido al efecto combinado de los disturbios naturales e impactos antropogénicos. En el caso de los primeros, existe un problema natural conocido como bioerosión, uno de los factores que destruyen y afectan la su formación, a causa de que innumerables organismos, entre

¹⁹⁵ Sergio González Ferrer, *op. cit.* p. 231.

¹⁹⁶ Jan Sapp, *op. cit.* p. 194.

¹⁹⁷ *Idem.*

los que destacan los poliquetos,¹⁹⁸ desgastan y penetran el esqueleto calcáreo de los corales, trayendo como consecuencia el debilitamiento y desprendimiento de éstos.

Los huracanes/ciclones y las tormentas son dos de los disturbios naturales más violentos que actúan en las áreas de coral. Una sola tormenta raramente mata una colonia entera; los corales sobrevivientes crecerán lentamente, y debido al grave daño, probablemente serán cubiertos por algas. Estos fenómenos meteorológicos generan olas de gran fuerza que rompen los corales y desprenden bloques de roca coralina (pueden devastar en pocas horas grandes franjas arrecifales que tardarán varios años en recuperarse). En términos de susceptibilidad, los daños a los corales ramificados en regiones del Caribe y el Indo-Pacífico por tormentas sufren los peores daños, seguidos de los corales cuernos de alce, cuernos de ciervo y los corales dedo. Sin embargo, una parte de las tormentas tropicales puede resultar favorable para el desarrollo y revitalización de las estructuras coralinas, ya que promueven la eliminación de las partes débiles o envejecidas de éstas, favoreciendo la liberación de gametos, además de que desprenden grandes cantidades de algas y otros organismos fijos al suelo, que muchas veces obstaculizan su crecimiento.¹⁹⁹

Los arrecifes también son amenazados por la emersión²⁰⁰ de las mareas. Los corales que crecen en aguas poco profundas son más vulnerables a los peligros ambientales. Largos periodos de mareas bajas dejan al coral expuesto a la intemperie. La cantidad de peligro depende del lapso de tiempo y las condiciones climáticas. Los corales expuestos durante las horas de la luz del día son sujeto de más radiación ultravioleta (UV) que puede secar los tejidos del coral; en ese momento expulsa a la zooxantela, y en la mayoría de los casos, el coral muere. No obstante, éstos y otros organismos marinos poseen pigmentos protectores que actúan como filtros para protegerlos de los peligros de la radiación UV. La inhibición de la fotosíntesis, el blanqueamiento de los pigmentos, la mortalidad de células, así como cambios en su respiración, son sólo algunos de sus síntomas directos. Como resultado del daño en la capa de ozono y por ende, el incremento de esta radiación a causa del uso de CFS, los

¹⁹⁸ Relativo a una clase de gusanos marinos anillados, formados por una serie de segmentos sin patas, parecidos a la misma estructura que una lombriz. *Diccionario Enciclopédico Larousse, op. cit.* p. 806.

¹⁹⁹ Sergio González Ferrer, *op. cit.* p. 259.

²⁰⁰ Movimiento de un cuerpo que sale de un fluido en el que estaba sumergido.

corales están presentando un tipo de oxidación, reacción que inhibe su calcificación, y deteriora a la población de larvas en los periodos de desove.²⁰¹

Son también vulnerables a ataques por depredadores como estrellas de mar corona de espinas,²⁰² peces loro y erizos de mar, que producen efectos devastadores sobre éstos. La primera,²⁰³ se arrastra lentamente sobre los corales para consumir todo su tejido vivo. Es una larga estrella marina con 7-23 brazos (a diferencia de las estrellas de mar comunes que tienen 5 brazos simétricos), que les permiten desplazarse ágilmente a otras áreas arrecifales para seguir devorando corales, así como espinas afiladas que pueden alcanzar los 45 cms. de longitud (pueden alcanzar hasta los 80 cms. de diámetro y comer lo equivalente en coral duro cada día).²⁰⁴ Después de alimentarse inicialmente durante 6 meses por algas, su dieta cambia para alimentarse del tejido de los corales duros. Aún no es claro si la proliferación de este equinodermo es un fenómeno natural que ocurre en respuesta a las condiciones favorables, o como resultado de las perturbaciones en el ambiente causadas por el ser humano.

Una hipótesis afirma que el incremento de estas poblaciones se debe a la extracción de las conchas de los gasterópodos²⁰⁵ por algunos recolectores o coleccionistas, de los cuales se alimentan. Otra hipótesis más plausible señala que el crecimiento y la supervivencia de las larvas de la estrella corona de espinas son favorecidas por la combinación de bajas salinidades y altas temperaturas, además de los altos niveles de nitratos y fosfatos que las fuertes lluvias llevan a las aguas costeras después de alguna sequía. Los arrecifes costeros son los más afectados, porque es ahí donde las corrientes depositan sus larvas, produciendo cerca de 20 a 50 millones de huevos. Estos animales son reproductivamente activos por varios años, aunque muchos mueren antes de alcanzar los 8 años de edad. En el segundo caso, resalta la acción destructiva de las mordidas de los peces loro sobre la superficie del coral, aunque aún se desconocen los motivos propiamente. Durante los años 70, los arrecifes

²⁰¹ Science Education Resource Center, *Corals: Unit Overview* [en línea], *op. cit.* p. 11

²⁰² Los equinodermos deben su nombre a su piel espinosa. Incluyen a las estrellas de mar y erizos de mar.

²⁰³ Animal marino, perteneciente a la clase de los equinodermos, rodeado de brazos dotados de hileras de pies ambulacrales, que le permiten desplazarse para alimentarse del coral. Para muchas comunidades isleñas, es una plaga que está causando daños severos a grandes cadenas arrecifales. *El Pequeño Larousse Ilustrado, op. cit.* p. 424.

²⁰⁴ Fue observada por primera vez en la década de los 50 en Japón, y más tarde en la GBA, Micronesia, Samoa, Fiji, Malasia, Tailandia y las Maldivas. Tim M. Berra, *A Natural History of Australia, Chapter 5: Dangerous Waters: The Great Barrier Reef*, The Ohio State University, Sydney, Australia, 1998, p. 94.

²⁰⁵ Clase de moluscos que viven en el mar, agua dulce o lugares húmedos, dotados de una concha en espiral como el caracol. *Diccionario Enciclopédico Larousse, op. cit.* p. 480.

coralinos fueron infestados por numerosas poblaciones de erizos de mar en el Mar Rojo. Los científicos que estudian este fenómeno creen que fue causado por la aniquilación casi total de su principal predador de éste, el pez puerco espín. Los arrecifes destruidos por éstos se convirtieron en grandes áreas cubiertas por algas, que inhibieron el proceso de recolonización por otros corales.²⁰⁶

La estrella de mar corona de espinas, el pez loro y el erizo de mar son depredadores que consumen el tejido vivo del coral.



Fuente: <http://www.google.com.mx/imagenes>
[consulta: 6 de mayo de 2011]

Muchas técnicas de pesca pueden ser destructivas, siendo aún practicadas en varios países en desarrollo. La práctica habitual de sobrepesca o pesca excesiva,²⁰⁷ mediante métodos ilícitos como los explosivos y venenos, principalmente dinamita y cianuro son detonados para asustar a los peces que se esconden en los lugares recónditos (estas prácticas indiscriminadas reducen las poblaciones de especies clave y destruyen grandes cadenas de arrecifes). En el caso del uso de la primera, muchas especies de peces, camarones y langostas mueren, ya que ésta explota sobre la superficie del agua para después matar a la mayoría de las especies marinas sobre los arrecifes, siendo la forma más destructiva de pesca (más de 40 países son afectados por esta práctica). En el caso de la pesca con cianuro, que implica rociar o descargar sustancias químicas altamente tóxicas sobre los arrecifes para aturdir y capturar peces

²⁰⁶ Sergio González Ferrer, *op. cit.* p. 265.

²⁰⁷ La mitad de todas las reservas pesqueras están completamente explotadas, mientras que un cuarto de éstas ya han colapsado como resultado de la sobrepesca. *Idem*

vivos, también mata a los pólipos de coral, degradando su hábitat (más de 15 países han reportado estas actividades de pesca). Este ácido se convierte en una sustancia líquida que bloquea la capacidad de las células de los organismos marinos para respirar y después asfixiarlos.²⁰⁸

Los arrecifes con mayores riesgos se localizan en el sur, este y sureste de África, y el Caribe, así como la región occidental del Océano Índico. De acuerdo con el Atlas Mundial de arrecifes de coral del PNUMA, más del 80% de los arrecifes de coral de Indonesia, Filipinas,²⁰⁹ Malasia y Papúa Nueva Guinea (cuentan con entre 500 y 600 especies diversas de coral) han sido amenazados principalmente debido a las prácticas con explosivos para la pesca y el blanqueamiento. Cabe señalar, que la captura de peces herbívoros, piezas claves en el control del crecimiento de algas, provoca que estas últimas se apoderen del espacio donde los corales se encuentran y por tanto se multipliquen más. La pesca ilegal continúa siendo un problema sin resolver, a pesar de los esfuerzos internacionales. Esto, porque las legislaciones son imprecisas y por lo tanto no especifican su pleno cuidado. Hoy en día, las nuevas tecnologías de sondeo se están extendiendo a los límites, alcanzando grandes profundidades, mediante métodos modernos. La gestión de terrenos de pesca, basados en la conservación del ecosistema es urgentemente necesaria para mantener su viveza.

En muchas áreas, los arrecifes coralinos son destruidos cuando los corales y los peces arrecifales son colectados con fines comerciales, para después exponerlos en acuarios y colecciones de joyería, además de utilizarlos con propósitos artesanales y/o recuerdos. Tradicionalmente, bloques de coral vivo o muerto han sido usados para la elaboración de cemento y demás materiales de construcción en islas del Océano Índico (su gran demanda se hizo evidente a mediados de los años 80, cuando incrementó rápidamente la población, junto con la expansión masiva de la industria turística).²¹⁰

El océano ha sido considerado a lo largo de la historia como un gran receptor de residuos sólidos y líquidos. Se han vertido y se siguen vertiendo grandes cantidades de aguas residuales, industriales y urbanas, así como pesticidas, desechos radioactivos y

²⁰⁸ *Ibidem*, p. 268.

²⁰⁹ Entre 1986 y 1991 la mitad de sus arrecifes coralinos fueron destruidos, debido al uso de dichas técnicas de pesca.

²¹⁰ Las actividades de extracción coralina han causado extensivas degradaciones sobre los arrecifes en varios países (Maldivas, Indonesia, Sri Lanka, Tanzania y Filipinas). Sean Connolly, *¿Un futuro para los arrecifes de coral del mundo?*, [en línea], Australia, Universidad James Cook University de Queensland, Australia, Dirección URL: <http://www.project-syndicate.org/commentary/connolly1/Spanish> [consulta: 04 de febrero de 2009].

tóxicos, bien de forma directa o bien a través de los ríos, que amenazan con degradar su calidad. La contaminación marina basada en el vertido de sustancias tóxicas procedentes de las ciudades y/o embarcaciones; el turismo irresponsable; el buceo; el encallamiento de buques; entre otros, son agentes que degradan este hábitat.²¹¹ La contaminación por desechos sólidos constituye un problema grave, entre los que destacan las bolsas de nylon, envases de aluminio, entre otros, que se desplazan en el mar, para después asfixiar a los corales por falta de oxígeno (gran parte de los residuos sólidos tardan meses, e incluso miles y millones de años en descomponerse).²¹²

La contaminación por metales pesados²¹³ también destruye a los corales. Se asocia con los vertimientos de aguas residuales de algunas industrias en alcantarillas, entre las que destacan la minera, de reciclado, de plástico, refinerías de petróleo, entre otras, filtrándose directamente en los ríos y aguas costeras (muchas veces son compuestos tóxicos solubles).²¹⁴ Las aguas negras, los desechos de fábricas y los escurrimientos provenientes de aguas agrícolas, suelen contener altos niveles de nitrógeno y fósforo, que al ser vertidos al mar, estimulan el florecimiento de algas, dando lugar a una situación llamada eutroficación. Cuando su proliferación es tan rápida e intensa, en la superficie del mar se forma una cubierta densa de algas que bloquea el paso de la luz y oxígeno. Su descomposición produce CO₂ que acaba con el oxígeno, provocando que las aguas se conviertan en fétidas y mortales. Sin oxígeno, los peces comienzan a morir y todo el ecosistema se deteriora.²¹⁵

La mayor parte de los hidrocarburos del carbón o de los fertilizantes minerales que se mueven en el mundo, son transportados por el mar. El origen de la contaminación marina causada por los transportes marítimos como los buques petroleros puede ocurrir, ya sea por accidentes, hundimientos, choques, naufragios, encallado, ruptura, limpieza de buques, carga, descarga y mala gestión (combustibles,

²¹¹ Los incendios y las combustiones, los procesos industriales y demás actividades humanas son las causas principales de la contaminación marina. Robert A. Shinn, *Contaminación de los mares*, Capítulo 1: Contaminantes marinos: tipos, fuentes, cantidades y efectos, Ediciones Marymar, Buenos Aires, 1978, pp. 11-34.

²¹² El algodón tarda alrededor de 5 meses en descomponerse, los envases de aluminio alrededor de 500 años, las botellas de vidrio en 1000 años, mientras que algunos plásticos tardan hasta 1 millón de años en desintegrarse.

²¹³ Se definen como el conjunto de diversos elementos químicos, que presentan ciertos efectos nocivos de contaminación y toxicidad en el ser humano y el medio que lo rodea, entre los cuales se encuentran el plomo, cobre, níquel, mercurio, estaño y cobalto. *Diccionario Enciclopédico Larousse*, op. cit. p. 663.

²¹⁴ La solubilidad en el agua de mar depende del hidrocarburo de que se trate. Los hidrocarburos aromáticos (parafinas) son los más solubles, debido a su gran toxicidad.

²¹⁵ Sergio Salazar Vallejo, *Contaminación marina*, Centro de Investigación de Quintana Roo, Fondo de Publicaciones y Ediciones, Quintana Roo, México, 1996, pp. 16-20.

aceites, pinturas y otros químicos pueden escapar o derramarse del barco para verterse en las aguas oceánicas).²¹⁶ En el caso de la limpieza de los depósitos de los barcos, éstos son limpiados con chorros de agua para después verterla en los mares (el 80% de los buques cisterna guardan estos residuos y los descargan llegando al puerto, mientras que el otro 20% lo vacían al mar). Se estima que cada año, la industria del petróleo vierte al mar 4 millones de toneladas de crudo en sus prácticas usuales y se calcula que, aproximadamente 6300 buques petroleros navegan en las aguas marítimas internacionales.²¹⁷

El derrame de petróleo también repercute fuertemente en el medio marino (una tonelada de crudo derramada cubre unos 12 km²).²¹⁸ Estos derrames no siempre afectan a los corales directamente porque el combustible usualmente permanece cerca de la superficie del agua, y mucho de éste se evapora en la atmósfera dentro de pocos días. Sin embargo, si este ocurre mientras los corales desovan, los huevos y espermas se dañarán cuando éstos floten cerca de la superficie.²¹⁹ Cabe señalar que en la exploración de pozos petroleros, así como en la extracción de petróleo no se toma en cuenta la alteración de los ecosistemas. En este tipo de actividades, es común hallar depósitos subterráneos de material radiactivo que pueden tener impactos negativos en la biodiversidad marina, inclusive si los niveles de radiación son bajos.²²⁰

Los barcos que permanecen sobre los arrecifes coralinos pueden causar daños inmediatos a éstos. La navegación cerca de comunidades coralinas, ya sea para bucear u otra actividad de recreación también genera daños importantes, ya que se encallan en las colonias, derribando grandes franjas de coral (un barco grande puede romper en un instante lo que en cientos de años se formó). Asimismo, el anclaje de muchas embarcaciones destruye en gran medida grandes colonias de corales, que al hacer

²¹⁶ Se calcula que el total de hidrocarburos que se vierten al mar oscila entre los 6 y 8 millones de toneladas al año. *Convención sobre el Derecho del Mar* [en línea, pdf]. Dirección URL: <http://www.fao.org/faoterm/docs/convenmares.pdf> [consulta: 23 de junio de 2009].

²¹⁷ Desde los años 70 comenzaron a construirse los “superpetroleros”, grandes buques que traen consigo petróleo almacenado en tanques y que incluso pueden contener hasta 15 mil toneladas. Actualmente, los superpetroleros más grandes son el *Jahre Viking*, de nacionalidad noruega y el *Sea Giant*, de nacionalidad liberiana. S/a, *Superpetroleros* [en línea]. Dirección URL: <http://www.clubdelamar.org/petroleros.htm>. [consulta: 14 de mayo de 2009].

²¹⁸ Hay evidencias que indican que las catástrofes petroleras producidas en el Golfo Pérsico y el canal de Panamá provocaron grandes pérdidas de corales, así como una reducción en las poblaciones de peces. *Idem*.

²¹⁹ Robert A. Shinn, *Contaminación de los mares*, Capítulo 1: Contaminantes marinos: tipos, fuentes, cantidades y efectos, Ediciones Marymar, Buenos Aires, 1978, pp. 11-34.

²²⁰ Gian Carlo Delgado Ramos. *Petróleo, Medio Ambiente, Cambio Climático y Seguridad: Macondo, otra advertencia más* [en línea, pdf]. *op.cit.*

contacto entre uno y otro, el ancla se engancha en el fondo del mar y los rompe. Las bolsas de plástico que se arrojan al mar pueden enredarse rápidamente en los corales y asfixiarlos. Los corales que viven en aguas poco profundas, también pueden enredarse en las redes de los pescadores, por lo que son arrancados desde sus bases y mueren. Dichos factores reducen la penetración de luz disponible, que afecta la actividad fotosintética de las zooxantelas, dificultando los procesos de respiración y alimentación, así como la perturbación de su metabolismo, a través de los pólipos.²²¹

El buceo forma la principal base de la economía en varios países tropicales en desarrollo. Sin embargo, el buceo irresponsable también arrasa con los corales, ya que los buzos inexpertos pueden pisotearlos accidentalmente al pararse en el fondo con sus aletas. Algunas veces se sostienen de ellos para ganar impulso o hacerle frente a las corrientes, trayendo como consecuencia su desprendimiento (también son colectados como trofeos o recuerdos).²²² El turismo tiene dos vertientes: por un lado, puede significar una amenaza si se obra de manera irresponsable, pero por el otro es una alternativa que puede promover su conservación. No debemos oponernos al turismo subacuático en estos ecosistemas, más bien convertirlo en una actividad económica sostenible a largo plazo.

La contaminación por sedimentos es otro de los disturbios humanos que sofocan a los corales, obstruyendo la boca y tentáculos de los pólipos. Al ocurrir una deforestación, los sedimentos se acumulan en las cuencas hidrológicas, alterando el curso de sus aguas y deteriorando la calidad de las mismas. A su vez, las prácticas agrícolas inadecuadas, la construcción de industrias en las zonas costeras, el deterioro de los manglares, así como los dragados,²²³ constituyen una fuente de sedimentos que deterioran al ecosistema marino, siendo los corales asfixiados por algas que crecen a causa de los ricos nutrientes de fertilizantes y aguas residuales. Un gran porcentaje de sedimentos que entra a los océanos de todo el mundo proviene del Pacífico Occidental, incluyendo las grandes islas de Papua Nueva Guinea, Filipinas e Indonesia, y otro, pero

²²¹ Harry Rothman, *La Barbarie Ecológica*, Editorial Fontamara, Barcelona España, 1980, pp. 260-269.

²²² Tan sólo el turismo del buceo recauda 160 millones de pesos cada año en el Caribe, atrayendo grandes números de buzos y produciendo enormes beneficios económicos. S/a, *El Caribe cuenta con el 7% de los arrecifes coralinos del Planeta*, [en línea], Centro de Monitoreo de Conservación Mundial del PNUMA. Oficina Regional para América Latina y el Caribe, Dirección URL: http://www.ambiente-ecologico.com/ediciones/2002/Publicaciones_Ayaba.php [consulta: 16 de febrero de 2010].

²²³ Operación, cuyo objeto es la extracción o destrucción de minas existentes en determinada zona marítima a través de una máquina excavadora.

en menor proporción, del sureste de Asia (Singapur y Hong Kong). Otros sedimentos provienen de los ríos Amazonas (Brasil), Orinoco (Venezuela) y Magdalena (Colombia), situados en Sudamérica.²²⁴ Muchos arrecifes cerca de las concentraciones de población humana en el Atlántico también han sido degradados por la sedimentación (Cayos de Florida, las Islas Vírgenes, las Bermudas, entre otros).²²⁵

El desarrollo costero (construcción de centros urbanos, puertos y/o muelles y la urbanización descontrolada en las costas) provoca que una cantidad considerable de sedimentos y nutrientes entre al agua e intoxique a los corales y organismos asociados. La expansión de actividades costeras, y por ende, la cantidad de aguas residuales que entran a sus aguas es el principal factor que provoca la incidencia de particulares enfermedades. Las construcciones de desagües en zonas costeras, han contribuido a la alteración de la salinidad de los océanos, y por tanto a la muerte de los corales, ya que dependen en gran medida de las condiciones ambientales que sean favorables para su crecimiento.²²⁶

La extensa mortalidad coralina también se atribuye a uno o varios factores que incluyen erupciones volcánicas y mareas rojas, aunque durante la década pasada la atención de los científicos se enfocó a otras causas, tales como tormentas y huracanes, blanqueamiento coralino, enfermedades en los organismos arrecifales, entre otras. Un florecimiento masivo de algas también puede ser la causa de que el agua adopte tonalidades de marrón o rojo, fenómeno conocido como marea roja, que pueden ser tóxicas para las especies marinas. Incontables ejemplos de mareas rojas han sido comprobados, ya que grandes cadenas de arrecifes de coral en el Este de Asia, fueron devastadas a lo largo del siglo XX. Durante el ciclo del Niño de 1997-1998, cuando ardieron las selvas de Indonesia, el aire se convirtió durante meses en una espesa nube de humo cargada de hierro. Antes de los incendios, los arrecifes de coral del sudeste de Sumatra (tercera isla más grande de Indonesia) se consideraban entre los más ricos del mundo. Contaban con más de 100 especies de corales duros, entre los que se incluían inmensos ejemplares de más de 100 años de antigüedad. Pero a finales

²²⁴ Otro río como el Mississippi ahora lleva diez veces más las concentraciones de nitratos y fosfatos, comparado con los años 60.

²²⁵ Clark R. B, *Marine Pollution*, Tercera Edición, Clarendon Press-Oxford, New York, p. 32.

