

Distr.
RESTRINGIDA

LC/R.1935
14 de septiembre de 1999

ORIGINAL: ESPAÑOL

CEPAL
Comisión Económica para América Latina y el Caribe

**FENÓMENOS CLIMÁTICOS Y VULNERABILIDAD:
LA ECUACIÓN DETERMINANTE DE LOS DESASTRES**

El Caso de los Pequeños Estados Insulares en Desarrollo

Este documento ha sido preparado por el señor Jairo Escobar R., consultor de la División de Recursos Naturales e Infraestructura. Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad del autor y pueden no coincidir con las de la Organización.

99-10-692

INDICE

	<u>Página</u>
RESUMEN.....	..1
I. INTRODUCCIÓN.....	..2
II. EL CONCEPTO DE VULNERABILIDAD APLICADO A LOS PEICs.....	..4
III. LAS APROXIMACIONES A UNA EVALUACIÓN MÁS PRECISA DE LA VULNERABILIDAD DE LOS PEICs7
IV. LAS INCERTIDUMBRES EN EL CAMBIO CLIMÁTICO Y EL ROL DEL OCÉANO.....	20
BIBLIOGRAFIA.....	27
ANEXO I: ESCALA DE INTENSIDAD SAFFIR-SIMPSON DE HURACANES	32
ANEXO II: DESCRIPCIÓN POR CATEGORÍA DE LA ESCALA SAFFIR-SIMPSON PARA HURACANES	33
ANEXO III: FIGURAS	35

RESUMEN

El presente documento es un perfil de las principales incertidumbres sobre la vulnerabilidad de los Pequeños Estados Insulares del Caribe (PEICs) frente a los eventos extremos, tales como huracanes y tormentas tropicales. El análisis incluye el posible efecto de El Niño a la luz de las principales incertidumbres que plantea la ordenación del medio marino y el cambio climático en el contexto del capítulo 17 del Programa 21. Se ha considerado también para ello, la labor del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), en lo relativo a sus predicciones sobre el incremento del nivel medio global del océano causado por el calentamiento global.

Se ha procurado analizar un conjunto de variables ecológicas, ambientales, sociales y económicas a la luz de la experiencia acumulada en distintos países sobre un período determinado y a su vez relacionar la fragilidad con otros escenarios no vinculados al cambio climático.

El trabajo debería servir de base para la elaboración de políticas públicas integrales de elaboración interdisciplinaria destinadas a incorporar el tema de la prevención de los efectos de los fenómenos naturales en las estrategias nacionales y locales de desarrollo sostenible.

I. INTRODUCCIÓN

Los PEICs, como sus homólogos de otras latitudes, constituyen una nómina de estados pequeños en desarrollo, integrados por las Antillas Menores, las Mayores y otras islas, con culturas, costumbres, idiomas y tradiciones diversas y con valiosos ecosistemas comunes como arrecifes de coral, bosques de manglar, praderas marinas, playas de arenas, alta biodiversidad y endemismo y deslumbrantes paisajes. Todas ellas formando parte de la cuenca del Caribe (véase **Figura 1 del Anexo 3**). Los PEICs, al igual que sus iguales de Africa, Europa, Asia y el Pacífico, representan una “categoría especial” de estados debido a sus “especiales condiciones” frente a varios de los grandes temas ambientales actuales. Estas especiales condiciones tienen a su vez una marcada y notoria “vulnerabilidad” que se acentúa en la capacidad de respuesta que tienen los PEICs frente a los efectos de los eventos naturales extremos.