²²⁶ Los cambios de salinidad adquieren importancia en fenómenos de contaminación, pues al bajar la salinidad aumenta la toxicidad de determinados metales pesados como el mercurio y el cobre. Pedro César Cantú Martínez, *Contaminación ambiental*, Editorial Diana, México, 1993, pp. 57-61.

de 1997, apareció una marea roja ante la costa de Sumatra (el color era el resultado de la proliferación de unos diminutos organismos que se alimentaban del hierro de las nubes de humo). Las toxinas que produjeron causaron tanto daño, que los arrecifes tardarán décadas en recuperarse.²²⁷

La nube tóxica que generó el Niño en el sudeste de Asia durante 2002, fue aún más grande que la anterior (casi el tamaño de E.U.).²²⁸ La marea roja devastó las costas desde Indonesia hasta Corea del Sur, provocando daños tanto a la acuicultura (cría de plantas y animales acuáticos, ya sea en agua dulce o salada), como en los corales. Otro ejemplo lo constituyeron los arrecifes del Puerto de Ambón en 1857 (ahora Indonesia Oriental). Algunos afirmaban que eran una de las cosas más asombrosas y hermosas que jamás se habían contemplado. Ya en los años 90, estos espectaculares paisajes marinos se convirtieron en vertidos de agua estancada y opaca llena de basura, heces flotantes, bolsas de plástico e intestinos de cabras sacrificadas. Este y otros ejemplos han dado la vuelta al mundo entero, y mientras tanto, se sigue vertiendo a la atmósfera grandes cantidades de GEI.²²⁹

La civilización humana está experimentando un aumento poblacional evidente, emparentada con una economía manejada por el consumo y la ganancia. Actualmente, la población humana se estima en 6.800 millones, de la cual la mitad vive en áreas costeras.²³⁰ El rápido crecimiento de la población rebasará los 9.000 millones para el año 2050, aumentando en mayor grado en las naciones tropicales en desarrollo.²³¹ Estas presiones se duplicarán en los siguientes 20-30 años, y la demanda y sobreexplotación de sus recursos, así como la falta de control sobre éstos será inevitable, previendo que muchas especies coralinas ya están amenazadas con extinciones regionales.

Los arrecifes coralinos son indicadores de la salud oceánica, y su declive puede presagiar la decadencia de los océanos. Resulta urgente eliminar los agentes que deterioran el medio natural e implementar las medidas necesarias para su uso sustentable (otros creen que su degradación es prácticamente irreversible, ya que las

²²⁷ Tim Flannery, *op. cit.* p. 106.

²²⁸ La nube tóxica puede reducir hasta un 10% la luz del sol y calentar la parte inferior de la atmósfera y el océano.

²²⁹ *Ibidem*, p. 108.

²³⁰ Javier Sanpedro, “La población mundial crecerá un 50% en la primera mitad del siglo” [en línea], Madrid, *ELPAÍS.com*, marzo de 2009, Dirección URL: <http://www.elpais.com/articulo/sociedad> [consulta: 29 de abril de 09].

²³¹ Para 2080 se prevé que la población costera crezca de 1200 millones de personas a 1800 y 5200.

actividades humanas parecen no tener fin). ¿Serán lo suficientemente resistentes como para aguantar las presiones actuales, o serán capaces de adaptarse rápidamente a los drásticos cambios? A continuación, se mencionarán algunos casos específicos que demuestran que el cambio climático y demás impactos humanos están creando un “coctel letal”, que amenaza su supervivencia, enfocándose en diferentes áreas del globo terráqueo.

3. Casos específicos de arrecifes amenazados

3.1. La Gran Barrera Arrecifal Australiana y el emblanquecimiento coralino.

En su conjunto, Oceanía dispone de una riqueza natural de asombrosa diversidad. Es considerado como el continente en el que la naturaleza aún reina sobre sus espectaculares hábitats naturales, gracias también a las estrictas leyes y políticas conservacionistas que rigen en todos los estados que lo integran. Australia, un país con un territorio de más de 7.500.000 km², con más de 19 millones de habitantes que viven en las regiones costeras, contiene una flora y fauna inigualable. La mayor parte de la superficie es desértica, pero en su interior coexisten hábitats de extraordinaria belleza como bosques tropicales, amplias llanuras, así como espectaculares cadenas montañosas. La GBA, uno de los tesoros naturales más valiosos de Australia que se extiende hasta las aguas territoriales de Papúa Nueva Guinea, con una superficie de más de 2000 kilómetros de longitud a lo largo de la costa de Queensland, y con una extensión de 230.000 km² frente a las costas australianas, es el sistema arrecifal más grande del mundo.²³²

La GBA se encuentra al noreste del Estado de Queensland, en el mar de Coral.



Fuente: <http://www.guiamundialdeviajes.com/country/19/map/Australia-y-Pacifico-Sur/Australia.html>
[consulta: 8 de marzo de 2011]

²³² Marco Cattaneo, *El Patrimonio Mundial de la UNESCO: Los Santuarios de la Naturaleza*, Traduc. Sonia Afuera Fernández, Editorial Océano de México S.A. de C.V., 2003, p. 335.

En 1770, el navegante británico James Cook realizó expediciones a través de los laberintos de estas nuevas maravillas del mundo descubiertas en la GBA. Fue hasta en 1842, cuando el naturalista británico Charles Darwin aceptó la teoría del crecimiento del coral mientras examinaba los arrecifes a bordo del Beagle de 1831 a 1836 durante su viaje alrededor del mundo. En sí, la GBA es geológicamente joven –2 millones de años– si no es que más joven. Se formó en la época del Pleistoceno, durante un periodo de rápidas fluctuaciones en los niveles del mar en todo el mundo.

La topografía submarina del arrecife es complicada, debido a los valles formados durante los periodos antiguos de la erosión del suelo, algunos con lagunas más profundas que otros. Durante decenios, este increíble escenario se fue convirtiendo gradualmente en una importante fuente de alimento para la población aborigen que vivía en las islas de la GBA. Los 3 millones de visitantes que cada año llegan a este edén (cerca del 25% de los visitantes son extranjeros) han contribuido a que se realice la transición de una economía de subsistencia asentada en la pesca, a una más próspera y con proyección basada en el turismo, una actividad que genera grandes ganancias anuales (la GBA inyecta a la economía australiana alrededor de 975 millones de dólares cada año).²³³

La GBA, una gran cadena de arrecifes coralinos en el mar de Coral, actualmente consiste en muchos miles de arrecifes separados, que están apenas inundados en las mareas bajas cercanas a las costas. Un viaje de sur a norte a lo largo del vasto laberinto de los arrecifes e islas que forman la GBA revela su asombrosa diversidad. Extendiéndose por la Isla Lady Elliot en el sur, pasando por pequeñas islas coralinas y cayos que incluyen la Isla Heron,²³⁴ hasta llegar a la región norte de Cairns, la GBA comprende un mundo asombroso. En conjunto se cuentan no menos de 3400 barreras coralinas con dimensiones de entre 1 y 100 mil hectáreas aproximadamente (el Arrecife Holmes, el arrecife Hardy, el arrecife Hook, el arrecife de South Arlington, entre otros) y

²³³ Los turistas en Australia pasaron de 2.8 millones en 1993 a 8.4 millones para 2004. Erick Wolanski, *Oceanographic Processes of Coral Reefs: Physical and Biological Links in the Great Barrier Reef*, Chapter 17: Climate Variability and Change on the GBR, CRC Press, Australian Institute of Marine Science, Queensland, Australia, 2001, p. 307.

²³⁴ Con apenas 1 km de largo y 100-150 metros de ancho, rodeada de decenas de arrecifes, atolones y cayos, además de contar con 850 especies de peces, es una de las islas más famosas de la GBA. Tim M. Berra, *A Natural History of Australia*, Chapter 5: Dangerous Waters: The GBR, *op. cit.* p. 88.

más de 300 islas coralinas (Isla Musgrave,²³⁵ Isla de Whitsunday,²³⁶ Isla Hoskin, entre otras), de las cuales 213 están completamente cubiertas de vegetación (las islas constituyen además, un lugar de nidificación a escala mundial para la tortuga marina). El sitio más popular y favorito para el buceo y esnorqueleo alrededor de ésta es “Big Bommie”, un grupo de seis gigantescas cabezas de coral que se encuentran a profundidades de hasta 10 metros. Los buzos que lo han visitado señalan que en ésta y otras áreas aledañas se encuentra una vida marina fascinante y sorprendente que les ha proporcionado una serie de experiencias jamás antes vistas.²³⁷

La GBA comprende cerca de 3400 barreras coralinas y más de 300 islas de coral.



Fuente: <http://www.1uptravel.com/worldmaps/coral-sea-islands.html>
[consulta: 04 de mayo de 2011]

Las aguas de la GBA muestran pequeñas variaciones estacionales. Las temperaturas al suroeste del Pacífico son altas; varían de los 21 a los 38°C. Sus aguas son generalmente cristalinas, visiblemente claras, hasta en profundidades de 30 metros. Sin embargo, en las costas, la claridad del agua y el crecimiento del coral es reducido por los efectos de los sedimentos llevados por los ríos, especialmente durante inundaciones. Hay un incline gradual en el fondo del mar de norte a sur, el cual permite una división clara de la GBA en tres regiones. En la región del norte, todos los arrecifes

²³⁵ Esta isla presenta la forma de un atolón coralino, con 114 hectáreas de tierra firme cubiertas de bosque, estando rodeada de 1192 lagunas que fueron declaradas Parque Nacional en 1938. *Ibidem*, p. 337.

²³⁶ Es la mayor de las islas. Está completamente deshabitada, estando solo cubierta por bosques de manglares.

²³⁷ Les Holliday, *op. cit.* p. 167.

con latitudes de 16°S, se caracterizan por aguas poco profundas; su profundidad es menor a los 36 metros. La región central en latitudes de 16 a 21°S se caracteriza por profundidades que van de los 36 a los 54 metros. La región del sur se encuentra en latitudes que van de los 21 a los 24°S; la parte más profunda de este arrecife alcanza los 144 metros.²³⁸

Visible desde el espacio, la GBA constituye la mayor estructura jamás construida por seres vivos. Debido a su gran diversidad de especies y organismos marinos, ha sido descrita como la “jungla Amazónica” del mundo marino.²³⁹ En su fauna increíblemente rica, se hallan más de 1500 especies de peces multicolores,²⁴⁰ 73 especies coralinas de todas formas y colores (en conjunto, cerca de 250 especies se encuentran en el Indo-Pacífico), 4000 de moluscos y 252 aves marinas, además de una gran variedad de tiburones,²⁴¹ ballenas, dugones,²⁴² orcas y delfines, así como medusas, crustáceos, tortugas, anémonas de mar y lombrices marinas, cuya forma, tamaño y color es infinito. Otros animales dignos de mención son los erizos de mar, cuyas espinas se asocian a pequeñas navajas que algunos peces utilizan para ocultarse (su cuerpo translúcido con franjas negras, proporciona camuflaje entre sus espinas, lo que le permite alimentarse de pequeños crustáceos).

Las esponjas, consideradas como una parte integral del arrecife, están entre los organismos más visibles expuestos en las bajas mareas de la GBA (sus nematocitos pueden producir una severa quemadura si son tocados). Las almejas gigantes son otras de las especies que crecen en la GBA, llegando a medir 140 cms, e incluso llegar a pesar hasta 260 kgs. La deposición de metales pesados en el riñón de las almejas gigantes como el plomo, el mercurio, el cadmio, el zinc y el hierro principalmente, las convierten en excelentes indicadores para rastrear algún signo de contaminación o

²³⁸ Tim M. Berra, *op. cit.* p. 89

²³⁹ Los manglares a lo largo de las costas de la GBA también son ecosistemas que forman parte integral de ésta, ya que han ayudado a proteger a los arrecifes costeros y pastos marinos de la turbidez y los sedimentos (en casi 40 años han atrapado hasta medio millón de toneladas de légamo). *Ibidem*, p. 90.

²⁴⁰ Se han catalogado cerca de 500 especies de peces en un solo arrecife, entre los cuales se encuentran las anguilas, peces mariposa, peces ángel, peces loro, peces cirujano, barracudas, entre otros. Peces como el pez ángel podrían agregarse fácilmente a la Lista de Especies en Peligro de Extinción en el futuro, debido a su gran vulnerabilidad a los cambios de temperatura. *Idem*.

²⁴¹ Estos grandes carnívoros son encontrados usualmente en las aguas más profundas alrededor de los bordes del arrecife. El tiburón gris del arrecife se mueve entre los atolones y las lagunas, e incluso se han visto ejemplares a 1000 metros de profundidad.

²⁴² Mamíferos marinos, pertenecientes a la familia de los manatíes que habitan en los océanos Índico y Pacífico occidental. Hoy en día se encuentran en peligro de extinción, con tan solo 80 ejemplares.

toxicidad en el arrecife. Los cazadores furtivos asiáticos las han puesto en peligro de extinción, por lo que en la Isla Orpheus del Estado de Queensland están llevándose a cabo programas de procreación artificiales. Este esfuerzo, y con el patrullaje continuo en el área, permitirá que las almejas gigantes sobrevivan en el futuro.²⁴³

El panorama submarino también dispone de una riquísima vegetación acuática, la cual comprende una gran variedad de algas de pequeñas dimensiones, que constituyen una importante fuente de alimento para tortugas, peces, equinodermos y moluscos, además de representar un importante componente en el proceso de formación del arrecife. Cabe destacar, que entre los organismos arrecifales de la GBA, el alga marina calcárea es tan importante como los corales, ya que mientras el alga roja incrustada forma bordes para proteger sus áreas, otras especies como el alga verde calcárea, con apariencia de un delgado césped, resguarda una gran variedad de peces.

En la GBA, muchos corales desovan con un extraordinario grado de sincronía, después de luna llena, en octubre²⁴⁴ y noviembre (millones de huevos y espermatozoides de coloridos rosas, rojos o anaranjados se liberan al mar en pocos minutos). Las temperaturas óptimas para el crecimiento coralino en esta área ocurren entre los 25 °C y los 29°C (en el Mar de Arabia pueden soportar temperaturas de hasta 34°C o más). Los bajos nutrientes y las aguas ricas en calcio son, por supuesto, necesarios. Los corales duros son los invertebrados predominantes en los arrecifes. La familia del coral cuernos de ciervo es el grupo más grande, y es posible encontrar a 20 o más especies viviendo juntas en una pequeña área.²⁴⁵ El coral negro y otro tipo de corales como las gorgonias habitan en las aguas poco profundas del arrecife (el material del coral negro contiene un material muy brillante, que antes era utilizado para hacer alhajas).

La GBA nos brinda uno de los escenarios más espectaculares sobre la Tierra, con una belleza natural excepcional. Para Australia y los australianos, la GBA es el tesoro nacional, y una amenaza a ésta, se convierte en un asunto de seguridad nacional. Los australianos tienen una gran conciencia sobre la necesidad de conservarla, ya que personifica los valores naturales de una gran biodiversidad a escala

²⁴³ En 1993, la marina australiana transfirió 3000 almejas gigantes, pesando cerca de 20 toneladas a los terrenos de procreación en un área recóndita de la GBA. Tim M. Berra, *op. cit.* p. 96.

²⁴⁴ Octubre es considerado el mejor mes del año para visitar la GBA, cuando el mar está en calma y los días se encuentran todo el tiempo soleados como en primavera.

²⁴⁵ Este tipo de coral, uno de los más dominantes en la GBA fue afectado debido a su sensibilidad a los cambios de temperatura y la salinidad del mar en 2001-02.

mundial. Ellos desean que este fastuoso hábitat marino tenga corales, peces coloridos y aguas cristalinas, así como poblaciones de aves marinas, tortugas, delfines y ballenas, con un espectacular escenario de playas limpias y mucha vegetación. El público quiere disfrutarla sin agentes contaminantes que perjudiquen su esencia natural.

Australia está localizada en una región del globo terráqueo que es muy sensible a las influencias e impactos de ENSO. Durante 1997-98, uno de sus eventos más recordados, relacionados con un gran número de reportes en muchas regiones oceánicas de todo el mundo fue la masa de blanqueamiento coralino. La GBA no fue la excepción con infinidad de reportes de este tipo, especialmente en los arrecifes encontrados a pocas profundidades. Han sido siete los principales eventos de blanqueamiento hasta la fecha en la GBA: 1981/82, 1997/98, 2001/02 y 2005.²⁴⁶ A partir del comienzo de altos récords de temperatura desde 1856, los años de 1998, 2002 y 2005 fueron los más calientes para ésta y otros arrecifes de cerca de 50 países a lo largo de los Océanos Índico y Pacífico, el Mar Rojo, el Caribe, e incluso del Golfo Árabe/Pérsico.²⁴⁷ Aunque los corales de la GBA tienen un margen de tolerancia de alrededor de 4°C arriba de lo óptimo (a menos que estén expuestos a mareas bajas), el 42% de su superficie total se decoloró en 1998 y el 18% sufrió daños permanentes, ya que las aguas oceánicas se tornaron más calientes de su temperatura normal durante varios días (este aumento apareció como resultado de las rápidas disminuciones en la velocidad del viento).²⁴⁸

En su región norte, la mayoría del blanqueamiento ocurrió durante la primera semana de febrero de ese mismo año. Los bajos vientos permitieron que el sol calentara lo suficientemente como para emitir mayor radiación solar directa a los corales. Sin embargo, debido al cubrimiento de nubes, este desastroso evento disminuyó. A diferencia del norte, muchos arrecifes de la región sur de la GBA buscaron escapar del blanqueamiento, mediante la interacción de un mayor cubrimiento de nubes y el movimiento de las mareas, permitiendo un menor daño a los arrecifes de esta zona (después de este desastroso periodo, las ondas de viento enfriaron las aguas

²⁴⁶ John Edward Veron, *op. cit.* p. 52.

²⁴⁷ En 1998, las temperaturas en la superficie del mar en la GBA fueron de 1 a 2°C más calientes que lo normal. Muchos corales arcaicos murieron. Para 2030, se espera que el promedio de las temperaturas anuales en Australia sea más caliente con una estimación de 0.4 a 2°C. *Ibidem*, p. 53.

²⁴⁸ El emblanqueamiento del coral australiano ha sido gravemente afectado en una franja de 620 millas de la costa de Queensland al noreste de Australia. *Idem*.

superficiales).²⁴⁹ Desafortunadamente, los reportes de un grupo de científicos confirmaron que el blanqueamiento fue más grave que lo que reveló las pruebas aéreas. La Isla Orpheus, cerca de Townsville fue devastada: el 50-70% de todos los corales del arrecife murieron dentro de las nueve semanas de suscitarse este evento. Cerca de dos tercios de los arrecifes internos y el 14% de los arrecifes externos padecieron niveles moderados a altos de blanqueamiento.²⁵⁰

El segundo principal evento de blanqueamiento tomó lugar en 2001-02. En esa fecha, se repitieron las condiciones climáticas del “El Niño”, desencadenando otra extensa decoloración que mató al 40% de los corales de algunos arrecifes costeros de la GBA. En el tercer y último evento en 2005, se presentó una significativa masa de blanqueamiento sobre los corales de la GBA. Ese año parecía ser otro año terrible para el arrecife, hasta que se desencadenó un intenso ciclón conocido como Larry. Sacó el suficiente calor del océano como para contrarrestar la decoloración, usando esa energía para impulsar vientos devastadores que dañaron y/o destruyeron 50,000 hogares en el Estado de Queensland.²⁵¹

La variación geográfica en blanqueamientos de masa tiene importantes aspectos. Los corales que crecen sobre arrecifes ecuatoriales, sorprendentemente no son más tolerantes al calor que los que crecen a altas latitudes. Por ejemplo, el blanqueamiento puede ocurrir también en los arrecifes coralinos de altas latitudes incluyendo los del hemisferio norte como en Hawai y las Bermudas. Los arrecifes a menores profundidades de la GBA fueron severamente blanqueados, mientras que los arrecifes a profundidades medias fueron moderadamente blanqueados. La masa de blanqueamiento es más severa en comunidades coralinas poco profundas, aunque también se han observado casos en profundidades de más de 30 metros.²⁵²

En los años 70, bajo el eslogan “Salvemos a la Barrera Arrecifal”, la GBA se convierte en el movimiento de conservación más grande en la historia Australiana. El Acta del Parque Arrecifal de la Gran Barrera es el documento oficial con el que, en 1975, el gobierno australiano creaba el área protegida más grande del mundo. Este

²⁴⁹ Los corales se blanquean a más bajas temperaturas en el sur de la GBA que en el norte. Eric Wolanski, *Oceanographic Processes of Coral Reefs: Physical and Biological Links in the Great Barrier Reef*, Chapter 18: The Sea Surface Temperature Story on the GBR during the Coral Bleaching Event of 1998, *op. cit.* p. 307.

²⁵⁰ *Ibidem*, p. 308.

²⁵¹ Tim Flannery, *op. cit.* pp. 110-112.

²⁵² John Edward Veron, *op. cit.* p. 54

Parque se extiende a lo largo de 2000 kms. por la costa oriental australiana, desde el Trópico de Cáncer hasta las aguas costeras de Papúa Nueva Guinea, hallando la mayor extensión de barreras coralinas del mundo. La GBA con una superficie superior a la de España, es la mayor superficie del Planeta protegida por el patrimonio mundial de la UNESCO desde 1981 (fue incluida en la Lista de Herencia Mundial).²⁵³

Hace algunos años, las compañías petroleras propusieron la perforación petrolera en el arrecife de la GBA, una actividad que pudo terminar en catástrofe para la comunidad arrecifal. Afortunadamente, en 1993 el gobierno de Queensland prohibió esta actividad. Hoy en día, la zona entera entre el borde del arrecife y la costa principal de la GBA es una reserva restringida, protegida por el derecho. Su buen manejo, y la lejanía de muchos de sus arrecifes hacen que su conservación sea inigualable. Una de las razones por las cuales algunos de sus arrecifes casi nunca eran visitados por los turistas hasta hace 20 años era la distancia, con viajes que duraban varios días.²⁵⁴

La GBA es uno de los pocos sistemas arrecifales bajo jurisdicción gubernamental. Un estudio realizado en 2003 reveló que la superficie coralina se había reducido en la GBA a menos del 10% de su extensión original, incluso en las zonas más sanas. La indignación de la opinión pública provocó que se tomaran medidas políticas, por lo que el gobierno australiano anunció que el arrecife sería protegido. Tras cuatro años de campaña por parte del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF, por sus siglas en inglés), el gobierno australiano decidió crear un plan de conservación para protegerla en julio de 2004, convirtiéndose en el mayor espacio marino protegido del mundo. En periodos anteriores, sólo el 4.8% era protegido, mientras que a partir de ese año, esta área pasó al 33%, con una estimación de 11 millones de hectáreas protegidas (la GBA cubre un área de 35 millones de hectáreas).²⁵⁵ Cerca de 750 arrecifes costeros de este Parque Marino, fueron designados más tarde como patrimonio mundial por Naciones Unidas. Con este nuevo plan se prohibía la pesca comercial, así como recreaciones deportivas, salvo el turismo. La WWF y grupos ecologistas confían en que este tipo de protección sea adoptada por otros países en zonas marítimas claves del

²⁵³ Nueva Zelanda, la Isla Fraser (la isla de arena más grande del mundo, ubicada a lo largo de la costa sur de Queensland), e incluso Tasmania, entre otros, son considerados espacios naturales del patrimonio mundial de la UNESCO, y por ende, patrimonios naturales de Oceanía. Marco Cattaneo, *op. cit.* p. 335.

²⁵⁴ Tim M. Berra, *op. cit.* p. 108.

²⁵⁵ Bruce Johansen, *op. cit.* p. 497.

Sudeste asiático, Centroamérica y/o el Mediterráneo que también cuentan con extensas áreas arrecifales.²⁵⁶

En décadas pasadas, observamos severos colapsos de arrecifes coralinos en más áreas tropicales. Cerca del 60-70% de los arrecifes en Indonesia y Filipinas han sido seriamente degradados, con tan sólo el 5% aún en excelentes condiciones. A diferencia de muchas de estas áreas arrecifales, la GBA se encuentra en mejores condiciones, ya que Australia ha llevado a cabo considerables controles (Queensland controla muchas de las zonas de pesca, salvo las áreas donde lo es permitido). Además, hay áreas que ya han sido designadas como Parques Nacionales Marinos, asumiendo que sus islas, arrecifes y costas son reguladas por el Gobierno Federal, aún cuando no ha sido designada como área protegida en su totalidad. Sólo se espera, que Australia continúe protegiendo al arrecife, y que su plan de acción se extienda al arrecife entero. Al respecto, ya las autoridades australianas están trabajando para restaurar este preciado recurso natural, reforzando su capacidad de recuperación.²⁵⁷

A pesar de los esfuerzos realizados, otros impactos que están colapsando la GBA incluyen la sobrepesca, turismo irresponsable, y la contaminación industrial en zonas aún no protegidas. La destrucción de este importante recinto marino ha sido acelerada no solamente por el sobrecalentamiento de las aguas, también de prácticas agrícolas que incluyen fertilizantes, herbicidas, pesticidas y sustancias nocivas que matan a los corales.²⁵⁸ Estas prácticas inhabituales causaron el florecimiento de algas, que a su vez incrementaron la propagación de las poblaciones de estrellas de mar corona de espinas, provocando la destrucción local de cerca del 60% de los corales en algunos arrecifes de las áreas afectadas. Los índices de crecimiento de la población humana en algunas regiones de Oceanía están entre las más grandes del mundo, pero la preocupación más inmediata para el manejo de la GBA es que los índices de urbanización están incrementando cada vez más rápido. Esto, aunado con

²⁵⁶ La GBA cuenta con dos principales canales de transporte marítimo: la travesía Flinders, cerca de Townsville, y la travesía Trinity Opening off en Cairns; ambas, ciudades situadas en la costa noreste de Queensland. Tim M. Berra, *op. cit.* p. 88.

²⁵⁷ Erick Wolanski, *Chapter 20: Will the GBR survive Human Impact? op. cit.* p. 332.

²⁵⁸ Otras amenazas como la velocidad de descarga fluvial en la costa de Australia han aumentado cuatro veces más, a través de la deforestación y la agricultura. *Ibidem*, p. 334.

enfermedades coralinas, y el incremento de las tormentas y ciclones,²⁵⁹ a causa de las altas temperaturas.²⁶⁰

Una comisión de 17 de los principales investigadores de los arrecifes de coral advirtieron que de aquí al año 2030, se habrá causado un daño catastrófico a los arrecifes del mundo, y que llegado el 2050, incluso los arrecifes más protegidos mostrarán señales de haber sufrido grandes daños. Según los científicos expertos en corales, un aumento adicional de un 1°C en la temperatura global, causará la decoloración y muerte del 82% del coral de la GBA; 2°C afectarán al 97% de ésta y tras una subida de 3°C, estaremos ante una destrucción completa.²⁶¹ Pero no sólo esta área está siendo afectada. Otros países costeros e islas aledañas están padeciendo similares eventos, aunque en mayor proporción, debido a su alta vulnerabilidad a los nuevos cambios climáticos y posición geográfica.

3.2. La Alianza de los Pequeños Estados Insulares. Caso Tuvalu y caso Fiji.

La Alianza de los Pequeños Estados Insulares (AOSIS, por sus siglas en inglés) es una coalición de pequeñas islas y países costeros bajos que comparten similares desafíos de desarrollo y preocupaciones acerca del medio ambiente, especialmente su vulnerabilidad a los efectos adversos del cambio climático. Formada en 1990, funciona principalmente como un lobby ad hoc y tiene voz de negociación en SIDS²⁶² dentro del Sistema de Naciones Unidas. AOSIS se compone de 39 Estados miembros²⁶³ y 4 observadores²⁶⁴ provenientes de África, el Caribe, Océano Índico y Pacífico que

²⁵⁹ Los ciclones tropicales también están afectando a la GBA, ya que su travesía sobre el arrecife puede traer vientos y tormentas destructivas, elevados niveles del mar y rápidos aumentos en los cauces de los ríos. *Idem*.

²⁶⁰ Un estudio reciente hecho por estudiosos de la GBA considera que el decline de éstos tan sólo por el cambio climático estima pérdidas de 3 a 8 mil millones de dólares en la economía australiana sobre el periodo 2003-2023. Eugene Rosenberg, *op. cit.* p. 480.

²⁶¹ John Edward Veron, *op. cit.* p. 202.

²⁶² Los Pequeños Estados Insulares en Desarrollo (SIDS, por sus siglas en inglés) son países costeros que comparten similitudes y desafíos de desarrollo sustentable. Está conformado por 38 Estados miembros de Naciones Unidas y 14 miembros asociados de Comisiones Regionales (no miembros de Naciones Unidas). Juntos, constituyen el 5% de la población global. United Nations. Office of the High Representative for the Least Developed Countries, Landlocked Developing Countries and Small Island Developing States [en línea]. Dirección URL: <http://www.un.org/special-rep/ohrlls/sid/list.htm> [consulta: 16 de febrero de 2011].

²⁶³ Antigua y Barbuda, Bahamas, Barbados, Belice, Cabo Verde, Comoros, Islas Cook, Cuba, Dominica, República Dominicana, Fiji, Estados Federados de Micronesia, Granada, Guinea-Bissau, Guyana, Haití, Jamaica, Kiribati, Maldivas, Islas Marshall, Mauritania, Nauru, Niue, Palau, Papúa Nueva Guinea, Samoa, Singapur, Seychelles, Santo Tomé y Príncipe, Islas Salomón, St. Kitts y Nevis, St. Lucía, St. Vicente y Granadinas, Suriname, Timor Oriental, Tonga, Trinidad y Tobago, Tuvalu y Vanuatu. Alliance of Small Island States/Members & Observers [en línea], 2009, Dirección URL: <http://www.sidsnet.org/aosis/about.html> [consulta: 10 de enero de 2011].

²⁶⁴ Samoa Americana, Antillas de Países Bajos, Guam e Islas Vírgenes (EEUU). *Ibidem*

funciona sobre la base de consulta y consenso. Las principales decisiones diplomáticas son tomadas en sesiones plenarias a nivel de embajador.²⁶⁵

Severos impactos ya están siendo experimentados por los estados isleños, incluyendo el aumento del nivel del mar, erosión costera, inundaciones, blanqueamiento coralino, pérdida de la biodiversidad y eventos climáticos más frecuentes e intensos como los huracanes. Naciones Unidas ya ha advertido la probabilidad de que estos países se conviertan en inhabitables, como resultado del cambio climático. AOSIS por lo tanto está llamando a negociaciones para crear un proyecto que salvaguarde los medios de vida y sobrevivencia de sus países miembros, y propone que las emisiones globales deben disminuir hasta en un 85% por debajo de los niveles de 1990 para 2050.

Es bien sabido y confirmado por el IPCC que AOSIS tiene características que los hacen especialmente vulnerables a los efectos del cambio climático. Estas características incluyen su limitado tamaño, localización geográfica, propensión a los disturbios naturales, acceso limitado a la tecnología, alta dependencia del extranjero, y por ende baja capacidad adaptativa. Las vulnerabilidades que resultan de estas características son exacerbadas por el cambio climático, cuyos impactos se intensificarán en décadas venideras. Kiribati y las Maldivas por ejemplo han perdido algunas de sus islas a causa del aumento del nivel del mar, y la pérdida de tierras ya ha sido reportada en otras islas del Pacífico y el Caribe. Y qué decir de Tuvalu una nación que está a punto de desaparecer, ya que efectos combinados de este fenómeno están amenazando su integridad territorial e incluso su propia existencia.²⁶⁶

Cerca de la mitad de las líneas costeras están en los trópicos, y cerca de un tercio están compuestas de arrecifes coralinos. Archipiélagos de cientos de atolones como las islas Marshall, las Maldivas, Tuvalu y Kiribati han sido formados por corales. Tuvalu, un Estado miembro de AOSIS, y uno de los países isleños más pequeños y remotos existentes sobre la Tierra, es una de las naciones más vulnerables a los efectos del cambio climático.²⁶⁷ Es un grupo de nueve islas (seis de las cuales son atolones coralinos) ubicados en el Océano Pacífico cerca de las Islas Fiji, entre

²⁶⁵ Actualmente, el presidente a cargo es el embajador Dessima Williams de Granada. Alliance of Small Island States/About AOSIS [en línea], 2009, Dirección URL: [http:// www.sidsnet.org/aosis/about.html](http://www.sidsnet.org/aosis/about.html) [consulta: 10 de enero de 2011].

²⁶⁶ *Idem.*

²⁶⁷ Su nombre significa “grupo de los ocho” (la novena isla ha sido poblada en recientes años). Es el 4to país más pequeño del mundo después de la Ciudad del Vaticano, Mónaco y Nauru.

Australia y Hawai. Seis de éstas –Nanumea, Nui, Vaitupu, Nukufetau, Funafuti (principal atolón de Tuvalu) y Nukulaelae– tienen lagunas abiertas al océano; Nanumaya y Niutao tienen lagunas sin acceso al mar; Niulakita no tiene laguna.²⁶⁸

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE TUVALU



Fuente: <http://www.geography.howstuffworks.com/oceania-and-australia/geography-of-tuvalu.htm>
[consulta: 13 de septiembre de 2010]

La agricultura y la pesca son sus principales actividades económicas. Poco más de 1000 turistas en promedio visitan Tuvalu anualmente. Sin embargo, los cambios adversos están siendo experimentados hoy en día por Tuvalu: incremento del nivel del mar, inundaciones, ciclones tropicales más frecuentes, olas más intensas, sequías, acelerada erosión costera, la intrusión de agua salada dentro de los campos y terrenos de cultivo, y blanqueamientos coralinos sin precedentes. Tuvalu, con una estimación de 10,544 tuvaluanos (est. Julio 2011) está padeciendo los peores estragos.²⁶⁹ Su capital, Funafuti se ha inundado como resultado de los ciclones inducidos por las olas. Hace algunos años, las olas barrieron la superficie de Tepuka Savilivili, una pequeña isla situada en las inmediaciones del atolón de Funafuti, lo que provocó la destrucción de toda su vegetación. Las mareas más fuertes impactan en febrero-marzo. En 2004, las nueve islas de Tuvalu fueron golpeadas por grandes mareas, con una altura de hasta tres metros. Estas mareas arrastraron los puntos más bajos de la nación (de acuerdo

²⁶⁸ Todas las islas juntas tienen un total de 26 km² que se extienden a lo largo del Océano Pacífico. Central Intelligence Agency. The World Factbook. *Tuvalu* [en línea], United States of America, Dirección URL: <http://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/index.html>. [consulta: 19 de enero de 2011].

²⁶⁹ *Ibidem*

con sus habitantes, este evento ocurre cada dos años). La peor inundación ocurrió en 2001, cuando prácticamente toda el área de tierra de estas islas estuvo bajo el agua.²⁷⁰

Tuvalu ha luchado siempre con eventos climáticos extremos como tormentas e inundaciones, sólo que ahora, la frecuencia y magnitud se ha intensificado. Es una de las naciones más bajas del mundo, con menos de 4 metros por encima del nivel del mar en su punto más elevado, y como ésta se encuentra cerca del cinturón de ciclones, siempre hay un riesgo de tormentas tropicales. Desde 1993, estos niveles están aumentando 5.7 mm por año y los pronósticos apuntan que Tuvalu será un país inhabitable al final del siglo.²⁷¹ Al respecto, esta nación ya reportó un aumento de 10 cms. en el nivel del mar en los últimos 12 años, de acuerdo con el Proyecto de Monitoreo del Nivel del Mar y el Clima del Pacífico Sur (South Pacific Sea Level and Climate Monitoring Project, por sus siglas en inglés).²⁷²

Las mareas altas son cada vez más frecuentes en Tuvalu, dejando severas inundaciones en la mayor parte de la nación.



Fuente: <http://www.worldviewofglobalwarming.org/pages/rising-seas.html>
[consulta: 16 de octubre de 2010]

²⁷⁰ United Nations. Article: *Climate Impacts Already Felt by Small Islands; Governments Seek Resources to Adapt*. Published by the United Nations Department of Public Information, november 2004. Release #5. [consulta: 05 de septiembre de 2010].

²⁷¹ Se prevé que en 50 años, Tuvalu quedará sumergida bajo las aguas del Océano Pacífico. Climate Change SOS. Tuvalu/A Nation in Crisis [en línea], *op. cit.*

²⁷² La nación ya ha perdido en recientes años un metro de tierra alrededor del gran atolón. Stephen Leahy, “Un pequeño lucha por sobrevivir” [en línea], 28 de julio de 2007. Dirección URL: <http://www.ipsnoticias.net/nota.asp/ambiente-tuvalu> [consulta: 10 de marzo 2011].

Los políticos locales han hecho campañas en contra del calentamiento global, argumentando que el cambio climático inundará las islas, debido al aumento de los niveles del mar.²⁷³ Se prevé que otras naciones isleñas de baja altitud en el Pacífico se inunden, incluyendo a las islas Cook y las islas Marshall.²⁷⁴ Otras naciones como Kiribati y Maldivas, y las 150 millones de personas que viven sobre líneas costeras esperan salvarse de estos peligros (otros países isleños también han expresado su grave preocupación como las Bahamas, Jamaica e Islandia). “Nosotros vivimos en un constante miedo por los impactos adversos del cambio climático. El nivel del mar y otros severos eventos climáticos amenazan a nuestra población entera.” Así se expresaba el Primer Ministro de Tuvalu, Saufatu Sopoanga en la 58ava. Sesión de la Asamblea General de Naciones Unidas en Nueva York, en septiembre de 2003. Y es que el aumento del nivel del mar significa un riesgo importante para la vida y salud de los tuvaluanos, pues la mayoría de las casas, infraestructura y actividades comerciales se encuentran a lo largo de la costa.²⁷⁵

Los 7.1 millones de habitantes en 22 países isleños del Pacífico, incluyendo Tuvalu, son responsables de las emisiones de CO₂ de aproximadamente 6.816 millones de toneladas de CO₂ por año. Esto significa que las islas del Pacífico en conjunto contribuyen con el 0.03% de las emisiones globales de este gas por la quema de combustibles fósiles, a pesar de constituir el 0.12% de la población global.²⁷⁶ Incluso si los GEI fueran estabilizados a los presentes niveles, los expertos dicen que los niveles del mar continuarán aumentando debido a las emisiones pasadas. El Tercer Reporte de Evaluación del IPCC señala que al final de este siglo, el promedio del nivel del mar aumentará 5 cms. por año, dos o cuatro veces más que en los pasados 100 años. Este Panel concluye en que todas las amenazas que enfrentan las pequeñas naciones isleñas son resultado del cambio climático, y que el nivel del mar es la más grande amenaza. “Nosotros no queremos dejar este lugar, es nuestra tierra, la tierra que Dios nos dio, es nuestra cultura, no podemos dejarlo. La gente no quiere dejarla hasta el último minuto”. Con estas dramáticas palabras, el Secretario del Ministerio de Recursos

²⁷³ Las Maldivas, una cadena de casi 2000 pequeñas islas coralinas en el Océano Índico, fueron de las primeras islas en proclamar preocupación sobre la creciente amenaza del ascenso del nivel del mar. Junto con las islas Seychelles, han perdido más del 60% de sus arrecifes en los últimos dos años. *Idem*

²⁷⁴ Durante la última década, Majuro, una de las islas Marshall) ha perdido hasta un 20% de su zona de playa.

²⁷⁵ S/a. *Tuvalu and Global Warming*, [en línea], 20 de noviembre de 2010. Dirección URL: <http://www.tuvalu.islands.com/warming.htm> [consulta: 23 de agosto de 2010].

²⁷⁶ Holley Ralston, *op. cit.* p. 15.

Naturales, Energía y Ambiente, Paani Laupepa, expresó los sentimientos de muchos tuvaluanos en el peor de los escenarios.²⁷⁷

Para muchas islas tropicales, los arrecifes coralinos se encuentran entre los recursos naturales más importantes. Al respecto, Tuvalu está profundamente preocupado, entre muchos otros riesgos, por el impacto que tengan los aumentos de temperatura del mar sobre la vida marina, la cual sostiene a las comunidades y proporciona casi la mitad de los ingresos a su presupuesto nacional. Incluso un aumento de 1-2°C podría causar serios blanqueamientos, afectando a la rica diversidad de vida marina de la cual Tuvalu depende. Debido a su baja tolerancia a los cambios de temperatura, algunas especies ya están viviendo sus límites térmicos, y dentro de las siguientes pocas décadas, como resultado de estos incrementos de temperatura, “la tolerancia térmica de los corales constructores de arrecifes será excedida, y la incidencia del blanqueamiento aumentará rápidamente”.²⁷⁸ Los índices de crecimiento de los arrecifes de Tuvalu son de 2 mm por año, y esta nación pronostica que no serán capaces de tolerar los aumentos del nivel del mar, afectando a algunas comunidades arrecifales más profundamente que otras. El daño a los arrecifes coralinos es evidente, y la propagación de la estrella de mar corona de espinas está empeorando la situación de los arrecifes de Tuvalu.

Estreses adicionales sobre los recursos de agua potable ya son deficientes. La intrusión de agua salada dentro de los acuíferos de agua dulce es una materia de gran preocupación para muchos estados isleños en general, ya que está afectando los mantos acuíferos, y con ello su reservorio de agua potable. El tema del agua, desafortunadamente está empeorando no sólo a causa del cambio climático y efectos asociados, sino también como resultado de la contaminación local, derivada del crecimiento poblacional de Tuvalu, combinada con otros factores como el manejo pobre del medio ambiente. La condición del agua potable crea riesgos de salud para la población. Un esfuerzo que los pobladores han tomado es la acumulación de agua de lluvia para ayudar a conservar sus tierras de cultivo. La producción alimentaria también ha sido afectada. Los isleños consumen un tubérculo llamado pulaka, pero los suelos y sus plantaciones han padecido las peores consecuencias, a causa de las infiltraciones

²⁷⁷ Climate Change SOS. *Tuvalu/ The Climate Threat* [en línea], 2008. Dirección URL: <http://www.media.adelaidenow.com.au/multimedia/2008/10/tuvalu/tuvalu-perthnow.html> [consulta: 04 febr. 2011].

²⁷⁸ *Idem.*

de agua salada.²⁷⁹ Numerosas islas tropicales como las Islas Salomón y Kiribati ya se están encontrando también con la incidencia de enfermedades como la malaria y el dengue transmitidas por mosquitos.

Países isleños como Tuvalu no tienen la capacidad de reaccionar y adaptarse de manera adecuada. Esto resulta de la combinación de diferentes factores antes ya mencionados. En muchos casos, la única opción posible es la migración, tanto interna como externa. A finales de 1999, Funafuti fue el hogar del 40% de la población total, con una estimación de 347 personas por km². Esta migración interna, aunada con el incremento de la población a 26,000 habitantes para 2050, anticipa el incremento de la demanda de recursos y menor disponibilidad de éstos.²⁸⁰ Quizá, su única salida es salvar a sus habitantes en el caso de la pérdida total de su país, mediante la opción de convertirse en “refugiados ambientales” en países vecinos como Nueva Zelanda.

En los últimos años se ha planteado la necesidad de evacuar a los habitantes hacia otros países. En el año 2000, el gobierno de Tuvalu solicitó a Australia y Nueva Zelanda el recibimiento de los tuvaluanos si aumentaban los niveles del mar. Dichas aplicaciones tomaron efecto en julio de 2002 por este último, aunque esto implicaba la pérdida irreemplazable de sus conocimientos y técnicas tradicionales únicas del país de origen. Ese año, Nueva Zelanda acordó un programa de inmigración que acogía a 75 tuvaluanos anualmente, por un periodo de 30 años. Sin embargo, esto es insuficiente, ya que su población es cuantiosa, y para ser aceptados como refugiados deben cumplir con ciertos requisitos, como el hablar un mínimo de inglés, tener menos de 45 años, y contar con un ofrecimiento de empleo en Nueva Zelanda (más de 400 personas ya han abandonado Tuvalu para vivir en éste). En el caso de Australia, un simultáneo reporte del Instituto Australiano ha criticado su nivel del apoyo a los estados isleños del Pacífico, ya que en el caso de Tuvalu, ha rechazado que sus residentes soliciten un programa de migración. No obstante, el Gobierno Federal de aquel Estado está revisando como tratar el tema con esta nación y demás países que están enfrentando similares escenarios.²⁸¹

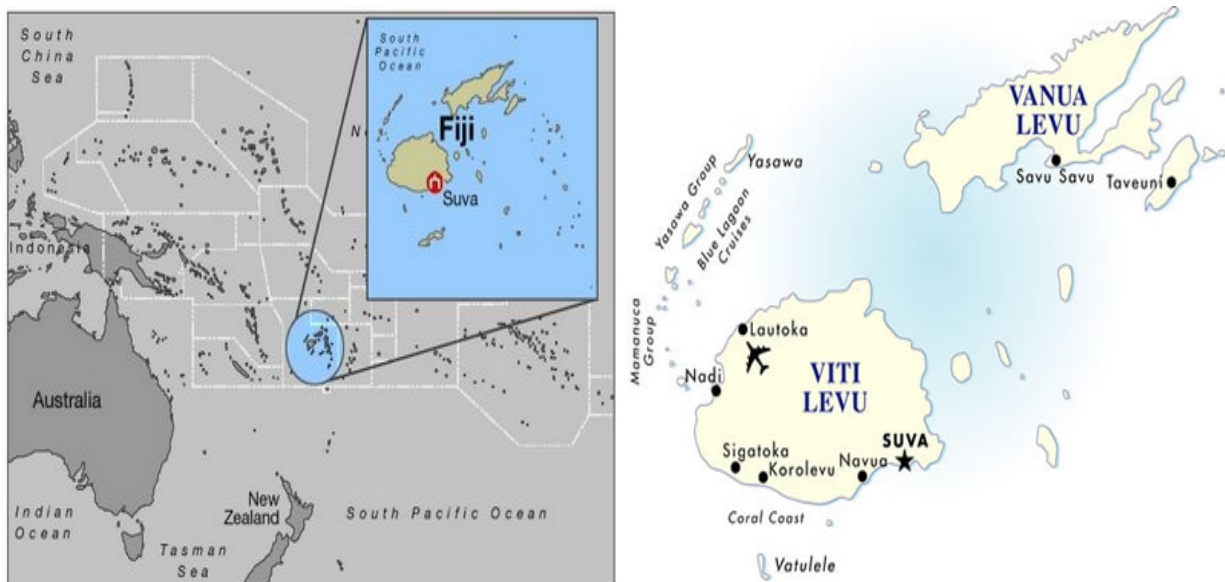
²⁷⁹ En los últimos años, tres cuartas partes de la cosecha se han perdido, lo que los ha obligado a depender de los alimentos importados. SEMARNAT, *op. cit.* p. 178.