Los PEICs por lo general, se hayan expuestos a cuatro tipos de eventos naturales extremos; todos ellos recurrentes, aperiódicos, de duración e intensidad variable con profundos efectos sociales, económicos y ambientales. Estos son las *erupciones volcánicas*; *huracanes*; *tormentas tropicales y marejadas* y los *tsunamis*. Dentro de ellos, los más frecuentes son los huracanes y las tormentas tropicales. Debido al incremento del nivel del mar han sido vinculados en forma especial al calentamiento del clima. Los PEICs al igual que sus similares de otras latitudes, se han considerado “sumamente vulnerables al incremento del nivel del mar y al calentamiento de la tierra”, en especial al posible “aumento en la frecuencia de los huracanes debido a los cambios climáticos” (Naciones Unidas, 1992). La Declaración de Barbados de la Conferencia Mundial sobre el Desarrollo Sostenible de los Pequeños Estados Insulares en Desarrollo (Bridgetown, 26 de abril - 6 de mayo de 1994), reafirmó dicha vulnerabilidad y reconoció además la limitada capacidad de los Pequeños Estados Insulares en Desarrollo para responder a los desastres que ellos provocan así como a su recuperación.

Dentro de las especiales vulnerabilidades de los Pequeños Estados Insulares, la Cumbre de Barbados (Naciones Unidas, 1994a) expresó lo siguiente:

- El cambio global predicho causará un incremento en el nivel del mar, lo que producirá un profundo efecto en la economía de las islas, con un impacto negativo en la pesca, turismo, arrecifes de coral y en el suministro de agua dulce.
- Los fenómenos naturales como huracanes y ciclones, que ya devastan la sociedad de las islas, incrementarán su frecuencia e intensidad debido al cambio climático.

- Las frágiles economías de las islas, dependientes fuertemente de las importaciones, con exportaciones limitadas o no de sus productos, estarán sujetas a choques externos y fluctuaciones en el mercado externo. El aislamiento y la pequeña escala de las economías hacen difícil atraer inversionistas o su diversificación.
- El desarrollo añadirá un nuevo elemento de presión a la escasez de tierra, recursos de agua y energía y destruirá el balance de los ecosistemas vulnerables.

El Plan de Acción de Barbados, en su sección I. Cambios Climáticos y Aumento del Nivel del Mar expresa que “la frecuencia e intensidad cada vez mayores de las tormentas que los cambios climáticos puedan ocasionar también tienen efectos profundos sobre la economía y el medio ambiente de los Pequeños Estados Insulares en Desarrollo. Estos estados necesitan toda la información de que se disponga sobre los aspectos de los cambios climáticos”. Por su parte la 1ª Reunión Ministerial del Caribe para la Implementación del Plan de Acción de Barbados (Bridgetown, 13-14 de noviembre de 1997), afirmó la necesidad de participar activamente en la adopción de principios de desarrollo sostenible para reducir las consecuencias de las inherentes vulnerabilidades y mejorar la calidad de vida de los pueblos del Caribe (ECLAC/CDCC, 1997). A nivel internacional, los Ministros expresaron el deseo de que sea declarado el Caribe como una **área especial** durante la sesión especial de la Asamblea de Naciones Unidas que revisará la implementación del Plan de Acción de Barbados, durante 1999 y expresaron, además, también la necesidad de concentrar la atención en las peculiaridades y vulnerabilidades de los Pequeños Estados Isleños en Desarrollo.

Igualmente, la 2ª Cumbre de Jefes de Estado y Gobernadores de Estados, Países y Territorios de la Asociación de Estados del Caribe (ACS) (Santo Domingo, República Dominicana, 16-17 de abril de 1999) reconoció la diferencia en el tamaño y niveles de desarrollo de las economías de los países de la ACS y dio una especial atención a la vulnerabilidad de las pequeñas economías de la región. En el contexto del fortalecimiento de la cooperación internacional, la Cumbre acordó la necesidad de promover la cooperación a través de una acción concertada entre los estados miembros en la implementación de mecanismos de cooperación regional en el área de desastres provocados por fenómenos naturales (ACS, 1999).