²⁸⁰ *Idem*

²⁸¹ Holley Ralston, *op. cit.* pp. 14-15.

Fiji, otro estado miembro de AOSIS, está padeciendo los mismos estragos que Tuvalu y demás naciones vecinas. Con un área de 10.389 km², y con una población de 772.655 habitantes,²⁸² Viti Levu es la mayor de las 332 islas de Fiji situadas en el Océano Pacífico (aproximadamente 110 islas son habitadas). La mayor concentración de población (el 77% reside en Viti Levu), urbes, industria y centros turísticos se ubican en esta isla. Sin embargo, factores como la pobreza, el incremento poblacional, contaminación, deforestación, erosión del suelo, desarrollo costero, y la creciente sobreexplotación y dependencia de sus recursos naturales y costeros están amenazando su integridad y existencia misma.

UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE FIJI



Fuente: <http://www.easyviajar.com/fiji>
[consulta: 17 de agosto de 2010]

Otros factores como el creciente nivel del mar (un gran porcentaje de su línea costera se está sumergiendo), ciclones tropicales, inundaciones, sequías (frecuentemente asociadas con ENSO) y emblanquecimientos coralinos están empeorando su situación. Además, el esparcimiento de enfermedades a causa de peces que se han alimentado de algas tóxicas que crecen después de las tormentas ya está cobrando miles de vidas humanas.²⁸³ El Banco Mundial predice que las pérdidas

²⁸² Fiji tiene un área total de 18.274 km² y una población de 883.125 habitantes (est. julio 2011). Central Intelligence Agency. The World Factbook. *Fiji* [en línea], *op. cit.*

²⁸³ Se prevé que para el año 2050 el nivel de personas enfermas se elevará de 50 mil a 300 mil. *Idem.*

económicas anuales para 2050 serán de 23-52 millones de dólares al año tan sólo en su isla más grande.²⁸⁴

Esta isla tiene cerca de 23.500 áreas de manglares y 150.000 hectáreas de arrecifes coralinos. Estos últimos han sido degradados en casi toda su totalidad, a causa de los episodios de blanqueamiento observados en 1998 y abril del año 2000, estimándose que muchas especies coralinas no serán capaces de adaptarse lo suficientemente rápido a los nuevos cambios de temperatura. Ha sido tanto el daño causado en esta área, que los buzos provenientes de varias partes del mundo salen decepcionados porque ya no hay nada atractivo que ver; sólo señalan que de haber visto en años anteriores hermosos colores, ahora todo se torna blanco. A causa del impacto del cambio climático en estos hábitats, se estiman pérdidas de entre 5 y 14 millones de dólares anuales para el año 2050, tan sólo para la industria pesquera y turística.²⁸⁵ Otras áreas que también están pasando por similares eventos se encuentran en regiones del Caribe. Echemos un vistazo.

3.3. El Caribe y el Sistema Arrecifal Mesoamericano.

El área que se conoce como “El Caribe”, se extiende frente a las costas tropicales del continente americano y continúa a lo largo del arco de islas del Mar Caribe y el Océano Atlántico (esta franja mide aproximadamente 8000 kms de anchura y 2000 de longitud).²⁸⁶ Es una de las zonas coralinas más ricas del Atlántico, en la cual se encuentran más de 600 especies de peces (los peces más característicos de estas aguas son los peces ángel) y casi un centenar de corales diferentes, originados en tiempos relativamente recientes (hace 10 millones de años aproximadamente). Cabe destacar que las altas tasas de sedimentación originarias de los ríos Orinoco y Amazonas, así como las corrientes frías limitan severamente su distribución a lo largo

²⁸⁴ Banco Mundial. *Ciudades, Mar y Tormentas: Manejando el cambio en las economías de la Isla del Pacífico. Volumen IV. Versión de Resumen de Adaptándose al Cambio Climático.* [en línea]. Unidad de Papua Nueva Guinea y la Isla del Pacífico. Washington D.C., 2000 [consulta: 16 de junio de 2010].

²⁸⁵ S/a. *Chapter 3: Impact of Climate Change on a High Island Viti Levu, Fiji.* [en línea, pdf] Dirección URL: <http://siteresources.worldbank.org/intpacificislands/Resources/4-Chapter+3.pdf> [consulta: 10- mayo-2011], p. 8.

²⁸⁶ El Mar Caribe limita con Cuba al norte, con las Antillas al este, con Colombia y Venezuela al sur, y con América Central, con Belice, Honduras y Nicaragua al oeste. Kurt Amsler, *El Caribe. Guía de inmersiones*, Ediciones Tutor S.A., Madrid, 1997, p. 8.

de las costas del Atlántico. A pesar de ello, es una de las regiones marinas más fértiles y áreas pesqueras más productivas de nuestro Planeta.²⁸⁷

LA REGIÓN DEL CARIBE



Fuente: http://www.go.hrw.com/atlas/span_htm/caribbean.htm
[consulta: 10 de febrero de 2011]

Las formaciones coralinas del Caribe se extienden desde Florida a las Bahamas, pasando por Cuba, hasta Venezuela. El mar Caribe y las aguas del norte del mismo son mares coralinos como el Océano Índico y el Pacífico. Si bien, la temperatura del agua no desciende nunca a menos de 20°C, no se verifica la formación de barreras coralinas extensas ni atolones, debido a la falta de corales constructores de barreras madreporicas²⁸⁸ (salvo en el Sistema Arrecifal Mesoamericano, la segunda barrera coralina más larga del mundo, después de la GBA). Sin embargo, pueden encontrarse pequeñas comunidades coralinas o corales dispersos en diferentes áreas.²⁸⁹

Las comunidades coralinas del Caribe son una de las creaciones naturales antiguas más sorprendentes (en cualquier punto es posible adentrarse en cavernas

²⁸⁷ S/a. *El Caribe cuenta con el 7% de los arrecifes coralinos del Planeta* [en línea]. *op. cit.*

²⁸⁸ Relativo a las madreporas, cnidarios que desempeñan un papel determinante en la formación de los arrecifes coralinos. *Mi Pequeño Larousse Ilustrado, op. cit.* p. 625.

²⁸⁹ Las formaciones coralinas en el Mar Caribe se encuentran a lo largo de los bordes de las islas caribeñas, encontradas hasta en profundidades de 100 metros, aunque no en el número y extensión en que se distribuyen por el Pacífico Sur. Antonio Lot Helgueras y Manuel Lucena Salmoral, *El Caribe*, Capítulo 1V: El mar de las Antillas, Biblioteca Iberoamericana, Ediciones Anaya, S.A., Madrid, 1988, pp. 72-76.

totalmente sumergidas). El mundo submarino se representa por numerosas esponjas de color y gusanos de mar, que se distinguen por la variedad infinita de sus formas y colores (en muchas de sus áreas, las gorgonias son los organismos predominantes que dominan amplias áreas con sus abanicos de variadas ramificaciones, y pueden encontrarse entre los 3 y 20 metros de profundidad, además de corales cuernos de ciervo y corales cerebro).²⁹⁰ Para muchas comunidades caribeñas, los corales representan una importante fuente de ingresos, especialmente la pesca comercial e industria turística (en América Latina y el Caribe 60 de las 77 principales ciudades son costeras). A continuación realizaremos un recorrido por algunos países e islas caribeñas que cuentan con áreas coralinas.

Los corales de la Bahía Discovery en Jamaica, así como de Belice y Nicaragua están dentro de los mejores conocidos de la región. En Jamaica, la combinación de factores como la contaminación, la sedimentación, sobrepesca²⁹¹ y enfermedades coralinas se han encargado de degradarlos casi en su totalidad por muchas décadas. Belice, a pesar de ser un país pequeño ubicado sobre la costa caribeña de América Central, que se extiende sobre una superficie de 23.000 km², cuenta con una de las cadenas arrecifales más extensas, cuya principal amenaza son los huracanes.²⁹² A lo largo de toda la línea costera de Nicaragua se hallan corales, especialmente en Cayo Misquitia al norte del país.²⁹³

La isla mexicana de Cozumel se encuentra a 12 kms de la costa noreste de la península de Yucatán. Es una pequeña isla que mide sólo 47 kms de longitud y 15 de ancho. Es la más grande de las 3 islas (las otras son Isla Mujeres y Contoy), halladas frente a la costa noreste de México. El mundo submarino de Cozumel forma parte de la barrera coralina de Belice que se extiende a lo largo de 320 kms (sus arrecifes más representativos lo conforman el Arrecife de Santa Rosas, y el Arrecife de Palancar). Guatemala y el Salvador sólo cuentan con pequeñas comunidades coralinas que no han sido estudiadas a fondo. En Honduras, algunas comunidades coralinas se han desarrollado en áreas de Puerto de Cortés, Cayos Cochino,²⁹⁴ Ceiba y Trujillo.

²⁹⁰ Kurt Amsler, *op. cit.* p. 9.

²⁹¹ La pérdida de peces herbívoros ha sido responsable de grandes pérdidas de corales alrededor de Jamaica.

²⁹² Al este, se encuentran 3 de sus principales atolones: Islas Turneffe, Arrecife Lighthouse y Arrecife Glover.

²⁹³ Kurt Amsler, *op. cit.* pp. 86-87.

²⁹⁴ La Reserva Biológica de Cayos Cochino es una de las áreas protegidas de Honduras más grande de la región.

Las islas Bahamas se encuentran en el noreste del Atlántico. La gran Bahama es la mayor de las 700 islas y los 2500 cayos, que mide unos 130 kms de longitud y 15 de ancho (este archipiélago se extiende desde los 111 kms. al este de la costa de Florida, llegando hasta Cuba). Los Cayos de Florida forman un archipiélago de más de 200 islas, que se extienden del noreste hacia el suroeste, con una longitud de 213 kms. Uno de sus arrecifes más importantes es el de Mollasses. Cuba, tierra de historia y leyenda cuenta con 7 mil kms de costa y 300 de playas. Su posición geográfica proporciona una riqueza de vida inigualable. Los arrecifes que rodean la isla, junto con sus archipiélagos, bordean más de la mitad de su línea costera.²⁹⁵

Las islas Caimán se encuentran a 890 kms. al sur de Miami, entre Cuba y América Central. Al igual que Cuba, cuentan con extensas áreas coralinas. En Haití, la segunda isla más grande del Caribe se encuentra una pequeña área arrecifal que rodea su capital, Puerto Príncipe, de la cual se sabe muy poco. Puerto Rico también tiene formaciones coralinas en la costa sur, este y suroeste. Su costa norte carece de arrecifes, debido a la desembocadura de grandes ríos que traen consigo grandes cantidades de sedimentos debido a los altos índices de deforestación. En Barbados y Granada sólo abunda una pequeña franja de arrecifes en la costa oeste que está siendo amenazada principalmente por la intensificación de las prácticas agrícolas.²⁹⁶

En Trinidad, los grandes volúmenes de sedimentos del Río Orinoco que desemboca en el este y sur, crean condiciones poco favorables para el desarrollo de corales. Tobago, que cuenta con pocas comunidades coralinas al norte ha sido afectado principalmente por el impacto de la industria turística que provoca numerosas degradaciones en sus arrecifes costeros. Colombia, que comparte parte de su línea costera con el Caribe ha padecido degradaciones en sus arrecifes de Cartagena, Santa Marta y las Islas del Rosario.²⁹⁷

Visto como un destino paradisiaco para millones de visitantes, desafortunadamente está siendo sujeto de múltiples estreses inducidos por el ser humano. La contaminación local, industrial y agrícola, la sobrepesca, los desechos

²⁹⁵ Kurt Amsler, *op. cit.* p. 12.

²⁹⁶ *Ibidem*, p. 76.

²⁹⁷ S/a. *El Caribe cuenta con el 7% de los arrecifes coralinos del Planeta* [en línea]. *op. cit.*

generados por turistas nacionales y extranjeros,²⁹⁸ tórridas tormentas, el calentamiento global, y otro tipo de agentes están socavando la salud de los arrecifes. En esta zona se han presentado severas pérdidas coralinas, debido a la incidencia de enfermedades coralinas (alrededor del mundo se han descrito numerosas enfermedades en 106 especies de corales en 54 países).²⁹⁹ En el Caribe, el año 2005 fue el más caluroso desde 1880. Las temperaturas anormalmente altas de la superficie del mar en ese año generaron el blanqueamiento y “pérdida masiva de coral”. Afortunadamente, algunas especies coralinas pudieron recuperarse. A pesar de que las actividades humanas siguen aumentando en muchas de sus áreas, los esfuerzos conservacionistas están logrando resultados positivos.

Dentro del Mar Caribe, yace la primera área arrecifal más grande de su género, y la segunda barrera arrecifal más grande del mundo después de la GBA: el Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM), un ecosistema que se extiende desde el noreste de la Península de Yucatán en México, Belice y Guatemala, hasta las islas de la Bahía, en Honduras, a lo largo de 1000 kms sobre la costa, cuya diversidad biológica comprende, además de arrecifes coralinos, cayos, islas, ríos y lagunas, pastos marinos,³⁰⁰ bosques de manglares, estuarios y humedales costeros.³⁰¹

En el marco del Año Internacional de los Arrecifes, el 5 de junio de 1997 nace el concepto de SAM. Los líderes de los cuatro países se reunieron en Tulum, México, donde firmaron la Declaración de Tulum, dentro de la cual adoptaron la “Iniciativa de los Sistemas Arrecifales del Caribe Mesoamericano”, en la que se comprometían a promover la conservación del sistema arrecifal, a través de su uso sustentable.³⁰² La Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD), conformada por los Ministros de Medio Ambiente de los siete países centroamericanos³⁰³ y México, que

²⁹⁸ Los sistemas arrecifales de países como Jamaica, Barbados y Haití han sido degradados por la suciedad de las playas y vertidos de todo tipo de desechos.

²⁹⁹ El Caribe es una zona que está perdiendo extensas áreas de corales, aproximadamente cuatro quintas partes de su totalidad. Harry Rothman, *op. cit.* p. 266.

³⁰⁰ Existen aproximadamente 59 especies a nivel mundial de pastos marinos, ya sea en aguas frías o templadas, y de éstos, 7 viven en la región del SAM.

³⁰¹ M. García-Salgado, *Proyecto para la Conservación y Uso Sostenible del Sistema Arrecifal Mesoamericano*. Línea Base del estado del SAM, diciembre de 2006, [en línea, pdf], Dirección URL: <http://www.ccad.ws/documentos/proyectos/SAM/PMSlineabase.pdf> [consulta: 4 de diciembre de 2010].

³⁰² Juan Carlos Vera, *Sistema Arrecifal Mesoamericano*, SEMARNAT, 16 de noviembre de 2010, [en línea], Dirección URL: <http://www.semarnat.gob.mx/temas/internacional/fronterasur/Paginas/SAM.aspx> [consulta: 17 de diciembre de 2011].

³⁰³ Belice, Guatemala, Honduras, el Salvador, Nicaragua, Costa Rica y Panamá.

fungió como observador, solicitó al Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF, por sus siglas en inglés), a través del Banco Mundial, el apoyo para el diseño e implementación de un Plan de Acción para el manejo efectivo del SAM, dando lugar a la creación del Proyecto para la Conservación y Uso Sostenible del SAM, con el objetivo de “determinar el estado de salud de los arrecifes coralinos y ecosistemas asociados y mejorar su protección, mediante la coordinación de políticas nacionales”.³⁰⁴ En 2001 se lleva a cabo la primera fase del Proyecto SAM y en 2007 finaliza, luego de 6 años de diversos esfuerzos regionales. Este Proyecto establece el Programa de Monitoreo del SAM que pretende mejorar el manejo de sus recursos naturales.³⁰⁵ Además, administra una base de datos, denominada Sistema Regional de Información Ambiental (SRIA), que es parte fundamental del Programa de Monitoreo (el monitoreo se realiza en todos los sitios, por lo menos una vez al año y proporciona una base sólida de información científica para su manejo).³⁰⁶

El área enmarcada corresponde a la región del SAM.



Fuente: Programa Liderazgo SAM. <http://www.liderazgosam.org/informacion-general/> [consulta: 4 de diciembre de 2010].

³⁰⁴ S/a. “Finaliza Primera Fase del Proyecto Sistema Arrecifal Mesoamericano”, Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo, 30 de junio de 2007 [en línea], Dirección URL: <http://www.sica.int/busqueda/Noticias/medioambiente.aspx> [consulta: 15 de enero de 2011].

³⁰⁵ Esta región alberga más de 65 especies coralinas y más de 500 especies de peces, entre las cuales se hallan los peces cirujano, peces ángel y peces mariposa.

³⁰⁶ El Proyecto SAM es promovido por instituciones, donadores y socios de cada una de los países miembros del SAM, además del apoyo de ONGs ambientales.

El SAM es la principal fuente de ingresos para los 2 millones de personas que viven en áreas costeras. No obstante, los niveles de presión en esta área están aumentando, debido a diversas fuentes antropogénicas como contaminación marina (este agente se ha convertido en una de las principales amenazas para la salud y estabilidad del SAM), desarrollo costero, sobrepesca, sedimentación, aumento de nutrientes (fertilizantes y aguas residuales), actividades agrícolas (plaguicidas y pesticidas), uso de embarcaciones (encallamientos, anclado y vertimiento de hidrocarburos), así como el incremento acelerado de actividades turísticas (la industria del crucero es la fuente de contaminación más importante en la región del SAM, ya que diariamente se vierten al mar diferentes tipos de desechos). Además, está siendo sujeto de episodios de altas temperaturas, tormentas y huracanes, blanqueamiento y enfermedades coralinas.³⁰⁷

Haciendo una revisión concisa sobre el estado actual de los arrecifes coralinos del SAM, el 40% de las colonias presenta niveles de mortalidad (el número de colonias que presentan mortalidad en los sitios va desde 0% hasta el 98%). Las localidades que presentan altos porcentajes de mortalidad en corales son Cozumel, Banco Chinchorro y Xcalak en Yucatán, y Bacalar Chico, Cayo Caulker y Cayo Sapodilla en Belice. El 0.37% de las colonias de coral del SAM presentan algún tipo de enfermedad coralina, con niveles que pueden ir de 0% hasta el 10% de las colonias (las enfermedades más frecuentes son la plaga blanca, la plaga negra y la banda amarilla).³⁰⁸

En el caso del emblanqueamiento coralino, los primeros brotes comenzaron en 1998. Los eventos ocurridos en 2005 (huracán Wilma y Emily) removieron algas que afectaban el desarrollo coralino. Sin embargo, los índices de blanqueamiento aumentaron, aunque algunas colonias coralinas pudieron recuperarse y regresar a sus patrones normales. Hoy en día, el 10% de las colonias coralinas del SAM han presentado algún grado de blanqueamiento, cuya variación va desde el 0% hasta el 38% de las colonias. Los monitoreos en el área son realizados en periodos que

³⁰⁷ Desde 1980, el SAM ha perdido el 50% de su cobertura, mientras que a escala mundial ha desaparecido el 19% de la superficie, debido a actividades antropogénicas principalmente. Angélica Enciso L., “*Destruido en 29 años, 50% del Sistema Arrecifal Mesoamericano*”, 14 de abril de 2009 [en línea], Dirección URL: <http://www.jornada.unam.mx/2009/04/14/index.php> [consulta: 13 de marzo de 2011].

³⁰⁸ M. García-Salgado, *op. cit.* pp. 64-66.

presentan altos niveles de temperatura del mar, y en la mayoría de las regiones de este sistema arrecifal, los índices de blanqueamiento no son alarmantes.³⁰⁹

En mayo de 2010 se realizó un Taller de Capacitación Regional sobre Áreas Marinas Protegidas (AMPs), cuyo propósito fue definir prioridades y mejorar las investigaciones y esfuerzos de conservación, además de conformar una red de Áreas Naturales Protegidas en la región del SAM. Ya en 1996, la zona de arrecifes ubicada frente a la costa de Cozumel había sido declarada Parque Marino Nacional, restringiendo la pesca (en esta área se ha reportado una mayor abundancia y riqueza de especies marinas de gran importancia comercial), y más tarde, en 2003, Belice prohibía la pesca en 11 de los 13 sitios de desove, un paso importante para diversas especies marinas en peligro de extinción.³¹⁰

Actualmente, han aumentado el número de AMPs en toda la región del SAM. En México, la Isla Contoy, Isla Mujeres, Punta Cancún, Punta Nizuc, Puerto Morelos, Sian Ka'an, Banco Chinchorro, Xcalak, entre otras, han sido declaradas áreas protegidas en gran parte de sus zonas. En Belice, el arrecife Glover, Bacalar Chico y Cayo Sapodilla son las AMPs más representativas. En Guatemala-Honduras, Punta de Manabique, Utila, Roatán y Cayos Cochinos también son parte de AMPs.³¹¹ Hoy en día, los líderes de los cuatro países, junto con un gran equipo conservacionista siguen trabajando para lograr los objetivos planteados. Cabe destacar que en el SAM, organizaciones ambientales como la WWF contribuyen en la conservación de la región, poniendo en marcha acciones estratégicas, cuyos propósitos son: reducir la contaminación de las aguas costeras, desarrollar alianzas estratégicas con grandes empresas para reducir los afluentes de contaminantes, promover el turismo sustentable, consolidar un Sistema Regional de Áreas Protegidas, entre otros (hace más de 10 años que este Fondo trabaja con el SAM).³¹²

México cuenta con una vasta diversidad biológica, que habita en nuestros ecosistemas, llámense bosques, selvas, mares, desiertos o humedales. Sin embargo, ocupamos los primeros lugares a nivel mundial en la destrucción y pérdida de éstos, a

³⁰⁹ *Ibidem*, p. 70.

³¹⁰ S/a, *Sistema Arrecifal Mesoamericano: todo está conectado*, Healthy Reefs, 21 de mayo de 2010, [en línea], Dirección URL: <http://www.bionero.org/ciencia/sistema-arrecifal-mesoamericano> [7 de febrero de 2011].

³¹¹ Jorge Cortés, *Latin American Coral Reefs-The Atlantic Coral Reefs of Mexico*. Elsevier Science B.V., Universidad de Costa Rica, San Pedro, Costa Rica, 2003, pp. 153-154.

³¹² Gilda Aburto, *Sistema Arrecifal Mesoamericano: una ecorregión internacional*, WWF [en línea], Dirección URL: http://www.wwfca.org/about/ecorregiones/arrecife_mesoamericano/ [consulta: 19 de octubre de 2010].

causa de las actividades humanas. Tres sistemas arrecifales, ubicados en distintas coordenadas geográficas se concentran en nuestro país. El primero se encuentra en la bahía de Cabo Pulmo, Baja California Sur (arrecifes del mar de Cortés); el segundo se ubica en las costas de Veracruz, mejor conocido como el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV); y la tercera y última barrera arrecifal situada al norte de Quintana Roo, lo constituye el Arrecife Maya.³¹³ Desafortunadamente, el SAV es la comunidad coralina más dañada por el hombre.

3.4. El Sistema Arrecifal Veracruzano.

Veracruz se caracteriza por ser un Estado de riqueza histórica y ecológica. Al igual que en el Caribe, un sinnúmero de amenazas se conjugan para hacer de éste, un paraíso de amenaza constante. En la región, se encuentra el sistema arrecifal más extenso del Golfo de México, mejor conocido como SAV, con una superficie de 52.238 hectáreas. Está formado por un grupo de 5 islas, playas, bajos y 23 arrecifes. El sistema incluye dos áreas geográficamente separadas, delimitadas por la desembocadura del río Jamapa. La primera, se encuentra frente a las costas del Puerto de Veracruz y Boca del Río (6 arrecifes se localizan en esta área) y la segunda, ubicada frente al poblado de Antón Lizardo, municipio de Alvarado (17 arrecifes en éste).³¹⁴

Una de sus principales características es el desarrollo de especies de corales como el coral cuerno de alce, coral cuerno de ciervo y coral cerebro, además de una infinidad de plantas como los pastos marinos que pueden llegar a medir hasta 30 cm. de altura (se calcula que en el SAV hay más de 256 especies de peces y 85 especies de familias de corales). Es un lugar paradisíaco lleno de historia y misterio, ya que en el caso del SAV numerosos prodigios arqueológicos y restos de basamentos antiguos han sido encontrados en las profundidades del mar, lo que lo hace aún más atractivo.³¹⁵

El puerto de Veracruz es un punto estratégico en las actividades comerciales, industriales y de tránsito, concentrando actividades metalúrgicas, textiles, tabacaleras y azucareras principalmente. La constante transformación, inducida por la acelerada urbanización y construcción de puertos; la carga y descarga de sólidos, así como la

³¹³ Jorge Cortés, *op. cit.* pp. 131-136.

³¹⁴ Subsecretaría de Medio Ambiente. *Sistema Arrecifal Veracruzano* [en línea]. Áreas Naturales Protegidas de Veracruz. Editora del Gobierno del estado de Veracruz, México, 2000. Dirección URL: <http://www.veracruz.gob.mx/pls/portal/url> [consulta: 18 de octubre de 2010].

³¹⁵ *Idem.*

contaminación de aguas residuales provenientes de los municipios de Veracruz cercanos al puerto como Boca del Río y Alvarado; el uso inadecuado de anclas; la colisión de embarcaciones; la sobrepesca y sobreexplotación de sus recursos, aunado a la constante demanda de corales y conchas para adorno de joyería y/o artesanía, y la extracción del coral como material de construcción (en Veracruz, no rige normatividad alguna que obstaculice dichas actividades); la desembocadura de importantes ríos como el Jamapa y Papaloapan; la sedimentación; las actividades turísticas; el buceo irresponsable; el crecimiento demográfico; los huracanes y durante los últimos años, una nueva amenaza: el cambio climático, todo ello, aunado con una sociedad desinformada y/o desinteresada provoca que los corales del SAV disminuyan su grado de supervivencia, y por ende, sus aguas se vuelvan turbias y poco transparentes.³¹⁶

En los últimos 20 años, la temperatura en Veracruz aumentó apenas medio grado, lo suficientemente vasto para afectar la estructura cálcica del coral. Para aminorar el daño sobre el arrecife, es urgente planear un enfoque ecológico, ya que en los próximos años el puerto crecerá al doble. Estudios de la Universidad Veracruzana (UV) y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), revelan que más del 40% de los arrecifes de coral del SAV ya presentan algún daño.³¹⁷ A causa del alto deterioro ambiental del SAV, el 24 de agosto de 1992, el entonces Presidente Carlos Salinas de Gortari lo decreta oficialmente como Parque Marino Nacional, convirtiéndose en la Primer Área Natural Protegida de México de este rubro, encaminada a la conservación y uso sustentable de los recursos naturales.³¹⁸

³¹⁶ S/a, “Amenaza desaparición a Parque Arrecifal Veracruzano”, [en línea], Noticias de Veracruz, Solución Política- Sección/ Noticias/locales, 8 de mayo de 2011. Dirección URL: <http://www.solucionpolitica.com/amenaza-desaparición-a-parque-arrecifal-veracruzano/> [consulta: 16 de mayo de 2011].

³¹⁷ Oved Contreras, “Dañado, 40% del SAV” [en línea], México, Diario de Xalapa, 14 de agosto de 2009. Dirección URL: <http://www.oem.com.mx/esto/notas/n1284243.htm> [consultado el día 08 de septiembre de 2010].

³¹⁸ Instituto Nacional de Ecología. *Parque Marino Nacional SAV* [en línea]. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Última Actualización: 15 de noviembre de 2007. Dirección URL: <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/2/sav.html> [fecha de consulta: 03 de noviembre de 2010].

El área marcada de color azul comprende el Parque Marino Nacional del SAV



Fuente: <http://www.ecosur.mx/corales/imagenes/SAV.jpg>
[consulta: 6 de mayo de 2011]

Pese a severas amenazas, actualmente el SAV ha logrado ciertos resultados positivos. Desde el año 2006, se iniciaron acciones encaminadas a la restauración de algunas zonas arrecifales como labores de limpieza en playas del SAV. Además, cuenta con una planta de tratamiento de aguas negras, aunque es insuficiente, ya que la cantidad de desechos es tanta, que una sola no puede realizar todo el trabajo. La protección de estas invaluable fuentes de vida, ha contribuido a evitar el saqueo desmedido de corales y la sobreexplotación irracional de sus recursos. Hoy en día, la educación ambiental se ha convertido en el punto crucial para la protección de éste. No obstante, las medidas conservacionistas siguen siendo insuficientes.

4. Protegiendo a los arrecifes de coral

4.1. Protecciones internacionales a los arrecifes coralinos.

Las autoridades gubernamentales están cada vez más preocupadas por el rápido decline de los arrecifes coralinos. Una variedad de instrumentos legales internacionales brindan directa e indirectamente protección a éstos. La Convención sobre el Derecho del Mar de Naciones Unidas (UNCLOS, por sus siglas en inglés) proporciona la protección más general a los arrecifes coralinos, a través de su requerimiento en preservar y proteger los hábitats marinos. La Agenda 21, adoptada 10 años después, y construida sobre UNCLOS, identifica a los corales como un área de alta prioridad, permitiendo la creación de la Iniciativa Internacional de los Arrecifes Coralinos (ICRI, por sus siglas en inglés), un grupo de trabajo internacional que trabaja para su preservación. La Convención sobre la Diversidad Biológica (CBD, por sus siglas en inglés) proporciona un marco en su conservación, debido a su alta diversidad biológica. La Convención de Herencia Mundial ha nombrado 10 Sitios de Herencia Mundial, permitiendo más protecciones legales a éstos. Finalmente, la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestres (CITES, por sus siglas en inglés) proporciona otro nivel de protección, aunque sólo regula algunas especies coralinas.³¹⁹

* *Convención sobre el Derecho del Mar de Naciones Unidas (UNCLOS).*-

UNCLOS, creada en 1982, y conformada por 320 artículos, es la principal Convención que trata temas relacionados a los océanos y sus recursos, señalando en su preámbulo que entre sus principales objetivos es el “estudio, protección, y preservación del ambiente marino”.³²⁰ En este documento, los arrecifes son específicamente mencionados en el Artículo 6, estableciendo el caso de islas situadas en atolones o islas bordeadas por arrecifes en el Estado ribereño.³²¹ Sin embargo, UNCLOS no proporciona mucha protección a éstos, ya que los arrecifes se encuentran dentro de las aguas internas del Estado, y por ende no hay estatuto jurídico que los

³¹⁹ William F. Precht, *Coral Reef Restoration Handbook*, Chapter 8: Legal Protections for Coral Reefs, CRS Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida, 2006, p. 151.

³²⁰ Oceans and Law of the Sea. *Themes: Oceans and Climate Change* [en línea], 13 de septiembre de 2010. Dirección URL: <http://www.un.org/Depts/los/> [consulta: 4 de octubre de 2010].

³²¹ CONVEMAR. *Sección 2: Límites del Mar Territorial-Art. 6. Arrecifes*. [en línea, pdf,] Dirección URL: http://www.un.org/Depts/los/convention_agreements/texts/unclos/convemar_es.pdf. [consulta: 10 de junio de 2010].

preserve. Desafortunadamente, muchas naciones no la han ratificado, en parte por las controversias internacionales respecto a algunos temas tratados en ésta.

* *Agenda 21*.-

Diez años después de establecerse UNCLOS, más de 178 gobiernos adoptaron la Agenda 21, el plan de acción creado en la Cumbre de la Tierra de 1992. Esta Agenda reafirmó muchos de los objetivos de UNCLOS, reconociendo que, a pesar de los esfuerzos regionales, nacionales y globales, los enfoques actuales sobre el manejo de los recursos marinos y costeros no han logrado alcanzar un desarrollo sustentable. En su capítulo 15 titulado “Conservación de la Diversidad Biológica”, hace un llamado a la acción inmediata de proteger la diversidad biológica, un tema especialmente significativo para los arrecifes coralinos, debido a su alta biodiversidad. En su capítulo 17, establece protección a los corales y plantea un enfoque internacional integrado para su conservación y uso sustentable.³²² Para implementar este capítulo y otras convenciones internacionales, ICRI ha desarrollado “planes de acción” para todas las regiones del mundo, y hoy en día está trabajando con gobiernos y organizaciones nacionales para implementarlos. ICRI es una iniciativa relativamente nueva y seguirá trabajando en su conservación, esperando convertirse en una importante fuerza en su lucha por preservarlos.³²³

* *Convención sobre la Diversidad Biológica (CBD)*.-

La Cumbre de la Tierra de 1992, también creó la CBD.³²⁴ Este Convenio conformado por 42 artículos afirma que, “la conservación de la diversidad biológica es de común preocupación para la humanidad”.³²⁵ La CBD no se enfoca a ecosistemas específicos, pero proporciona la identificación y monitoreo de dos distintas categorías: ecosistemas y hábitats por un lado, y especies y comunidades por el otro, cada una de las cuales debe cumplir ciertos requisitos para ser consideradas como tales (contener una alta diversidad biológica; grandes números de especies endémicas o amenazadas;

³²² United Nations Conference on Environment and Development. *Agenda 21/Section II: Conservation and Management of Resources for Development/Article 17* [en línea, pdf], Río de Janeiro, Brazil, 3 to 14 June 1992, Dirección: <http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/english/Agenda21.pdf>. [consulta: 6 de julio 2010].

³²³ A través de ICRI, cerca de 80 países que cuentan con arrecifes coralinos están asociados con países donantes, agencias y bancos de desarrollo, asociaciones científicas, sector privado y ONGs para establecer las mejores estrategias en la conservación de éstos y sus recursos.

³²⁴ 192 países son parte de esta Convención. E.U. está entre los países que la han firmado, pero no ratificado, debido a su preocupación por los impactos de ésta sobre el uso de tierra y agricultura en éste.

³²⁵ Convenio sobre la Biodiversidad Biológica [en línea, pdf], Río de Janeiro, Brasil, 5 de junio de 1992. Dirección URL: <http://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf> [consulta: 4 de abril de 2010].

importancia social, económica, cultural y científica; entre otros). El propósito de estos criterios es asegurar que la CBD abarque todas las áreas posibles de biodiversidad.³²⁶

Los términos específicos de la Convención obligan a las Partes al cumplimiento de ciertas disposiciones, además de identificar y monitorear los componentes de la diversidad biológica. Éstas implican el establecimiento de Áreas Protegidas, uso sostenible de sus recursos biológicos, educación al público, y la facilitación al acceso de recursos genéticos para otros Estados. La CBD no contiene mecanismos de cumplimiento. Sin embargo, la Secretaría de la Convención explica que “el cumplimiento dependerá del interés propio, además de las presiones de otros países y la misma opinión pública”.³²⁷ Los países que ratifiquen la Convención deberán presentar reportes regulares e implementar dichas disposiciones, además de desarrollar estrategias y planes de acción en beneficio de la biodiversidad.

La causa de esta crisis ambiental es la propia mano del ser humano, y el incremento de su población, aunada con la destrucción de los hábitats naturales y la contaminación. “En circunstancias normales, los arrecifes pueden recuperarse dentro de pocas décadas. Hoy en día, los estreses naturales están aumentando por la actividad humana, y los corales están siendo constantemente degradados con menos oportunidades de regeneración”.³²⁸ La CBD reconoce la importancia de preservar la biodiversidad, a través de un marco que conserve los recursos biológicos esenciales para las presentes y futuras generaciones.

* *Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestres (CITES).*-

Mientras los Estados Unidos aún no eran parte de la CBD, fue el primer país en ratificar CITES en 1973, misma fecha de su suscripción (dos años después entra en vigor). Es un acuerdo internacional que aborda específicamente el problema del comercio internacional de especies amenazadas y/o en peligro de extinción. Hasta nuestros días, ha sido suscrita por 175 naciones, proporcionando varios grados de protección a aproximadamente 33 mil plantas y especies animales.³²⁹

³²⁶ *Idem.*

³²⁷ Convention on Biological Diversity [en línea]. 16 de marzo de 2009. Dirección URL: <http://www.cbd.int/TheConvention/Parties/ListofParties>. [consulta: 6 de marzo de 2010].

³²⁸ William Precht, *op. cit.* p. 156.

³²⁹ Portada Cites, United Nations Environment Program [en línea]. Dirección URL: <http://www.cites.org/esp/index.shtml/descubraCITES/paisesmiembros> [consulta: 12 de noviembre de 2009].

Hay aproximadamente 230 especies de coral listadas en la Base de datos de CITES.³³⁰ Esta Convención es importante para los arrecifes coralinos, ya que han sido sujeto del incremento en el comercio internacional, especialmente el coral rojo y rosa usado para múltiples propósitos en acuarios, decoración, joyas, recuerdos y piedras preciosas. CITES ha adquirido el compromiso de regular su venta, acordando que sólo será comercializado cuando no comprometa la reproducción de las especies (es posible que cualquier país que no haya firmado el acuerdo, hará caso omiso de esta regulación). Las grandes naciones exportadoras de corales son Indonesia, Fiji, Vietnam, y las islas Salomón. Irónicamente, mientras E.U. prohíbe o limita estrictamente la extracción del coral en sus propias aguas, éste importa del 70 al 80% del comercio internacional de coral vivo, y el 50% del muerto.³³¹

Bajo CITES, los países miembros acuerdan la prohibición del comercio internacional de especies en peligro de extinción, mediante tres apéndices, que definen el grado de protección. El Apéndice I incluye todas las especies que se encuentran en peligro de extinción. El Apéndice II incluye las especies que no necesariamente están en peligro de extinción, y el Apéndice III, le da la posibilidad a un país de proteger una especie en específico (CITES autoriza el comercio de especies listadas en los Apéndices II y III, siempre y cuando cumplan con ciertos criterios).

En el caso de los corales, algunas especies de coral pétreos como el coral negro, el coral azul y el coral fuego se encuentran en el Apéndice II (incluyendo a las almejas gigantes), requiriendo un permiso del país de origen para comerciallo (s) en el mercado internacional. Sin embargo, el cumplimiento de la Convención no siempre resulta exitoso. En algunos casos, los corales colectados en países donde la colección es ilegal (Filipinas), son frecuentemente exportados y vendidos bajo pretexto de haber sido colectados legalmente en un país diferente. Además, CITES no lista muchas otras especies de corales y demás habitantes de los arrecifes, que también constituyen una parte integral del ecosistema coralino (esponjas, caballitos de mar y/o estrellas de mar).³³² Otro problema de incumplimiento es la dificultad de identificar a los corales que son listados en los apéndices de CITES. Por ejemplo, CITES señala que, el comercio

³³⁰ TRAFFIC (Trade Record Analysis of Flora and Fauna in Commerce), establecida en 1976, es una ONG que se encarga de generar información sobre el comercio ilegal de especies, a través de la publicación de datos para dar cumplimiento a la Convención. Ésta y otras ONGs son herramientas esenciales en el trabajo de CITES. *Idem.*

³³¹ William Precht, *op. cit.* p. 157.

³³² *Idem.*

de corales y otros organismos marinos está incrementando, habiendo casos en los que se comercian sin los permisos necesarios o con permisos incorrectos. En conjunto, esta Convención es una herramienta útil que regula el comercio de sólo algunas especies coralinas, pero no protege al ecosistema entero.

* *Convención de Naciones Unidas concerniente a la Protección de la Herencia del Mundo Natural y Cultural.*

Esta Convención establecida el 23 de noviembre de 1972 por la UNESCO señala que, “la herencia del mundo natural y cultural es cada vez más amenazada por la destrucción del hombre”, y que “su desaparición o deterioro constituye un empobrecimiento perjudicial de la herencia de todas las naciones del mundo”.³³³ La Convención define a la “herencia natural” como “una formación física y biológica de destacado valor universal desde un punto de vista estético o científico”. Bajo esta Convención, su Comité Intergubernamental mantiene una “Lista de Herencia Mundial”, con el consentimiento del Estado concerniente (en 2004, ya eran 154 hábitats naturales en la Lista de Herencia Mundial). Diez de estos sitios contienen arrecifes coralinos. Tres en Australia, incluyendo la GBA, y dos en Indonesia. Países como Belice, México, Filipinas, Estados Unidos y Seychelles cuentan con un sitio de arrecifes coralinos, de acuerdo con el PNUMA.

UNESCO debe ampliar la protección de los arrecifes, añadiendo más ecosistemas coralinos en peligro de extinción a la Lista de Herencia Mundial como lo señala su Convención en el Artículo 11.³³⁴ PNUMA ya ha identificado varias áreas coralinas que podrían ser agregadas a esta Lista, incluyendo los arrecifes que se encuentran en el Mar Rojo, el Océano Índico, Bahamas y Fiji. Deben incorporarse a ésta, los resultados de los estudios internacionales titulados “Arrecifes en Riesgo”, debido a su alto grado de amenaza por la actividad humana. El Programa de Herencia Mundial de la UNESCO ya ha identificado una gran variedad de amenazas a otros ecosistemas, y dado que éstos son los segundos ecosistemas más diversos del

³³³ El objetivo de esta Convención es “identificar, estudiar y salvaguardar monumentos, conjuntos, lugares, – obras del hombre y de la naturaleza– que tuvieran un excepcional valor desde el punto de vista histórico, artístico, científico, naturalista, arqueológico o antropológico.” Marco Cattaneo, *op. cit.* p. 15.

³³⁴ “La amenaza o desaparición causada por la acelerada deterioración; los proyectos de desarrollo turístico; la destrucción causada por los cambios en el uso o propiedad de tierra; u otras principales alteraciones debido a casos desconocidos debe ser incluido en la Lista de Herencia Mundial”.

Planeta, UNESCO debe darles una prioridad igual (con la designación de más sitios, podrá salvarse su herencia natural).

* *Otros instrumentos legales.*-

Estados Unidos cuenta con el 3% de arrecifes coralinos a nivel mundial. De este porcentaje, el 70% está localizado en Hawai.³³⁵ Los programas de santuarios marinos nacionales son insuficientes. Éstos necesitan ser coordinados con esfuerzos entre las autoridades locales, estatales y federales. Las actividades que se celebraron en 1997 impulsaron a que en el año siguiente se estableciera el “Grupo de Trabajo sobre los Arrecifes Coralinos,” (CRTF, por sus siglas en inglés), sirviendo de impulso para la aprobación de la Ley de Conservación de los Arrecifes de Coral en el año 2000.

En 1998, el Presidente Bill Clinton decreta la Orden Ejecutiva 13,089 titulada “La Protección al Arrecife de Coral”, que a su vez crea el CRTF, cuyas responsabilidades son: coordinar los esfuerzos de monitoreo de todos los arrecifes coralinos de E.U.; investigar las causas y determinar soluciones en la degradación de éstos; reducir y mitigar la degradación de los arrecifes por contaminación, sobrepesca, y otras causas; e implementar estrategias que promuevan la conservación y uso sostenible de éstos a nivel mundial, mediante la asociación del gobierno, sociedad e intereses comerciales, designando esfuerzos de “educación, manejo, monitoreo, investigación, y restauración”.³³⁶ Como principal miembro del CRTF, y dirigido por el Acta de Conservación del Arrecife de Coral del año 2000, el NOAA es el organismo responsable de conservarlos. Los esfuerzos de esta última son llevados a cabo mediante el Programa de Conservación del Arrecife de Coral (CRCP, por sus siglas en inglés). Bajo este Programa, NOAA trabaja con organizaciones gubernamentales, no gubernamentales, científicas y privadas para lograr los objetivos de la CRTF.³³⁷

Usando la alta resolución de imágenes satelitales, y la tecnología del Satélite de Posicionamiento Global (GPS, por sus siglas en inglés), NOAA ha realizado mapas digitales a detalle de los arrecifes de Puerto Rico, las Islas Vírgenes de E.U. y las ocho principales islas de Hawai. La tecnología satelital es también usada para detectar el florecimiento de algas nocivas que puedan asfixiar a los corales, además de monitorear las temperaturas elevadas del mar, en caso de que así fuera. NOAA también monitorea

³³⁵ *Ibidem*, p. 146.

³³⁶ *Ibidem*, p. 149.

³³⁷ Science Education Resource Center, *op. cit.* p. 15

a los arrecifes usando el Sistema de Advertencia Temprana que consiste en el despliegue de medidas que calculan la temperatura del aire, la dirección y velocidad del viento, la salinidad, los niveles de las mareas, entre otras. Cada hora, estos datos son transmitidos a los científicos para ayudarles a entender las condiciones que puedan causar el blanqueamiento de los corales.

NOAA también realiza proyectos de investigación, evaluación y restauración encaminados a su conservación en reservas marinas, además de trabajar para la remoción de toneladas de desechos en los sitios ya aludidos. Otro enfoque para conservar a los arrecifes es proteger especies específicas de coral bajo el Acta de Especies en Peligro de Extinción (ESA, por sus siglas en inglés). Mientras ESA incluye numerosas criaturas como tortugas marinas y especies de peces, los corales no han sido agregados a la Lista Federal de ESA. En 2001, el Servicio de Industrias Pesqueras Marinas Nacionales (NMFS, por sus siglas en inglés) consideró agregar dos especies de coral encontradas en el Caribe a la lista de ESA: el coral cuernos de ciervo y el coral cuernos de alce, ya que cerca del 40% de estas especies han desaparecido durante las dos últimas décadas debido al peligro de los huracanes, enfermedades del coral, sedimentación y otros factores.

Las Convenciones y regulaciones ambientales anteriormente citadas, nos dan una idea más clara acerca de la labor a nivel internacional que se está realizando para su preservación. Los estándares establecidos cumplen ciertos parámetros que pueden ayudar en su protección a largo plazo. Sin embargo, las medidas conservacionistas y con baja capacidad de acción aún son vagas, en el sentido de que no profundizan en su pleno cuidado. En el caso de la CBD, habría que hacer algo para crear una agencia especializada, dirigida específicamente a los arrecifes coralinos; en el caso de CITES, estos ecosistemas deberían ser listados en el Apéndice I, debido a que muchas especies coralinas se encuentran en peligro de extinción; en el caso de los Sitios de Herencia Mundial, los marcos de protección deben extenderse a más áreas arrecifales e incluirse a su Lista.