II. EL CONCEPTO DE VULNERABILIDAD APLICADO A LOS PEICs

La vulnerabilidad constituye el principal criterio seguido por la comunidad internacional para calificar la forma como la sociedad responde al cambio climático. Literalmente significa su capacidad para ser afectada o alterada (Kates, 1985). Se trata pues, de un *concepto de dimensiones múltiples, que incluye factores físicos, biológicos, políticos y socioeconómicos*. Es además, un *concepto de difícil calificación y cuantificación, cambiante y exigente de información, que puede ser afectado por variables exógenas y endógenas*. Es también, un *concepto sujeto a muchos problemas que derivan de sus muchas interpretaciones*. Aunque las islas pequeñas bajas han sido reconocidas como “supremamente vulnerables”, en especial al incremento acelerado del nivel del mar y a un probable incremento en la frecuencia e intensidad de las tormentas tropicales, aún no se ha efectuado una estimación cuantificada de “cuán altas resultan sus vulnerabilidades”. Otros cambios climáticos, tales como incremento en la temperatura, cambios en la precipitación y en la evaporación, son también importantes en la estimación de la vulnerabilidad de las costas.

En el contexto del IPCC (1995) se define la vulnerabilidad como “el grado en que el cambio en el clima puede ser perjudicial o nocivo para el sistema”, lo que no sólo depende de la sensibilidad del sistema, sino también de su capacidad de adaptación a las nuevas condiciones. Este criterio abarca tanto la sensibilidad como la adaptabilidad. La sensibilidad en este contexto, está definida como el grado de reacción del sistema a un cambio en las condiciones climáticas; mientras que la vulnerabilidad se refiere tanto al grado como el cambio del clima puede ser perjudicial o nocivo para el sistema, como también a sus capacidades de adaptación a las nuevas condiciones, y varía en función de la magnitud y velocidad con que son producidos los cambios. La adaptabilidad se refiere al grado en que es posible efectuar ajustes en las prácticas, procesos y estructuras de los sistemas en función de los cambios provistos o reales del clima (IPCC, 1995). Los sistemas más vulnerables son aquéllos cuya sensibilidad a los cambios climáticos es mayor y es menor su capacidad de adaptación. Aumenta a medida que disminuye la capacidad de adaptación. *Dentro del contexto del calentamiento global, es muy probable que la vulnerabilidad, en cualquiera de las escalas con que actualmente se mide, varíe considerablemente en la medida que se vayan resolviendo las actuales incertidumbres que encierran los modelos climáticos.*

Actualmente **no hay un consenso global sobre el significado de vulnerabilidad** dentro del contexto del cambio climático y **sobre la forma de medirla**. Faltan indicadores que permitan identificar todos los aspectos de la vulnerabilidad y que sean ampliamente aceptables, verificables, medibles, cuantificables-calificables y persistentes en el tiempo, así como también

no existe una tipología general aceptada de los tipos de costas relacionados con los efectos del incremento del nivel del mar por el cambio climático. Hasta ahora el énfasis de los estudios sobre vulnerabilidad según tipos de costas ha sido muy irregular, no existen trabajos sobre costas clásicas de cuarzo, barreras de grava, praderas marinas, etc.

Comúnmente la vulnerabilidad ha sido medida en términos de pérdida de vidas humanas, de bienes y servicios. La concepción moderna de la vulnerabilidad, asociada al cambio del clima, tiene una dimensión múltiple y se centra más en la capacidad de respuesta e incluye factores físicos, biológicos sociales y económicos. Las modernas metodologías abordan la evaluación de la vulnerabilidad, en diferentes escalas en una forma más integral, vinculando el sistema natural con los sistemas sociales y económicos.

Existen muchos criterios, métodos y enfoques para medir la vulnerabilidad de las costas, como los de Van der Weider (1993), Pernetta (1988), Pernetta y Milliman (1995) y Gornitz (1991). Una de las metodologías es la **metodología común** propuesta por el IPCC, que define la vulnerabilidad como “el grado de incapacidad para hacer frente a las consecuencias del cambio climático y el incremento acelerado del nivel medio del mar” (IPCC/CZMS, 1991). Es utilizada para reflejar la capacidad de los estados en el manejo de las consecuencias de un incremento acelerado del nivel del mar. Esta metodología toma en cuenta la información disponible para estimar y evaluar el grado de riesgo de un incremento acelerado del nivel del mar sobre la población, propiedades y los sistemas sociales, económicos y naturales e identifica la capacidad de los estados para hacerlo. En este caso, la vulnerabilidad se expresa como un “perfil de vulnerabilidad”. En esta metodología se asume cierta graduabilidad en las pérdidas, riesgos y daños en función al incremento del nivel del mar. Según Nicholls y Vreës (1995), en ella se incluyen tres escenarios variables: el cambio climático global, el desarrollo regional y la opción de respuestas. En caso de respuestas de los ecosistemas existe distinción entre respuestas adaptativas y no adaptativas. Se producen respuestas no adaptativas si la velocidad de incremento del nivel del mar excede cierto valor crítico lo que lleva a una pérdida irreversible no gradual de los ecosistemas, tal como sería el caso de huracanes, donde se observa la destrucción completa de dunas de arena y donde dicho impacto se ha considerado como un “daño permanente”.