Se necesitan acciones inmediatas y de fondo. Al respecto, la cooperación financiera internacional, así como la asistencia técnica por parte de expertos en la materia también resultan piezas claves en los trabajos de dichos instrumentos. Debe avanzarse también hacia una organización ambiental global que defina el rumbo de

cada una de las regulaciones ambientales existentes. Han habido evidentes avances globales en materia de protección ambiental, causados en razón de la preocupación que genera la escasez de recursos naturales. No obstante, aún falta un largo camino por recorrer, sobre todo cuando se acrecientan los problemas ambientales que aquejan al Planeta, cada vez más sometido a la presión del crecimiento poblacional y del consumo de recursos y energía. A pesar de los esfuerzos dirigidos a su preservación, no hay un tratado internacional específicamente dirigido a éstos.

Un tratado internacional se define como un acuerdo de voluntades que trata un tema en específico. Aterrizando a la realidad, cuantos tratados o convenciones se han firmado a nivel internacional, sin que prevalezca un sentido de cumplimiento. Ejemplos de ello lo conforman la Convención para la Conservación de Focas Antárticas, o la Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas, o el Convenio Internacional para la Reglamentación de la Caza de la Ballena, entre otros. Regresando al caso de los corales, si existiera un tratado internacional que estipulara su conservación, podría ayudar de mucho, aunque no del todo, ya que la teoría sólo se queda plasmada en el papel y no se lleva a cabo en la práctica, algo que ha pasado en muchos de los tratados firmados.

Por encima de todo, debe fungir el compromiso de cada una de las partes, y ser “obligatorio” para las partes involucradas, así como ser cumplido de buena fe (desafortunadamente no hay una fuerza coercitiva que obligue al cumplimiento de los tratados y convenios internacionales). Debería de trabajarse más con las comunidades costeras de forma directa y fomentarse la educación ambiental en todos los niveles. Sólo así podremos crear una mayor conciencia y salvarlos de los impactos a los que se enfrentan día a día, teniendo en cuenta que este tipo de acciones pueden pasar de generación en generación. El monitoreo, la investigación y la restauración también son esenciales para la conservación de los hábitats costeros. Además, otros mecanismos como el establecimiento de AMPs son necesarios, ya que pueden entenderse como oportunidades de sobrevivencia.

4.2. El papel de la Áreas Marinas Protegidas (AMPs).

Los ecosistemas y su diversidad biológica son vitales para la supervivencia de la humanidad. Las AMPs son uno de los instrumentos más importantes en la protección

de éstos. La IUCN las define como “algún área de terreno, asociada en conjunción con el agua, flora, fauna, así como características históricas y culturales, que ha sido reservada por la ley u otros medios efectivos que protegen parte de todo el ambiente que rodea”.³³⁸ Estas áreas juegan un rol particular en la protección del ambiente marino. Su establecimiento es uno de los planes de manejo costero que fue rápidamente adoptado en muchos países tropicales, particularmente en áreas relativas al turismo. Son reconocidas como un paso necesario para el desarrollo sustentable, y aunque éstas no pueden detener el cambio climático, se consideran herramientas importantes para aumentar la viveza y capacidad adaptativa de los ecosistemas.³³⁹

Las AMPs pueden ofrecer refugio a especies marinas que son explotadas en mayor medida, siendo esenciales en la conservación de reservas comerciales de peces y otras especies codiciadas por las industrias pesqueras. Desafortunadamente, el esfuerzo rápido por proteger estos recursos, ha provocado que algunas naciones en desarrollo establecieran reservas y parques marinos antes de que los planes de manejo fueran completados (han sido llamados “parques de papel” porque no proporcionan un valor de conservación). Por ejemplo, cerca de 100 reservas marinas han sido creadas en Indonesia, Malasia, Filipinas y Tailandia, que no garantizan una conservación a largo plazo.³⁴⁰ No es tarea fácil el establecer y mantener un parque marino. En países desarrollados como Australia, los intereses poderosos comerciales son frecuentemente la principal potencial amenaza a la conservación de la GBA (la conservación puede ser empobrecida por la población local, tan sólo por tratar de sobrevivir).

Un importante aspecto en el diseño de parques es la división del área dentro de zonas para diferentes usos, que dependerá de las características de cada sitio. Hay parques marinos de arrecifes coralinos en varios países que están logrando exitosamente sus objetivos de uso múltiple de conservación, educación y recreación, ya que su buen manejo ha permitido contrarrestar el deterioro de éstos en muchas partes del mundo (la Bahía Hanauma de la isla de Oahu en Hawai es un buen ejemplo).³⁴¹

³³⁸ R. Schubert, *op. cit.* p. 21.

³³⁹ Una opción viable, es que en caso de eventos de blanqueamiento, lanzar corrientes locales de agua fría en las áreas que estén siendo afectadas, de manera que toda la vida marina se encuentre en condiciones óptimas. *Idem.*

³⁴⁰ Charles Birkeland, *op. cit.* p. 404

³⁴¹ Los proyectos más ambiciosos comenzaron en 1975 con el establecimiento de 344,000 km² como Parque Marino de la GBA (GBRMPA, por sus siglas en inglés). Otras áreas arrecifales encontradas a lo largo del Indo-Pacífico, incluyendo Seychelles, Kenya y Singapur, así como algunos sitios del Mar Rojo también cuentan con Parques Marinos Nacionales, cuyo principal objetivo es asegurar el uso sustentable de sus recursos.

Las AMPs tienden a ser áreas muy pequeñas, en cuanto a tamaño. Sólo hay sitios extensos en la GBA, el Santuario Marino Nacional de los Cayos de Florida, y el Parque Ras Mohammed en Egipto. El Parque Nacional de las Islas Vírgenes de St. John (E.U.), y el Parque Pennekamp en Florida presentan ejemplos de cómo la preservación de los arrecifes coralinos, mediante el manejo y planeación de las zonas costeras puede complementar el camino hacia el desarrollo sustentable.³⁴² Estas áreas de control permiten que algunos terrenos de crías se protejan; que los sitios con más actividades pesqueras se recuperen, o que algunas áreas sean totalmente protegidas sin ningún tipo de disturbio, aunque no son suficientes para proveer todas las demandas, especialmente cuando la población incrementa a pasos agigantados.

Algunos usos permitidos en determinada zona incluyen actividades de pesca, turismo, investigación científica, recreación (no coleccionar), entre otros. Áreas que son cerradas para actividades de pesca, simbolizan un tipo especial de AMPs. Antes de su designación, los científicos juegan un rol vital en las pruebas previas, ya que proporcionan información valiosa de su status actual, así como la ubicación de las mejores áreas y bajo amenaza. Los sitios son escogidos por continuos estudios de monitoreo ambientales que mantienen el chequeo de algunos cambios, ya sean positivos o perjudiciales. Su eficacia puede ser mejorada si solo forma parte de un sistema de áreas protegidas orientadas al aseguramiento de redes ecológicas.

4.2.1. El papel de algunos Organismos Intl. en la designación de AMPs.

El desarrollo de redes de AMPs para el año 2012, se ha convertido en un objetivo reconocido internacionalmente, aunque las bases científicas continúan débiles. Además, resulta poco probable que el “standard de protección global”, conozca las necesidades de las diferentes regiones con una vasta cualidad ecológica diversa, ya que un “standard” de este tipo, puede servir como un criterio desigual, que no puede ser aplicado directamente a todas las regiones. En los años 90, las agencias de conservación internacional y gobiernos de muchos países como la IUCN, reconocieron los peligros que afectan a los arrecifes coralinos, por lo que recomendaron proteger por lo menos del 20 al 30% de cada tipo de hábitat marino (países como E.U., Gran Bretaña, Canadá y Filipinas aún lo discuten).

³⁴² *Ibidem*, pp. 406-407.

Para preservar la biodiversidad marina y por ende, los ecosistemas marinos, el Consejo Consultivo Alemán sobre Cambio Climático (WBGU, por sus siglas en inglés), plantea objetivos específicos que creen pueden lograrse a la brevedad posible. Este Consejo propone que por lo menos el 20-30% de área de los ecosistemas marinos debe ser designado como un “sistema de áreas protegidas efectivamente manejada y ecológicamente representativa”.³⁴³ Algunos objetivos políticos internacionales como los establecidos en la WSSD señalan que la comunidad internacional debe establecer una red de AMPs a más tardar para 2012 (en 2003, dichos objetivos fueron reafirmados por el V Congreso Mundial de la UICN en Sudáfrica).

En el contexto de estos programas de trabajo, en 2004 la CBD adoptó los mismos objetivos, aunque sin especificar el porcentaje cubierto. Una declaración regional que se firmó en 2002 por los ministros y miembros de la Comisión Europea de las Convenciones OSPAR³⁴⁴/HELCOM³⁴⁵, estableció que para 2010-2011 se crearía un sistema de áreas marinas protegidas, cuyo objetivo principal es trabajar conjuntamente en función de los compromisos de trabajo para la conservación y uso sostenible de los mares y océanos del mundo, en particular el Atlántico Este Norte y el Mar Báltico³⁴⁶. Es en este ejemplo donde encontramos objetivos que ya están tomando forma en el contexto de las AMPs. Significativamente, a nivel mundial menos del 1% del área marina es actualmente protegida. En vista de este hecho, resalta la necesidad de establecer objetivos específicos, en consideración con una necesidad de acción. Como base de comparación, sobre tierra, alrededor del 12% de estas áreas son protegidas.³⁴⁷

Para designar un área protegida, no solo es suficiente asegurar la protección, sino además la buena gestión y financiación adecuada, que son responsabilidad de los gobiernos nacionales, así como de la misma comunidad internacional. Solo el sistema de áreas protegidas puede detener la pérdida de la diversidad biológica, especialmente si la sobrepesca es frenada. Dedicuémosle atención a la necesidad de esfuerzos urgentes y entablemos actividades de mitigación climática, mediante el desarrollo de estrategias de adaptación apropiadas. Estas acciones necesitan asegurar que los

³⁴³ R. Schubert, *op. cit.* p. 24.

³⁴⁴ Comisión para la Protección del Medio Ambiente Marino del Atlántico (OSPAR, por sus siglas en inglés).

³⁴⁵ Comisión para la Protección del Medio Ambiente Marino del Báltico (HELCOM, por sus siglas en inglés).

³⁴⁶ Helsinki Commission. Baltic Marine Environment Protection Commission. *Declaration of the First Joint Ministerial Meeting of the Helsinki and OSPAR Commissions* [en línea], Helsinki, 6 de diciembre de 2002, Dirección URL: http://www.helcom.fi/ministerial_declarations/ospardeclaration/ [consulta: 27 de marzo de 2010].

³⁴⁷ Marco Cattaneo, *op. cit.* p. 22.

océanos no crucen las fronteras de un sistema crítico porque de ser así, sobrepasaremos los límites que dejarán severos e irreversibles perjuicios a la naturaleza y sociedad humana. La manera en que el ser humano maneje su capacidad como prueba decisiva, lo conducirá a un ciclo sostenible en el futuro. Las AMPs ya acordadas por la comunidad internacional necesitan ser implementadas, ya que su conservación es un componente indispensable para el desarrollo sustentable. Sin embargo, no debe dejarse al descuido otras áreas arrecifales y demás hábitats naturales que no sean designadas como protegidas.

4.2.2. El presente Derecho Internacional en su designación.

Sólo algunas declaraciones o Convenciones Internacionales hacen alusión a algunas disposiciones del término de Áreas Protegidas o AMPs. La CBD, que en su Convenio sobre la Diversidad Biológica de 1992 en su artículo 8 inciso “a” referente a la conservación, sólo establece un sistema de Áreas Protegidas para conservar la diversidad biológica.³⁴⁸ UNCLOS, en su artículo 211 párrafo 6, hace mención explícita de las áreas protegidas especiales, respecto a medidas para prevenir la contaminación por embarcaciones en el ambiente marino. Otros acuerdos en el campo de D.I. para la protección del ambiente marino es la Convención Internacional para la Prevención de Contaminación por Buques (Convención MARPOL) de 1973, que sólo prevé el establecimiento de “Áreas de Mar Particularmente Sensibles” (PSSAs, por sus siglas en inglés) para asegurar la protección por la contaminación de buques en áreas particularmente vulnerables. La Convención para la Protección del Mar Mediterráneo contra la Contaminación (Convención de Barcelona) de 1976 y modificada en 1995, en su Protocolo adicional solo hace énfasis en el establecimiento de “Áreas especialmente Protegidas”. Finalmente la Organización Marítima Internacional (IMO, por sus siglas en inglés) adoptada en 1948, solo expone procedimientos para el establecimiento de PSSAs, sin especificar acción alguna.³⁴⁹ Los requerimientos para designar áreas protegidas varían de acuerdo con el área marítima en cuestión. UNCLOS instaura las disposiciones fundamentales según el D.I. respecto a la delimitación de las zonas marítimas y su relevancia en la designación de AMPs. En el caso de las aguas

³⁴⁸ Convenio sobre la Diversidad Biológica [en línea, pdf], *op. cit.*

³⁴⁹ R. Schubert, *op. cit.* p. 26.

interiores³⁵⁰ y mar territorial³⁵¹, el Estado costero tiene la libertad de decidir sobre la designación, ya que éste ejerce plena soberanía en ambos espacios marítimos. La situación legal respecto a la Zona Económica Exclusiva³⁵² (EEZ, por sus siglas en inglés), es similar.

UNCLOS confiere los derechos de soberanía a los Estados costeros en esta área marítima, concerniente a la explotación y conservación de los recursos vivos y no vivos del área marítima en cuestión, incluyendo el lecho marino y subsuelo. Esto significa, que el Estado costero tiene la libertad de adoptar medidas, mientras se logre la restricción de la explotación de los recursos naturales. En Alemania, dicha disposición ya fue llevada a la práctica: en el contexto de la red Natura 2000,³⁵³ alrededor del 30% del área marítima alemana de la ZEE fue registrada como área protegida dentro de la Comisión Europea. Sin embargo, el establecimiento de una AMP en esta área, no puede restringir el derecho de paso inocente³⁵⁴ de embarcaciones externas. Sentadas estas bases, el Gobierno Federal Alemán insta a demás Estados a la continuidad de los procesos de negociación para asegurar el manejo fidedigno de las AMPs. En altamar,³⁵⁵ aunque estas áreas no se descartan en principio, conlleva a problemas legales, ya que hay déficits en la legislación perteneciente a su establecimiento. La pregunta es cómo establecer una AMP en altamar que conlleve a la prohibición o restricción de actividades de navegación, si los Estados por sí mismos no pueden abordar temas específicos por el hecho de no contar con una jurisdicción territorial en esa zona marítima.

³⁵⁰ Ubicadas dentro del territorio de un Estado, comprenden ríos, lagos, lagunas, estrechos, bahías y puertos.

³⁵¹ Espacio marítimo situado entre las aguas interiores y altamar. Su extensión no debe pasar las 12 millas náuticas (1 milla náutica = 1852 m, equivalente en kms. a 1.852 kms).

³⁵² Área situada más allá del mar territorial y adyacente a éste, con una extensión máxima de 200 millas.

³⁵³ Red ecológica europea dedicada a la conservación de la biodiversidad, especialmente en áreas que son amenazadas por el impacto adverso de las actividades humanas. Es el principal instrumento para la conservación de la naturaleza de la Unión Europea (UE). Ministerio del Medio Ambiente y Medio Rural Marino, *Red Natura 2000*, [en línea], Madrid, Gobierno de España, 2008, Dirección URL: <http://www.mma.es/portal/secciones/biodiversidad/rednatura2000/>. [consulta: 10 de julio de 2009].

³⁵⁴ La única limitación del D.I. es otorgar el derecho de paso inocente a todos los buques extranjeros. Se define como una simple travesía por el mar territorial que hace un buque para atravesarlo sin hacer escalas ni entrar en las aguas interiores. Su trayecto debe ser ininterrumpido y rápido. Sólo por causas de fuerza mayor, se puede permitir que un buque entre o navegue dentro de las aguas interiores.

³⁵⁵ Áreas en mar abierto, que no son sujeto de la soberanía o jurisdicción de ningún Estado. Tal caso constituye “un área bajo la administración internacional”, cuyo régimen jurídico se caracteriza por el principio de igualdad y libertad para todos los Estados, incluyendo los que no tienen salida al mar. *United Nations Convention on the Law of the Sea* [en línea, pdf], Montego Bay, Jamaica, 10 de diciembre de 1982, Dirección URL: http://www.un.org/Depts/los/convention.../texts/unclos/unclos_e.pdf. [consulta: 8 de diciembre de 2009].

A diferencia de los acuerdos que son convenidos en regiones particulares, actualmente no hay un instrumento global de D.I. que substancialmente promueva la designación de límites de AMPs.³⁵⁶ A nivel global, las negociaciones sobre estas áreas están tomando lugar notablemente en dos procesos políticos paralelos, aunque con escasos resultados positivos. En la CBD, las AMPs están en la agenda del Grupo de Trabajo sobre las Áreas Protegidas, incluyendo las áreas protegidas más allá de los límites de la jurisdicción nacional. Sin embargo, los intentos de acordar áreas específicas en altamar que son adecuadas para la designación de AMPs o el establecimiento de objetivos específicos de 5-10 AMPs en 2008 fracasaron, debido a la resistencia de algunas naciones pesqueras. (Islandia, Noruega o Nueva Zelanda).³⁵⁷

El actual proceso de las negociaciones políticas debe servir como instrumento para la designación de áreas protegidas y como base para nuevas disposiciones de UNCLOS. A pesar de que ésta pone gran énfasis en las reglas pertenecientes a la protección y conservación de los recursos marinos, es necesario desarrollar un acuerdo multilateral en su designación, así como asignar tareas de monitoreo y coordinación. Respecto a ello, la propuesta de establecer una Comisión Oceánica Global pudo avanzar en el Primer Congreso Internacional de AMPs celebrado en Geelong, Australia en 2005, aunque las expectativas fueron pocas. La CBD debe también implicarse en los procesos de negociación de UNCLOS y otras organizaciones dedicadas a la conservación, es decir, complementar sus trabajos de investigación a través de nuevas aportaciones e ideas, para de esta manera obtener un mejor resultado. Y para lograrlo, todos los procesos de negociación deben ser implementados para asegurar un papel clave en el diseño de áreas protegidas y demás enfoques conservacionistas.

A pesar de la importancia de las AMPs, no hay una fuerza política internacional que aplique los derechos ambientales o asegure dichos planes de manejo costero de forma apropiada. La adhesión del incluir por lo menos del 20 al 30% de los ecosistemas marinos en la agenda internacional es indispensable si queremos lograr dicho objetivo, además de que áreas fuera de las AMPs también deben ser manejadas de manera sustentable. Hay infinidad de preguntas sin contestar respecto a su designación en vista

³⁵⁶ R. Schubert, *op. cit.* p. 25.

³⁵⁷ En 2004, un Grupo de Trabajo de la Asamblea General de la ONU fue establecido con un amplio mandato, relativo a la conservación de la biodiversidad marina más allá de las áreas de jurisdicción nacional para 2006, pero nada se concretó. *Ibidem*, p. 26.

del cambio climático y el potencial para la adaptación. La base para definir objetivos concretos debe ser mejorada, en función de un área estrictamente protegida. Es necesario incrementar enfoques participativos dentro de la población local, además del uso de su conocimiento tradicional en beneficio de los ecosistemas marinos y todo lo que conlleva. Sólo de esta forma habrá la posibilidad de reducir el índice de pérdida de la diversidad biológica.

4.3. Programas para la conservación del coral.

Los arrecifes coralinos son uno de los ecosistemas más hermosos existentes sobre la Tierra. Pocas experiencias se comparan con el nado, a través de un rico esplendor dominado por éstos. Considerados como los indicadores de la salud general del océano, han sobrevivido a los cambios abruptos del sistema climático a través de su historia. Es hasta los años 90 cuando su decline significativo comenzó a ser documentado. En esa década, infinidad de programas educativos y organizaciones internacionales no lucrativas se crean para contrarrestar el grave daño inducido por el ser humano. A continuación, divagaremos por los programas más representativos a nivel mundial que trabajan para su conservación, señalando que desde su creación se han logrado grandes avances.

4.3.1. La Alianza del Arrecife Coralino.

La Alianza del Arrecife Coralino (CORAL, por sus siglas en inglés) nace como una organización internacional sin fines de lucro, que trabaja exclusivamente para salvar a los arrecifes coralinos de los efectos del cambio climático y otras amenazas. Se enfoca en tres catalizadores fundamentales para el cambio: el buen manejo de AMPs, turismo sustentable, y el compromiso en el apoyo de las comunidades locales, mediante la educación ambiental y proyectos de desarrollo sustentable que beneficien a los corales y a la misma población. En resumen, CORAL trabaja con las comunidades para identificar y resolver los desafíos de conservación, brindando los recursos necesarios para el mismo fin.³⁵⁸

³⁵⁸ Coral Reef Alliance/*Who we are* [en línea]. Disponible URL: <http://www.coral.org/home/resources/issuebriefs> [consulta: 11 de noviembre de 2010].

Una parte importante en el trabajo de CORAL es construir asociaciones entre organizaciones internacionales, gobierno y el sector privado para reducir las amenazas a los corales y crear comunidades locales sustentables. Cabe destacar, que esta organización depende del apoyo financiero de donadores individuales, fundaciones y donaciones del gobierno, que afortunadamente ha recibido. Originalmente fundada en 1994 por Stephen Colwell para impulsar a que la comunidad de buceo conservara estos prodigios, CORAL creció como una alianza que trabaja para proteger a los arrecifes coralinos de nuestro planeta, esperando revertir la crisis en la que se encuentran. Un año después publica su sitio Web, y junto con ICRI, se lleva a cabo el primer esfuerzo multilateral en el desarrollo e implementación de estrategias de conservación global. Cuatro años más tarde, CORAL se convierte en miembro fundador de ICRAN, una coalición formada para implementar la Red de Acción de ICRI.³⁵⁹

CORAL ha establecido un enfoque de conservación global, mediante la estructura de cuatro programas basados en la conservación efectiva de los arrecifes: el Centro para la Efectividad de AMPs; de Turismo Sustentable; de Desarrollo Comunitario; y de Financiamiento Sustentable, cada uno compartiendo objetivos comunes. Actualmente trabaja en siete sitios con arrecifes coralinos en peligro: México, Hawai, Belice, Honduras, Fiji, Papua Guinea e Indonesia. El actual trabajo de campo se enfoca en Asia/Pacífico y regiones del Caribe (con particular énfasis en el SAM).³⁶⁰ Los miembros de CORAL comparten un amor común por los océanos y la pasión por proteger a los arrecifes coralinos, y nos invitan a aprender más acerca de ellos.