La metodología considera el desarrollo regional y local en un horizonte de tiempo de 30 años a partir de la situación actual y utiliza el nivel del mar actual e incrementos en el nivel global del mar de 0.3 y 1.0 mts para el año 2100. En 1994 fueron revisados 46 estudios de casos sobre análisis de vulnerabilidad, utilizando la metodología común; dentro de los cuales se encuentran los correspondientes a Antigua y Nevis. Los estudios demostraron que el incremento del nivel medio del mar, a menudo no corresponde con el aspecto más crítico, especialmente en las áreas más vulnerables donde los cambios del clima a largo plazo pueden últimamente interactuar o exacerbar problemas y amenazas, donde la sobrepoblación, la presión por la urbanización, la sobrexplotación de recursos, etc., ya constituyen un problema crítico (World Coast Conference, 1993). Aunque no se han desarrollado aún índices de vulnerabilidad para los PEICs, se adelantan estudios pilotos en algunos países del Caribe, como es el caso del proyecto

“Caribbean Planning for Adaptation to Climate Change (CPACC)” para evaluar el “perfil de vulnerabilidad” utilizando la “metodología común” propuesta por el IPCC (Proyecto de Planeación para la Adaptación al Cambio Climático Global, Guyana, Barbados y Granada (OAS, 1995)).

Dentro de las críticas a esta “metodología”, se mencionan su poca seguridad, exigencia de información para su análisis y dificultades para identificar las zonas de impacto. En muchas áreas se desconoce el incremento relativo del nivel del mar y la distribución espacial de dicho incremento. Otra crítica es su poco poder de resolución, ya que no permite identificar otros impactos producidos por el incremento del nivel del mar. Dado los horizontes de tiempo incluidos en las evaluaciones de vulnerabilidad con esa metodología, las proyecciones de la vulnerabilidad en los sistemas económicos y demográficos **no son realistas**. Estas proyecciones, en horizontes a largo plazo para diferentes escenarios, **resultan muy subjetivas y llenas de incertidumbres**; sin embargo, ellas constituyen una herramienta muy útil que puede ser utilizada por los estados para conocer, con cierta cautela, la situación **de vulnerabilidad de sus costas** frente a un incremento acelerado del nivel del mar para horizontes de tiempo cercano, considerando diferentes opciones de respuesta.

En otros estudios, la vulnerabilidad se expresa en forma de “índices de vulnerabilidad ambiental (IV)”, tal como ocurre para algunos Pequeños Estados Insulares del Pacífico (Kaly *et al*, 1999). Los índices de vulnerabilidad ambiental (IV) incorporan a lo ambiental lo económico y social en forma de **índices compuestos**. En estos estudios se identifican y seleccionan indicadores de vulnerabilidad. Dentro de sus debilidades se señala la dificultad que tienen los índices para identificar todos los aspectos de la vulnerabilidad especialmente los componentes sociales y económicos. En común, todos los índices de vulnerabilidad son afectados por los indicadores seleccionados y su integración plantea problemas serios en su evaluación y significado. La noción de integridad ecosistémica es muy compleja y no puede ser individualizada en un sólo índice (Pernetta y Elder, 1993). En estos estudios, la vulnerabilidad es definida como “el potencial de atributos de un sistema para responder adversamente a la ocurrencia de eventos peligrosos y las resilencias de este potencial de atributos para minimizar o absorber los impactos de eventos extremos”. Se ha señalado la conveniencia de que cada país desarrolle sus propios índices de vulnerabilidad; sin embargo, dado que el incremento acelerado del nivel del mar es un “problema común”, el uso de diferentes índices **plantea múltiples problemas de interpretación**. Es razonable que para un mismo nivel de vulnerabilidad, como por ejemplo, “extrema vulnerabilidad” como ocurre con los PEICs, los índices podrían ser muy similares; pero es obvio que existen países, dentro de esas condiciones de extrema vulnerabilidad, que resultan más vulnerables que otros, como ocurre efectivamente.

III. LAS APROXIMACIONES A UNA EVALUACIÓN MÁS PRECISA DE LA VULNERABILIDAD DE LOS PEICs

A la fecha no se conoce que la vulnerabilidad de los PEICs haya sido expresada en términos cuantitativos. Sin embargo, **se dan condiciones inherentes** que los permiten calificar como estados “supremamente vulnerables” al calentamiento del clima y a otro tipo de riesgos ambientales. Dentro de esas especiales condiciones inherentes, se citan entre otras, las siguientes:

1. Los PEICs están ubicados en el Caribe, en la cuenca del Atlántico, una de las siete zonas de génesis regular de tormentas tropicales que incluye el Atlántico norte, Golfo de México y el Caribe (véanse **Tablas 1 y 2**). En esta zona sobre bases regulares se dan las condiciones para la formación de huracanes (ciclones tropicales y subtropicales); sistemas de baja presión, esto es masas de aguas cálidas hasta una profundidad aún desconocida pero al menos mínima de 50 mts y temperatura cercana a los 26.5°C cercana al Ecuador, evaporación de agua de mar en presencia de vientos fuertes, baja presión superficial, condensación asociada con nubes convectivas concentradas y otras condiciones meteorológicas y oceanográficas específicas, tales como la preexistencia de disturbios cercana a la superficie con suficiente vértice y convergencia (Landsea, 1998b; León y Zea, 1997). Generalmente cuando los vientos alcanzan los 37 k/h el ciclón desarrollado se clasifica como “depresión tropical”. Cuando alcanza los 65 k/h el sistema se denomina “tormenta tropical”. Si excede los 119 k/h se denomina oficialmente “huracán” (León y Zea, 1997). La forma de la marea de tormenta, la fuerza y velocidad de los vientos y otros factores combinados, determinan el poder destructivo del huracán. Normalmente para los huracanes del Atlántico se utiliza la escala Saffir-Simpson para estimar el potencial destructivo de los huracanes y la inundación esperada a lo largo de la costa (véanse **Anexos I y II**). Los huracanes se desplazan como remolinos generalmente de este a oeste con una tendencia hacia el norte. Se caracterizan por vientos fuertes cuyas intensidades superan los 119 k/h y bandas de nubes en forma de espiral productoras de intensas lluvias que se extienden a distancias entre 300-500 kms del centro del huracán.

La estación más propicia para la formación de un ciclón tropical es durante verano y otoño (julio-octubre) en el hemisferio norte y diciembre-marzo en el hemisferio sur, con diferencias entre las cuencas con ciglogénesis. Los máximos de verano-otoño son debido a que todos los factores necesarios para la formación de los ciclones llegan a ser más favorables. Esto es aguas cálidas en el océano (cercanas a los 26°C), una atmósfera tropical quieta y fácilmente iniciable a convección, aumento sustancial a larga escala del *spin* disponible. Todos estos factores aislados pueden significar varias cosas. Por ejemplo, en el Caribe durante las estaciones que presentan bajas presiones en superficie, menores que el promedio, se experimenta un

incremento en la actividad ciclónica, lo contrario ocurre en las temporadas que presentan presiones superficiales superiores al promedio. Estas altas presiones indican tanto un debilitamiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ) o una posición más ecuatorial de esta zona, o ambos. Similarmente las anomalías zonales de vientos de 200 mb (milibares) que presenta el Caribe pueden reflejar tanto un evento, el de El Niño, o una condición de lluvias en el Sahel occidental.