4.3.2. La Iniciativa Internacional del Arrecife Coralino y el Año Intl. del Arrecife.

La Iniciativa Internacional del Arrecife Coralino (ICRI, por sus siglas en inglés) es una asociación entre gobiernos, Organizaciones Internacionales y ONGs, que luchan por preservar a los arrecifes coralinos y ecosistemas relacionados (manglares y pastos marinos), implementando el Capítulo 17 de la Agenda 21, y otros acuerdos y convenciones internacionales conexos. ICRI llama a los Estados a “identificar los ecosistemas marinos que exhiban altos niveles de biodiversidad y productividad y otros hábitats, y proporcionar los límites necesarios sobre el uso de estas áreas, mediante la

³⁵⁹ Coral Reef Alliance/*What we do* [en línea]. *op. cit.*

³⁶⁰ Coral Reef Alliance/*Where we work* [en línea]. *op. cit.*

designación de áreas protegidas. La prioridad debe ser acordada, como apropiada para: ecosistemas coralinos, estuarios, humedales tropicales y templados incluyendo manglares, pastos marinos, y otras áreas de desove y crianza”.³⁶¹ Fue presentada en la Primer Conferencia de las Partes de la CBD en diciembre de 1994, y originalmente iniciada por los gobiernos de Australia, Francia, Japón, Jamaica, Filipinas, Suecia, Reino Unido y E.U. Socios adicionales de Naciones Unidas, bancos de desarrollo multilaterales, ONGs ambientales y de desarrollo, comunidades de investigación, instituciones científicas y el sector privado han unido fondos para la misma causa (actualmente colaboran con ICRI para desarrollar un marco de consenso que logre el manejo sustentable de los ecosistemas coralinos). Los objetivos de ICRI llaman a los gobiernos y O.I. a fortalecer el compromiso e implementación de programas ambientales a niveles locales, regionales, nacionales e internacionales para conservar, restaurar y promover el uso sustentable de los arrecifes coralinos y ambientes asociados; reforzar la capacidad de desarrollo e implantación de políticas; y establecer y mantener coordinación de programas de monitoreo e investigación.³⁶²

ICRI emerge del reconocimiento de que los corales y ecosistemas relacionados encontrados en regiones tropicales están enfrentando serias degradaciones, principalmente debido a los estreses antropogénicos. Cuenta con una red de acción global en algunas regiones del Caribe, Pacífico, Sur y Este de África, Asia y Medio Oriente, con el fin de lograr su uso sustentable y revertir su tendencia de degradación. La “Llamada de Acción” y el “Marco de Acción” son acciones de ICRI que abogan por el reconocimiento internacional de que los arrecifes están en serio declive global. Ambas proporcionan la base para definir las necesidades y prioridades regionales, y canalizan el desarrollo de iniciativas nacionales.³⁶³

El Año Internacional del Arrecife de ICRI 2008 (IYOR, por sus siglas en inglés) fue una campaña mundial que elevó la conciencia acerca del valor e importancia de los arrecifes coralinos y las amenazas a su sustentabilidad, motivando a la gente a tomar acción para protegerlos. 1997 fue declarado el Año Internacional del Arrecife. La primera campaña de IYOR fue iniciada en respuesta al incremento de las amenazas y

³⁶¹ International Coral Reef Initiative [en línea]. Dirección URL: <http://www.icriforum.org/about-icri> [consulta: 12 de noviembre de 2010].

³⁶² *Idem.*

³⁶³ *Idem.*

pérdida de los arrecifes coralinos y ecosistemas asociados. IYOR 97 fue un esfuerzo global para incrementar la conciencia y esfuerzos de conservación, investigación y manejo, demostrando ser un año muy exitoso, con cerca de 225 organizaciones en 50 países y territorios que participaron; cerca de 700 artículos en papeles y revistas generados, cientos de pruebas científicas emprendidas, e iniciativas y políticas de conservación, además de un gran número de organizaciones locales y globales dedicadas a la preservación de estos majestuosos hábitats marinos.³⁶⁴

11 años después de que IYOR 97 continuara siendo una necesidad urgente para aumentar la conciencia sobre el valor de éstos, ICRI designó el año 2008 como el Año Internacional del Arrecife (IYOR 2008), generando acciones urgentes en todos los niveles para el desarrollo e implementación de estrategias de manejo efectivas para la conservación y uso sustentable de éstos.³⁶⁵ Una enorme cantidad de material (en varios idiomas) fue producido en 2008, incluyendo DVDs educativos, posters, y mucho más. Más de 630 eventos fueron organizados en cerca de 65 países, territorios, y economías alrededor del mundo. IYOR agradeció profundamente el apoyo y compromiso a NOAA por su apoyo financiero, y al Departamento de Estado de E.U. por la organización de eventos que proporcionaron orientación y apoyo a lo largo de ese año. Hasta la fecha continúan trabajando en dicha labor, y esperan que no tengan que pasar varios años para crear conciencia en los seres humanos.

4.3.3. La Red de Monitoreo Global del Arrecife Coralino.

La Red de Monitoreo Global del Arrecife Coralino (GCRMN, por sus siglas en inglés) es un componente clave de ICRI, que fue prioritario para todas las redes internacionales de arrecifes coralinos. Formada en 1996 como una red operacional de éste (en 1995, ICRI llamó a muchas naciones a comprometerse en la investigación y monitoreo de éstos), es una asociación de comunidades, gobiernos y científicos que colabora con redes ambientales relacionadas con la salud del coral, encaminada a mejorar el manejo y conservación sustentable de éstos.³⁶⁶ Su objetivo es involucrar a todas las comunidades locales para reducir los impactos antropogénicos que los

³⁶⁴ International Year of Reef [en línea]. Disponible en: <http://www.iyor.org/reefs>. [consulta: 13 de enero de 2011].

³⁶⁵ Naciones, organizaciones e individuos alrededor del mundo se unieron a IYOR 2008 para aumentar la conciencia acerca del valor ecológico, económico, social y cultural de los arrecifes coralinos. *Idem*.

³⁶⁶ Marea A. Hatzios, *op. cit.* p. 18.

afectan, mediante acciones que minimicen sus daños, incluyendo la concientización y creación de programas educativos, así como la implementación de programas globales de monitoreo en todas las áreas arrecifales.³⁶⁷

GCRMN produce los datos necesarios para el manejo efectivo del arrecife coralino. Proporciona manuales, equipo, bases de datos, formación y ayuda con fondos para el monitoreo de éstos --todos coordinados en una red global--, difundiendo resultados a escalas locales, regionales y globales sobre su status y tendencias actuales, además de asistir a las agencias de manejo ambientales.³⁶⁸ Esta red opera a nivel global, incluyendo áreas arrecifales del Mar Rojo y el Golfo de Adén; el Golfo Pérsico y el Mar de Arabia; suroeste del Océano Indico; este de África; norte, sur, este y sureste de Asia, Australia y Papúa Nueva Guinea, sureste y suroeste del Pacífico Central, Micronesia, Islas Hawai y otras islas del Pacífico de E.U.; regiones del Caribe y el SAM; y América del Sur.³⁶⁹ De acuerdo con un reporte publicado por ésta, a la fecha, el 27% de los arrecifes coralinos del mundo ya se han perdido, y el 14% estará en decline durante los próximos 20 años.³⁷⁰

“Reefbase” es una base de datos global que distribuye información sobre los arrecifes coralinos y sus recursos, sirviendo como base oficial de datos a la GCRMN. Fue creada en 1988, incluyendo cerca de 2000 expertos en la materia. Es un sistema que proporciona datos por país y región, cuyos objetivos son la investigación y análisis de la salud de éstos a nivel regional, nacional y global. Entre sus principales actividades se encuentran la elaboración de mapas digitales, que ilustran su distribución en todo el mundo, así como sus principales efectos de degradación que incluyen el blanqueamiento coralino, sedimentación, contaminación, entre otros.³⁷¹

4.3.4. La Red de Acción Internacional del Arrecife Coralino.

Establecida en el año 2000, la Red de Acción Internacional del Arrecife Coralino (ICRAN, por sus siglas en inglés) es una red de conservación innovativa y dinámica, que consolida expertos técnicos y científicos en el monitoreo y manejo del arrecife, a

³⁶⁷ Global Coral Reef Monitoring Network/*What we do* [en línea]. Disponible en: <http://www.gcrmn.org/about.aspx>. [consulta: 19 de diciembre de 2010].

³⁶⁸ GCRMN opera a través de 17 redes regionales en Estados y países. Cada red tiene un coordinador regional, y cada uno de éstos, un coordinador nacional. *Idem*.

³⁶⁹ Global Coral Reef Monitoring Network/*Where we work* [en línea]. *op. cit.*

³⁷⁰ Marea A. Hatzios, *op. cit.* p. 20

³⁷¹ *Ibidem*, p. 132.

través de la creación de acciones estratégicas a escalas locales, nacionales y globales.³⁷² ICRAN tiene el compromiso de mejorar la salud de los arrecifes coralinos alrededor del mundo, siendo una alianza que responde a las necesidades de conservación a escala global.³⁷³ Ésta trabaja dentro de comunidades locales, ayudándolas a desarrollar técnicas y herramientas que aseguren el uso sustentable y viabilidad a largo plazo de los arrecifes coralinos,³⁷⁴ además de colaborar con una amplia red de organizaciones en todos los niveles para lograr su misión a escala local, nacional, regional e internacional. Esta Red señala que el incremento de presiones sobre los arrecifes coralinos provoca la pérdida de oportunidades económicas, y serios desafíos a las comunidades locales, ya que la degradación del arrecife se asocia con el incremento de la pobreza en más regiones isleñas y áreas costeras.³⁷⁵

Es evidente que los programas de conservación dirigidos a los arrecifes coralinos comparten similitudes y también grandes retos para alcanzar objetivos claros. Cada uno de éstos contribuye con estándares de protección y enriquece nuestro marco de acción para definir los futuros escenarios. Afortunadamente, se ha empezado a tomar conciencia, logrando progresos en su conservación, a través de diversas medidas, programas y proyectos que trabajan en pro de éstos. Así, cada esfuerzo es necesario para conservar estos hábitats que son vitales para millones de habitantes que dependen de sus buenas condiciones para su sustento y sobrevivencia. Para todos los científicos, estos “bosques tropicales del mar” están en un punto crítico y su preservación requiere medidas más coordinadas para protegerlos a nivel local, regional e internacional (su preservación y la de otros ecosistemas, dependerá de las acciones llevadas por el ser humano, el cual está destruyendo un hábitat ajeno a él).

³⁷² Formada en respuesta a la “Llamada de Acción” por ICRI, esta red apoya la implementación y revisión regular del Marco de Acción de esta última. International Coral Reef Action Network [en línea]. Dirección URL: <http://www.icran.org/action.html> [fecha de consulta: 16 de enero de 2011].

³⁷³ Esta Red opera en regiones del Caribe, mares de Asia Oriental, Océano Indico Occidental, Sur del Pacífico, Sur de Asia y Oriente Medio. *Idem.*

³⁷⁴ Las acciones de ICRAN incluyen medios de vida alternativos, asesoramiento e intercambio y aplicación del conocimiento tradicional, además de información actual económica, social y científica sobre el manejo y conservación de los arrecifes coralinos, buscando el desarrollo de acciones innovativas e inclusivas que respondan a los desafíos globales. *Idem.*

³⁷⁵ *Idem.*

Conclusiones.

A pesar de los regímenes legales, estos ecosistemas no han sido debidamente protegidos. Algunas recomendaciones que aseguran su viabilidad a largo plazo son:

- * Adoptar políticas y tratados que reduzcan las emisiones de GEI.
- * Buscar modos de producción y consumo amigables con el medio ambiente y energías alternativas y renovables.
- * Regular el papel de las empresas y corporaciones transnacionales, convirtiéndolos en verdaderos sujetos ambientales internacionales con responsabilidad.
- * Proteger y mejorar los ecosistemas que absorben GEI.³⁷⁶
- * Modificar las prácticas de pesca que dañan al arrecife y especies marinas.
- * Promover la preservación de los arrecifes coralinos, a través de un turismo sustentable, sin afectar el medio.³⁷⁷
- * Prohibir la colección de corales y especies marinas exóticas por turistas y buzos.³⁷⁸
- * Evitar su acelerada destrucción, mediante la aminoración de otras presiones inducidas por el ser humano.
- * Establecer AMPs.³⁷⁹
- * Agregar especies arrecifales a CITES.
- * Incrementar las designaciones de Sitios de Herencia Mundial.
- * Invertir en la conservación de zonas arrecifales, así como en tecnología que reduzca u obstaculice la entrada de desechos al mar, mediante plantas de tratamiento de aguas negras, con el fin de que se recuperen más rápido de los disturbios antropogénicos.
- * Estricto control en las actividades que se realizan en zonas arrecifales y áreas costeras, desde el vertimiento de desechos, hasta el monitoreo de toda el área. De lo contrario, determinar sanciones por incumplimiento de normas.

³⁷⁶ El cambio climático puede mitigarse a través de la protección y el mejoramiento de ecosistemas naturales como los bosques y océanos, que absorben GEI, principalmente CO₂.

³⁷⁷ El ecoturismo o turismo ecológico es una actividad económica que puede minimizar el impacto negativo que causa la actividad turística en el medio natural, al mismo tiempo que genera ingresos a las comunidades locales. Se requiere de un enfoque más efectivo y ambientalmente responsable del turismo en áreas naturales a nivel mundial, manteniéndose un equilibrio entre el medio ambiente y el ser humano. Esta práctica debe difundirse y promoverse a todos los ámbitos, ya que resulta una opción viable para conservar el patrimonio natural y cultural.

³⁷⁸ En Samoa Americana (grupo de 7 islas situadas al sur del Océano Pacífico), las comunidades locales creen que el daño es causado principalmente por el buceo externo, ya que en su isla más grande, Tutuila, se han disminuido sus reservas de peces arrecifales desde la introducción del buceo en 1994.

³⁷⁹ En el Santuario Marino Nacional de los Cayos de Florida (E.U.), después del primer año de protección en determinada área protegida, se mostraron resultados satisfactorios con el aumento de langostas y numerosos peces arrecifales económicamente importantes.

- * Fortalecer y coordinar políticas nacionales para su conservación y uso sostenible.
- * Establecer mecanismos de participación y difusión que incorporen a los diferentes sectores de la sociedad, llámense gobierno, ciudadanos y sector privado.
- * Diseñar programas educativos y campañas de educación ambiental, a través de estrategias de conservación y manejo sustentable, conjuntando esfuerzos entre los sectores antes mencionados.
- * Construir una red de líderes, expertos, donantes y socios para la preservación de los arrecifes coralinos.
- * Crear más proyectos y campañas de saneamiento en todas las zonas costeras para evitar más daños al ecosistema coralino.
- * Crear arrecifes artificiales,³⁸⁰ como una nueva forma de conservación a éstos.
- * Tomar conciencia sobre su importancia y relación tan estrecha de estas maravillas con el ser humano.
- * Crear una cultura de conservación, valorando su esencia como hábitat de relevancia global, mediante el compromiso en el cuidado del medio ambiente.
- * Planificar un manejo integral de los ecosistemas marinos y costeros, a través de la cooperación regional y responsabilidad global. “Pensar globalmente y actuar localmente”.

Productivos y complejos, los arrecifes de coral constituyen un paisaje marino, que cobija a una inmensidad de especies marinas que habitan en su interior. Ya no solamente hablemos de los colores, formas y tamaños que los caracterizan, sino también de su verdadera esencia e importancia que en éstos radica y cuya estructura está siendo alterada por una multitud de factores que son el resultado de las actividades humanas. Estos ecosistemas sostienen los medios de vida de millones de habitantes que viven en las áreas costeras tropicales, pues la mayoría de éstas son muy pobres (cualquier alteración, se convertiría en una amenaza tanto para sus comunidades como para el ser humano propiamente). Son millones de personas las que viven cerca de las costas, por lo que dependen del buen estado de los arrecifes, ya sea para su alimentación y medios de sustento. No obstante, las industrias pesqueras

³⁸⁰ Estructura hecha a base de diversos materiales, acondicionada para proveer hábitat y refugio a diversas especies de flora y fauna marina. Con su creación, se pretenden disminuir presiones sobre arrecifes naturales; generar espacios para nueva vida submarina; e incrementar las poblaciones de peces, contribuyendo a su restauración.

están creciendo y están próximas a incrementar la competencia con 30 millones de pescadores tradicionales, quienes frecuentemente soportan pérdidas en ingresos.³⁸¹

Sin arrecifes coralinos, mucha gente que vive cerca de las costas moriría de hambre porque consumen más pescado que cualquier otro alimento;³⁸² el turismo disminuiría, junto con los miles de millones de ingresos que se obtienen por éste; ya no habrían más empleos o si los hay, serían mal remunerados porque a los turistas ya no les interesaría acudir a un lugar en el que ya no tienen nada que ver; y los huracanes se tornarían más intensos porque ya no habrá una barrera que obstaculice su intensidad. La población mundial está creciendo 1.2% por año, principalmente en las naciones en desarrollo a lo largo de las líneas costeras, muchas de las cuales son bordeadas por grandes proporciones de arrecifes coralinos. Muchas veces el público no está informado de la existencia de estos inmensos espectáculos marinos que esconde la naturaleza del mar en sus profundidades; tan sólo es sinónimo de artesanía, recuerdo o en su caso, destino turístico.

Los arrecifes coralinos se encuentran distribuidos en por lo menos 100 naciones y territorios. Su rápido declive podría potencialmente costar miles de millones de dólares por año y desplazar a millones de personas. Si el cambio climático continúa, podría generarse (y de hecho, se está generando) un grave caos. En primer lugar, porque al aumentar el nivel del mar, las zonas costeras serán más vulnerables ante los efectos del cambio climático y en segundo, porque al aumentar su temperatura, los arrecifes de coral, si no es que desaparecen, se encontrarán a mayores profundidades porque ya no recibirán la suficiente luz solar. También comenzarán a aumentar los índices de emblanquecimiento, principalmente en el Sudeste Asiático, el Caribe y otras zonas vulnerables de los océanos Pacífico, Índico y Mar Rojo, además del aumento de enfermedades coralinas.

El cambio climático es un problema que debe ser afrontado desde una perspectiva mundial que permita reducir su intensidad. Los corales pueden recuperarse por periodos cortos y han sido capaces de adaptarse gradualmente a las condiciones climáticas en eras pasadas. Sin embargo, los rápidos cambios climáticos han mermado

³⁸¹ La sobreexplotación de los recursos, con la subsistencia local de pescadores e industrias pesqueras está poniendo grandes presiones sobre las especies marinas.

³⁸² Para 2600 millones de personas, el pescado es la base de por lo menos el 20% del suministro de proteínas. Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés), 2011 [en línea], Dirección URL: <http://www.fao.org/corp/statistics/es/> [consulta: 15 de enero de 2011].

su proceso de adaptación. A pesar de que infinidad de factores han alterado su equilibrio ecológico y estar en constante amenaza, han logrado mantenerse. Estamos degradando estas maravillas oceánicas y si no hacemos algo pronto, las consecuencias continuarán siendo adversas tanto para las generaciones actuales como para las generaciones futuras. Esto dependerá de la forma en que sea implementado por los Estados y la forma en que actuemos.

La mejor esperanza para éstos por ahora parece ser el establecimiento de más AMPs. Desafortunadamente son pocas, ya que se estima que solamente el 3% de los arrecifes coralinos de todo el mundo están dentro de estas áreas, y que por lo menos 40 países no tienen protecciones legales para protegerlos.³⁸³ Debemos valorarlos como parte integral de nuestro ambiente global y darnos cuenta, que con la preservación de estos prodigios marinos puede definirse el futuro del planeta y todo lo que conlleva. Son urgentes las medidas de protección y restauración. De otra forma, hay una gran probabilidad que la sociedad humana y los ecosistemas naturales sufran pérdidas y peligros irreversibles.

³⁸³ Hay gobiernos en donde la legislación no se aplica, o los planes de manejo son pobremente aplicados (el mismo argumento se aplica a los océanos).

Fuentes consultadas:

- ❖ Allaby, Michael. *A change in the weather*, Editions Facts on File Inc., New York, 2004, 200 pp.
- ❖ Amsler, Kurt. *El Caribe. Guía de inmersiones*. Ediciones Tutor S.A., Madrid, 1997, 168 pp.
- ❖ Atlas de Ecología. *Nuestro Planeta*, Cultural de Ediciones, S.A., Barcelona, 1995, 112 pp.
- ❖ Attiwill, Peter & Wilson Barbara. *Ecology: An Australian perspective*, Oxford, University Press, Second Edition, National Library of Australia, 2006, p. 664 pp.
- ❖ Berra, Tim M. *A natural history of Australia*, The Ohio State University, Sydney, Australia, 1998, 304 pp.
- ❖ Birkeland, Charles. *Life and Death of Coral Reefs*, University of Guam, Chapman & Hall Editions, International Thomson Publishing (ITP), New York, 1997, 536 pp.
- ❖ Cantú Martínez, Pedro César. *Contaminación ambiental*, Edit. Diana, México, 1993, 80 pp.
- ❖ Cattaneo, Marco. *El Patrimonio Mundial de la UNESCO: Los Santuarios de la Naturaleza*, Traducc. Sonia Afuera Fernández, Editorial Océano de México S.A. de C.V., 2003, 400 pp.
- ❖ R. B, Clark. *Marine Pollution*, Tercera Edición, Clarendon Press-Oxford, New York, 236 pp.
- ❖ Conde, Cecilia. *México y el cambio climático global*, SEMARNAT, México, 2007, 31 pp.
- ❖ Cortés, Jorge. *Latin American Coral Reefs-The Atlantic Coral Reefs of Mexico*. Elsevier Science B.V., Universidad de Costa Rica, San Pedro, Costa Rica, 2003, 497 pp.
- ❖ Dahl, Rachel. *Anual Report 2002*, Intergovernmental Oceanographic Commission, UNESCO, Ocean Sciences, Paris, 2004, 108 pp.
- ❖ Diccionario Enciclopédico Larousse. *El Pequeño Larousse Ilustrado*. Agrupación Editorial S.A., México, 2000, 1790 pp.
- ❖ Downing, Thomas E. *Climate Change and risk*, Routledge, London AND New York, Great Britain, 1999, 407 pp.

- ❖ Dubinsky, Zvy. *Ecosystems of the World: Coral Reefs*, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1990, 550 pp.
- ❖ Flannery, Tim. *El clima está en nuestras manos. Historia del Calentamiento Global*. Título original: *We are the Weather Makers. The story of Global Warming*. Traduc. Damián Alou, Ed. Taurusminor, Santillana Ediciones Generales, S. A. De C.V., México, 2007, 289 pp.
- ❖ Gálvez Valega, Arturo. *Relaciones Internacionales aquí y ahora*. Capítulo X: Medio Ambiente Global y Relaciones Internacionales. Autor: Juan Carlos Álvarez Quintero, p. 232-252. Ediciones Uninorte, Barranquilla, 2005, 266 pp.
- ❖ González Ferrer, Sergio. *Corales Pétreos, Jardines sumergidos de Cuba*, Editorial Academia, la Habana, 2004, 318 pp.
- ❖ Goudie, Andrew. *The Human Impact on the Natural Environment*, Sixth Edition, Blackwell Publishing, United Kingdom, 2006, 397 pp.
- ❖ Guzmán Peredo, Miguel. *El fascinante mundo submarino*, Editores Asociados Mexicanos, S. A., México, 1985, 174 pp.
- ❖ Hatziolos, Marea A. *Coral Reefs: Challenges and Opportunities for Sustainable Management*, World Bank, Washington, D.C., 1997, 224 pp.
- ❖ Johansen, Bruce E. *The Global Warming Desk Reference*, Volume 1, Greenwood Press, London, 2002, p. 265 pp.
- ❖ Johansen, Bruce E. *Global Warming in the 21st. Century*, Melting Ice and Warming Seas, Volume 2, PRAEGER, London, 2006, 266-529 pp.
- ❖ Holliday, Les. *Coral Reefs: a Global View*, Tetra Press, USA, 1989, 32-177, 204 pp.
- ❖ Houghton, John. *Global Warming: The Complete Briefing*, Cambridge University Press, Second Edition, Cambridge, 1997, p. 22-45, 251 pp.
- ❖ IPCC. *Cambio Climático 2001: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad*, Contribución al Grupo de Trabajo II al Tercer Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, Cambridge University Press, 2001. 114 pp.
- ❖ IPCC. *Cambio Climático 2007: Informe de Síntesis*. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, Ginebra, 2007, 104 pp.
- ❖ Leggett, Jeremy. *El calentamiento del Planeta: Informe de Greenpeace*, FCE, México, 1990, 523 pp.
- ❖ Lot Helgueras, Antonio. Lucena Salmoral, Manuel. *El Caribe*. Ediciones Anaya, S.A., Madrid, 1988, 127 pp.