Tabla 1

RÉCORD DEL NÚMERO DE TORMENTAS SEGÚN CUENCAS
CICLONOGÉNICAS ENTRE 1968-1989^a

Cuenca	Tormenta tropical (Mayores de 17 millas/segundo de vientos sostenidos)			Huracanes/tifones/ciclones-huracanes tropicales severos (Mayores de 33 millas/segundo de vientos sostenidos)		
	Mayor	Menor	Promedio	Mayor	Menor	Promedio
Atlántico ^b	18	4	9.7	12	2	5.4
Pacífico nor oriental	23	8	16.5	14	4	8.9
Pacífico nor occidental	35	19	25.7	24	11	16.0
Índico norte	10	1	5.4	6	0	2.5
Índico sur occidental	15	6	10.4	10	0	4.4
Australia sur este	11	1	6.9	7	0	3.4
Australia sur occidental	16	2	9.0	11	2	4.3
Global	103	75	83.7	65	34	44.9

Fuente: Landsea, 1998a. ^a 1968-1969 hasta 1989-1990 para el hemisferio sur. ^b Incluye las tormentas subtropicales.

Tabla 2

PERÍODOS REPORTADOS DE TORMENTAS TROPICALES NOMBRADAS
(TORMENTAS TROPICALES Y HURACANES) EN LA CUENCA DEL ATLÁNTICO

Período-años	Tormentas tropicales nombradas	Tormentas tropicales / subtropicales	Huracanes	Días- huracán	Huracanes intensos
1944-1950	72	72	44	186	22
1951-1960	98	98	62	242	27
1961-1970	96	97	62	301	23
1971-1980	83	96	63	187	16
1981-1990	93	95	54	168	16
1991-1996	46	36	21	79	10
Total:	488	494	306	1163	114
Promedio	9.11	9.32	5.77	21.94	2.15

Fuente: Construida sobre la base de la información de Landsea (1998a).

La ubicación de los PEICs los coloca en una situación de alto riesgo debido a su posición sobre o cercana a las trayectorias de las tormentas tropicales que se forman en esa

cuenca y donde la corriente del Golfo provee una fuente permanente de calor (combustible) para ayudar a mantener los huracanes (véase **Figura 2** del **Anexo 3**). Algunos de ellos llegan a ser huracanes antes de llegar al Caribe, como ocurre con los huracanes tipo Cabo Verde. Como promedio, cada año se forman en el Atlántico, Caribe y Golfo de México, 10 tormentas tropicales de las cuales seis se transforman en huracanes, otras permanecen sobre el océano; de éstas, por lo menos tres o más alcanzan los PEICs con cierta regularidad. De esos, por lo menos entre uno o dos tienen categoría mayor de 3 en la escala de Saffir-Simpson. Los huracanes del Atlántico representan cerca del 38% del promedio mundial de huracanes. También existe la evidencia que algunos ciclones tropicales originados en el Atlántico pasen al Pacífico y viceversa. La cuenca del Atlántico tiene una temporada muy marcada de tormentas tropicales (oficialmente entre el 1° de junio hasta el 30 de noviembre). En ella cerca del 78% son días de tormenta tropical, 87% son días de huracanes menores (1 y 2 en la escala de Saffir-Simpson) y un 96% días de ocurrencia de huracanes fuertes (categoría 3, 4, 5 en la escala de Saffir-Simpson) (Landsea, 1998c).