- ❖ Ludevid Anglada, Manuel. *El Cambio global en el Medio Ambiente*, Alfaomega Grupo Editor, México, 1998, 331 pp.
- ❖ Martínez Julia y Fernández Bremauntz Adrián. *Cambio climático: una visión desde México*, SEMARNAT, México, 2005, 32 pp.
- ❖ McCarthy, James, J. *Climate Change 2001. Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 2001, p. 1032 pp.
- ❖ McClanahan, Tim R. *Coral Reefs of the Indian Ocean: Their Ecology and Conservation*, Oxford, University Press, New York, 2000, 525 pp.
- ❖ Mingst Karen. *Fundamentos de las Relaciones Internacionales*. Colección Estudios Internacionales CIDE, México, 2006, 599 pp.
- ❖ Palomares Lerma, Gustavo. *Teoría y concepto de las Relaciones Internacionales*, Universidad Nacional de Educación a Distancia, Facultad de Ciencias Políticas y Sociología, Depto. de Ciencia Política y de la Administración, Madrid, 1995, 235 pp.
- ❖ PNUD-SEMARNAT. *¿Y el Medio Ambiente? Problemas en México y el mundo*, México, 2007, 191 pp.
- ❖ Prager, Ellen J. *Los Océanos*, McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V. Traducción: Roberto Andrés Haas García, México, 2001, 382 pp.
- ❖ Precht, William F. *Coral Reef Restoration Handbook*, CRS Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida, 2006, 363 pp.
- ❖ Rivera Ávila, Miguel Ángel. *El Cambio Climático*, Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Tercer Milenio, 1ª edición, México, 1999, 60 pp.
- ❖ Roessler, Carl. *Coral Kingdoms*, Abradale Press, Harry N. Abrams Inc Publishers, New York, 1990, 206 pp.
- ❖ Rosenberg, Eugene. *Coral Health and Disease*, Ediciones Springer-Verlag, Berlín, 2004, 488 pp.
- ❖ Rothman, Harry. *La Barbarie Ecológica*, Editorial Fontamara, Barcelona, 1980, 365 pp.
- ❖ Ruddiman, William. *Earth`s climate: past and future*, University of Virginia, New York, 2001, 465 pp.
- ❖ Ruiz de Elvira, Antonio. *Quemando el futuro: clima y Cambio Climático*, Ediciones Nivola, España, 2001, 126 pp.

- ❖ Salazar Vallejo, Sergio. *Contaminación marina*, Centro de Investigación de Quintana Roo, Fondo de Publicaciones y Ediciones, Quintana Roo, 1996, 193 pp.
- ❖ Sapp, Jan. *What Is Natural?: Coral Reef Crisis*. Oxford University Press, New York, 1999, 275 pp.
- ❖ SEMARNAT. *Estrategia Nacional del Cambio Climático*, Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, México, 2007, 36 pp.
- ❖ Seoáñez Calvo, Mariano. *Manual de contaminación marina y restauración del litoral*, Ediciones Mundi- Prensa, México, 2000, 559 pp.
- ❖ Shinn, Robert A. *Contaminación de los mares*, Ediciones Marymar, Buenos Aires, 1978, 215 pp.
- ❖ Schubert, R. Special Report, *The Future Oceans-Warming Up, Rising High, Turning Sour*, German Advisory Council on Global Change (WBGU), Berlín, 2006, 98 pp.
- ❖ Valiela, Ivan. *Global Coastal Change*, Blackwell Publishing, United Kingdom, 2006, 368 pp.
- ❖ Veron, John Edward. *A reef in time: The Great Barrier Reef. From beginning to end*, Harvard University Press, Cambridge, 2008, 271 pp.
- ❖ Wells, Susan M. *Coral Reefs of the World*. Prepared by the IUCN Conservation Monitoring Centre in collaboration with the United Nations Environment Programme, Cambridge, UK, 1988, 329 pp.
- ❖ Whyte, Ian. *Climatic Change and Human Society*, Edic. Arnold, London, 1995, 256 pp.
- ❖ Wolanski, Eric. *Oceanographic Processes of Coral Reefs: Physical and Biological Links in the Great Barrier Reef*. CRC Press, Australian Institute of Marine Science, Townsville, Queensland, Australia, 2001, 349 pp.

Fuentes electrónicas.

- *Alliance of Small Island States/About AOSIS* [en línea], 2009, Dirección URL: <http://www.sidsnet.org/aosis/about.html> [fecha de consulta: 10 de enero de 2011].
- Arrecife de coral. *Reserva Nacional de Investigación Estuarina, Bahía de Jobos* [en línea]. Dirección URL: http://ctp.uprm.edu/jobos/educación/arrecifes_de_coral.html [consulta: 10 de Octubre de 2009].
- Banco Mundial. *Ciudades, Mar y Tormentas: Manejando el cambio en las economías de la Isla del Pacífico. Volumen IV. Versión de Resumen de Adaptándose al Cambio Climático* [en línea]. Unidad de Papua Nueva Guinea y la Isla del Pacífico. Washington D.C., 2000 [consulta: 16 de junio de 2010].
- Bernal, Patricio; *Acidificación de los océanos*, [en línea], 13 de octubre de 2008, Francia, Dirección URL: http://www.rfi.fr/actues/articles/106/article_9431.asp [consulta 10 de octubre de 2009].
- Bird, Lilian-Molinelli, José; *Los arrecifes de coral*, [en línea, pdf], Derechos Reservados 2002, Dirección URL: www.alianzageografica.org/leccioncoral.pdf [consulta: 5 de marzo de 2009].
- Central Intelligence Agency. The World Factbook. *Tuvalu* [en línea], United States of America, Dirección URL: <http://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/index.html>. [consulta: 19 de enero de 2011].
- Climate Analysis Indicators Tool [en línea], 2007. Dirección URL: <http://www.cait.wri.org/cait.php>. [consulta: 30 de agosto de 2009].
- Climate Change SOS. *Tuvalu/ The Climate Threat* [en línea], 2008. Dirección URL: <http://www.media.adelaidenow.com.au/multimedia/2008/10/tuvalu/tuvalu-perthnow.html> [consulta: 04 febrero 2011].
- Connolly, Sean; *¿Un futuro para los arrecifes de coral del mundo?*, [en línea], Australia, Universidad James Cook University de Queensland, Australia, Dirección URL: <http://www.project-syndicate.org/commentary/connolly1/Spanish> [consulta: 04 de febrero de 2009].
- Contreras, Oved; “Dañado, 40% del SAV” [en línea], México, Diario de Xalapa, 14 de agosto de 2009. Dirección URL: <http://www.oem.com.mx/esto/notas/n1284243.htm> [consulta: 08 de septiembre de 2010].
- Convención sobre el Derecho del Mar [en línea, pdf]. Dirección URL: <http://www.fao.org/faoterm/docs/convemares.pdf> [consulta: 23 de junio de 2009].
- CONVEMAR. *Sección 2: Límites del Mar Territorial-Art. 6. Arrecifes*. [en línea, pdf,] DirecciónURL:http://www.un.org/Depts/los/convention_agreements/texts/unclos/convemar_es.pdf [consulta: 10 de junio de 2010].

- Convention on Biological Diversity [en línea]. 16 de marzo de 2009. Dirección URL: <http://www.cbd.int/The Convention/Parties/List of Parties> [consulta: 6 de marzo de 2010].
- Convenio sobre la Biodiversidad Biológica [en línea, pdf], Río de Janeiro, Brasil, 5 de junio de 1992. Dirección URL: <http://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf> [consulta: 4 abril 2010].
- Coral Reef Alliance [en línea]. Dirección URL: <http://www.coral.org/home/resources/issuebriefs> [consulta: 11 de noviembre de 2010].
- Datos del Banco Mundial: Dirección URL: <http://www.worldbank.org/cambioclimatico>. [consulta: 20 de abril de 2009].
- Datos colectados de 3800 récords de blanqueamiento de casi 100 países en el reporte de blanqueamiento de la base de datos *ReefBase* [en línea], 23 de diciembre de 2002. Disponible en: <http://www.reefbase.org> [consulta: 15 de marzo de 2009].
- Delgado Ramos, Gian Carlo, *Petróleo, Medio Ambiente, Cambio Climático y Seguridad: Macondo, otra advertencia más* [en línea, pdf]. Nómadas. Revista Crítica de Ciencias Sociales y Jurídicas, México, febrero de 2011. Dirección URL: <http://www.ucm.es/info/nomadas/30/giandelgado.pdf> [consulta: 17 de octubre 2011].
- Enciso L. Angélica, “Destruído en 29 años, 50% del Sistema Arrecifal Mesoamericano”, 14 de abril de 2009 [en línea], Dirección URL: <http://www.jornada.unam.mx/2009/04/14/index.php> [consulta: 13 de marzo de 2011].
- Fernández Muerza, Alejandro. *Corrientes marinas y oceánicas* [en línea], 8 de marzo de 2010, Dirección URL: www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/naturaleza.php [consulta: 13 de junio de 2011].
- García Ayala, Gabriel, *Los arrecifes de coral: verdaderos bosques en el mar*, [en línea], Boletín electrónico “Agua y Desarrollo Sustentable”, Iniciativa Mexicana de Aprendizaje para la Conservación, Dirección URL: http://www.imacmexico.org/ev_es.php [consulta: 10 de septiembre de 2009].
- García-Salgado M., *Proyecto para la Conservación y Uso Sostenible del Sistema Arrecifal Mesoamericano*. Línea Base del estado del SAM, diciembre de 2006, [en línea, pdf], Dirección URL: <http://www.ccad.ws/documentos/proyectos/SAM/PMSlineabase.pdf> [consulta: 4 de enero de 2010]. 200 pp.
- Gardiner Lisa, ¿Qué es un Modelo Climático?, [en línea], 23 de septiembre de 2008. Dirección URL: http://www.windows2universe.org/earth/climate/cli_models2.html [consulta: 17 de enero de 2010].

- Global Coral Reef Monitoring Network/What we do [en línea]. Disponible en: <http://www.gcrmn.org/about.aspx>. [consulta: 19 de diciembre de 2010].
- Helsinki Commission. *Baltic Marine Environment Protection Commission. Declaration of the First Joint Ministerial Meeting of the Helsinki and OSPAR Commissions* [en línea], Helsinki, 6 de diciembre de 2002, Dirección URL: http://www.helcom.fi/ministerial_declarations/ospardeclaration/ [consulta: 27 de marzo de 2010].
- Impacto Verde, *La Gran Importancia de los Arrecifes de Coral*, [en línea], Primer Periódico ecológico Dominicano, 16 de abril de 2008, Dirección URL: <http://impactoverde.info/ecosistemas/la-gran-importancia-de-los-arrecifes-de-coral.html> [consulta: 8 de octubre de 2009].
- Instituto Nacional de Ecología, *Portal sobre Cambio Climático*. Dirección URL: http://cambio_climatico.ine.gov.mx (consulta: 14 de Junio de 2009).
- Instituto Nacional de Ecología. *Parque Marino Nacional SAV* [en línea]. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Última Actualización: 15 de noviembre de 2007. Dirección URL: <http://www.ine.gov.mx/ueajei/publicaciones/libros/2/sav.html> [consulta: 03 de noviembre de 2010].
- International Coral Reef Action Network [en línea]. Dirección URL: <http://www.icran.org/action.html> [consulta: 16 de enero de 2011].
- International Coral Reef Initiative [en línea]. Dirección URL: <http://www.icriforum.org/about-icri> [consulta: 2 de diciembre de 2010].
- International Year of Reef [en línea]. Disponible en: <http://www.iyor.org/reefs>. [consulta: 13 de enero de 2011].
- Leahy, Stephen; *“Un pequeño lucha por sobrevivir”* [en línea], 28 de julio de 2007. Dirección URL: <http://www.ipsnoticias.net/nota.asp/ambiente-tuvalu> [consulta: 10 de marzo 2011].
- Martínez Corbalá, Gonzalo. *“Un Nuevo Orden Mundial”* [en línea], 3 de agosto de 2009. Dirección URL: <http://www.jornada.unam.mx/politica/022a1pol> [consulta: 6 de mayo de 2011].
- Ministerio del Medio Ambiente y Medio Rural Marino, *Red Natura 2000*, [en línea], Gobierno de España, 2008, Dirección URL: <http://www.mma.es/portal/secciones/biodiversidad/rednatura2000/> [consulta: 10 de julio de 2009].
- National Library of Medicine, *Clorofluorocarbonos*, [en línea], Tox Town en español, 11 de mayo de 2009, Dirección URL: <http://www.nlm.nih.gov> [consulta: 12 de marzo de 2009].

- Oceans and Law of the Sea. Themes: *Oceans and Climate Change* [en línea], 13 de septiembre de 2010. Dirección URL: <http://www.un.org/Depts/los/> [consulta: 4 de octubre de 2010].
- Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés), 2011 [en línea], Dirección URL: <http://www.fao.org/corp/statistics/es/> [consulta: 15 de enero de 2011].
- Pérez del Toro, Rodrigo; Arrecifes artificiales: “*Una nueva forma de conservación de ecosistemas marinos*” [en línea, pdf], Año II, Número 2, Agosto 2001, Dirección URL: <http://www.artificialreefs.org/ScientificReports/artificialreefbenefitsenespanol.pdf>, [consulta: 12 de octubre de 2010].
- Portada Cites, United Nations Environment Program [en línea]. Dirección URL: <http://www.cites.org/esp/index.shtml/descubraCITES/paisesmiembros> [consulta: 12 de noviembre de 2009].
- Ralston, Holley; *Climate Change. Challenges Tuvalu* [en línea, pdf]. Edic. Germanwatch, Germany, 2004. Dirección URL: <http://www.germanwatch.org/download/klak/fb-tuv-e.pdf>. [consulta: 09 de marzo de 2011] pp. 19
- Ramírez Mella, Jennie; *¿Cuál es la importancia de los arrecifes de coral?*, [en línea], Puerto Rico, Universidad Interamericana de Puerto Rico Recinto de Ponce, Dirección URL: <http://crema.ponce.inter.edu/coral/importancia.htm> (consulta: septiembre de 2009).
- Resumen del Informe Stern. *La economía del Cambio Climático* [en línea, pdf]. Euskadi en acción contra el Cambio Climático. Dirección URL: http://www.stopco2euskadi.com/documentos/informe_stern.pdf [consulta: 14 de enero de 2011] 11 pp.
- Sanpedro, Javier; “*La población mundial crecerá un 50% en la primera mitad del siglo*” [en línea], Madrid, ELPAÍS.com, 13 de marzo de 2009, Dirección URL: <http://www.elpais.com/articulo/sociedad>. [consulta: 29 de abril de 2009].
- Science Education Resource Center, *Corals: Unit Overview* [en línea], United States, Carleton College, 12 de agosto de 2008, Dirección URL: <http://www.serc.carleton.edu/eslabs/corals/6c.html> [consulta: 11 de Marzo de 2010].
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Qué es el Cambio Climático* [en línea, pdf]. Área responsable: Subsecretaría de Planeación y Política Ambiental. agosto08. Dirección URL: <http://www.semarnat.gob.mx/educacionambiental/documentos/cambioclimaticocarteles.pdf>. [consulta: 28 de agosto de 2009].
- SEMARNAT. *El Planeta se está calentando* [en línea, pdf], México, 2007. 1ª edición. Dirección URL: <http://www.semarnat.gob.mx/educacionambiental/Documents/EIPlanetaseestaCalentando.pdf> [consulta: 2 de septiembre de 2009].

- Subsecretaría de Medio Ambiente. *Sistema Arrecifal Veracruzano* [en línea]. Áreas Naturales Protegidas de Veracruz. Editora del Gobierno del estado de Veracruz, México, 2000. Dirección URL: <http://www.veracruz.gob.mx/pls/portal/url> [fecha de consulta: 18 de octubre de 2010].
- UNEP/UNFCCC. *Para comprender el Cambio Climático: Guía Elemental de la Convención Marco de Naciones Unidas y el Protocolo de Kyoto* [en línea]. Suiza, 1999. Disponible en: <http://www.unep.ch/iuc/> [fecha de consulta: 19 de octubre de 2009]. 34 pp.
- UNESCOPRENSA. “Destacados científicos del mundo entero piden que se actúe inmediatamente para acabar con la acidificación de los océanos” [en línea], 30 de enero de 2009, Dirección URL: <http://www.portal.unesco.org/noticias> [consulta: 2 de nov. de 2009].
- United Nations. Article: *Climate Impacts Already Felt by Small Islands; Governments Seek Resources to Adapt*. Published by the United Nations Department of Public Information, november 2004. Release #5 [consulta: 05 de septiembre de 2010].
- United Nations Conference on Environment and Development. Agenda 21/Section II: *Conservation and Management of Resources for Development/Article 17* [en línea, pdf], Río de Janeiro, Brazil, Dirección URL: <http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/english/Agenda21.pdf> [consulta: 6 de julio de 2010].
- United Nations Convention on the Law of the Sea [en línea, pdf], Montego Bay, Jamaica, diciembre 1982, Dirección URL: http://www.un.org/Depts/los/convention.../texts/unclos/unclos_e.pdf. [consulta: 8 de diciembre de 2009].
- United Nations, Office of the High Representative for the Least Developed Countries, Landlocked Developing Countries and Small Island Developing States [en línea]. Dirección URL: <http://www.un.org/special-rep/ohrls/sid/list.htm> [consulta: 16 de febrero de 2011].
- Vera, Juan Carlos; Sistema Arrecifal Mesoamericano, SEMARNAT, 16 de noviembre de 2010, [en línea], Dirección URL: <http://www.semarnat.gob.mx/temas/internacional/ fronterasur/Paginas/SAM.aspx> [consulta: 17 de diciembre de 2011].
- World Wild Found/Adena; *Protocolo de Kyoto. Situación actual y Perspectivas* [en línea]. Disponible en: <http://www.wwf.es> [consulta: 25 de mayo de 2009]. 15 pp.
- S/a, “Amenaza desaparición a Parque Arrecifal Veracruzano”, [en línea], Noticias de Veracruz, Solución Política- Sección/ Noticias/locales, 8 de mayo de 2011. Dirección: <http://www.solucionpolitica.com/amenaza-desaparición-a-parque-arrecifal-veracruzano/> [consulta: 16 de mayo de 2011].

- S/a, “Aumenta peligrosamente la acidificación de los océanos”, [en línea], México, La Jornada.unam.mx. Sección/ ciencias, 23 de mayo de 2008, Dirección URL: <http://www.jornada.unam.mx/2008/05/23/index.php> [consulta: 5 de nov. de 2008].
- S/a. *Bacterias propiciadas por el calentamiento global amenazan a los arrecifes de coral* [en línea], Dirección URL://<http://www.europapress.es/ciencia> [consulta: agosto de 2010].
- S/a, Cambio Climático. “Australia ratifica el Protocolo de Kyoto. Estados Unidos será el único país industrializado afuera del acuerdo” [en línea], Radio Mundo Real, 4 de diciembre de 2007, Dirección URL: <http://www.ecoportal.net> [consulta: marzo de 2009].
- S/a. Chapter 3: Impact of Climate Change on a High Island Viti Levu, Fiji. [en línea, pdf] Dirección URL: <http://siteresources.worldbank.org/intpacificislands/Resources/4-Chapter+3.pdf> [consulta: 10- mayo-2011] pp. 12.
- S/a. *El Caribe cuenta con el 7% de los arrecifes coralinos del Planeta* [en línea]. Centro de Monitoreo de Conservación Mundial del PNUMA. Oficina Regional para ALyelCaribe.DirecciónURL:http://www.ambienteecologico.com/ediciones/2002/084_05.2002/084_Publicaciones_Ayaba.php [consulta: 16 de febrero de 2010].
- S/a. “*El coral se muere*” [en línea, pdf]. Revista Consumer EROSKI/sección Medio Ambiente.DirecciónURL:<http://revistaconsumer.es/web/es/20071101/pdf/medioambiente.pdf> [consulta: 7 de noviembre de 2009].
- S/a, *European Project on Ocean Acidification* [en línea], julio de 2008, Dirección URL: [http://www.ocean-acidification.eu-European Project on Ocean Acidification \(EPOCA\)](http://www.ocean-acidification.eu-European Project on Ocean Acidification (EPOCA)) [consulta: 28 de abril de 2008].
- S/a. “Finaliza Primera Fase del Proyecto Sistema Arrecifal Mesoamericano”, Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo, 30 de junio de 2007 [en línea], Dirección URL: <http://www.sica.int/busqueda/Noticias/medioambiente.aspx> [consulta: 15 enero 2011].
- S/a. *Importancia y amenazas a los arrecifes de coral* [en línea], San Juan, Puerto Rico, PUERTO DRNA, Navega por el Ambiente, 2006, Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. Dirección URL: <http://www.drna.gobierno.pr/oficinas/oficina-de-prensa-yde-importancia-y-amenazas-a-los-arrecifes-de-coral-1> (consulta: 3 de octubre de 2009).
- S/a. *La acidificación de los océanos pone en peligro la vida de varias especies*, [en línea],RevistaConsumer,Direcc.URLhttp://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/2005/10/03 [consulta: 12 de octubre de 2008].
- S/a, *Se nos mueren los corales* [en línea], 17 de diciembre de 2000, Dirección URL: <http://www.canales.laverdad.es/cienciaysalud.html> [consulta: 12 de abril de 2009].

- S/a, *Superpetroleros* [en línea]. Dirección URL: <http://www.clubdelamar.org/petroleros.htm>. [consulta: 14 de mayo de 2009].
- S/a, The Ocean Acidification Network an information network for the international scientific community. *How will ecosystems be affected?* [en línea], UNESCO, Dirección URL: <http://www.ocean-acidification.net> [consulta: 26 de abril de 2009].
- S/a. *Tuvalu and Global Warming*, [en línea], 20 de noviembre de 2010. Dirección URL: <http://www.tuvaluislands.com/warming.htm> [consulta: 23 de agosto de 2010].
- S/a. *¿Un futuro para los arrecifes de coral del mundo?* [en línea]. Dirección URL: <http://www.project-syndicate.org/commentary/connolly1/Spanish>. [consulta: mayo 2009].