Los PEICs son alcanzados por los huracanes y similarmente afectados por los volcanes; sin embargo, los primeros causan los más grandes y profundos efectos. Los PEICs están expuestos al paso de los huracanes en varias ocasiones durante una misma temporada. Esta “repetición” imposibilita la individualización de los efectos de cada tormenta e incrementa marcadamente la vulnerabilidad. Por ejemplo, en 1989, el huracán Hugo con categoría 4 pasó por las islas del Caribe oriental, con efectos en Dominica, Nevis e Islas Vírgenes Británicas. Posteriormente en 1995, la tormenta tropical Iris y los huracanes Luis y Marilym pasaron a través de las Islas del Caribe oriental en un período de tres semanas (26 de agosto al 16 de septiembre de 1995). Luis tuvo una categoría 4 y Marlym una categoría 3. Todas las islas desde Granada hasta Puerto Rico fueron impactadas por esas dos tormentas, con daños severos en Dominica y otras islas como Santo Tomás, Antigua y San Martín. El gobierno de Santo Tomás estimó en más de US\$3 billones los daños producidos por los huracanes. Cientos de personas permanecieron fuera de sus casas por un período prolongado de varios meses, cerca de 2.7 millones de pies cuadrados de plástico se utilizaron para cubrir cerca de 3.600 edificaciones en Santo Tomás y muchos hoteles de turismo sólo pudieron reabrirse en la primavera de 1996, con un efecto marcado en la industria del turismo (Towle, 1999). Esta temporada de huracanes (de 1995) ha sido la más frecuente e intensa promediada desde comienzos de Siglo para el Caribe. En 1996 el huracán Berta pasó al norte de Montserrat y fue seguido por la tormenta tropical Hortensia que llegó a ser más tarde huracán, éste pasó al sur de Montserrat en septiembre. La **Tabla 3** muestra las estadísticas de los principales huracanes que han cruzado cerca de Montserrat entre 1989 y 1996.

Los daños producidos por los huracanes en los PEICs son muy variables, incluyen la pérdida de vidas, bienes, daños en los suministros de agua y constituyen la principal causa deformadora de playas del Caribe.

Tabla 3

PRINCIPALES HURACANES QUE HAN CRUZADO CERCA DE
MONTSERRAT ENTRE 1989-1996^a

Nombre	Categoría	Fecha	Distancia a Montserrat
Huracán Hugo	4	17-18.09.89	El centro pasó sobre la isla
Tormenta tropical Iris	N	26-27.08.95	50 km
Huracán Luis	4	04-06.09.95	100 km
Huracán Marilyn	3	15-16.09.95	50 km
Huracán Berta	1	07-09.07.96	150 km
Huracán Hortensia	1	08-10.09.96	80 km

^a Tomado de COLSAC (Coast and Beach Stability in Lesser Antilles).

2. Aunque la actividad volcánica y los eventos asociados a ella, no están vinculados con el cambio climático, ella sí representa un importante factor de definición en la vulnerabilidad de las regiones expuestas a riesgos sísmicos. Los tsunamis como los sismos tienen menor frecuencia de ocurrencia y largos períodos de aparición, pero los registros históricos muestran que gran número de estos eventos tienen un potencial de ser más catastróficos que las tormentas tropicales. El Caribe es una región con un historial sísmico importante, con eventos conocidos que datan desde el siglo XVI. Cerca de 88 tsunamis han sido reportados para la región en los pasados 500 años por el IOCARIBE (Landers *et al*, 1999) con una proporción de uno o más severos eventos por centuria y “un promedio de un tsunami destructivo cada 26 años”, aún por encima de un período actual de “quietud” de 53 años. Los PEICs resultan especialmente vulnerables también a los efectos de un tsunami dado que el Caribe es una región sísmica y volcánicamente activa rodeada por límites de placas tectónicas (Institute of Technology of Florida, 1999). Véase **Figura 3 del Anexo 3**.

El arco de las Antillas Menores **parece ser la fuente más probable de un desastre por tsunami en el Caribe** donde la evidencia está dada, por un lado, por el crecimiento del domo del volcán activo de Montserrat, lo que sugiere un peligro potencial de tsunami por deslizamiento de tierras y por otro lado, por el volcán submarino Kick'em Jerry, situado a 8 kms de la costa norte de Granada que supone un peligro para las islas del este del Caribe. Se conoce de 30 tsunamis que han producido daños significativos, los que combinados con terremotos tsumanogénicos, son responsables de cerca de 9.600 casos fatales. Según el IOCARIBE, las fatalidades en la región en los últimos 150 años son “cerca de 5 veces más grande” que las de Hawai, Alaska y costas del oeste de Estados Unidos combinadas. (Véase **Tabla 4**).

3. Los PEICs salvo muy pocos y limitados casos, concentran enteramente su población en sus costas. Muchas islas han alcanzado densidades de población tan altas **que futuros incrementos en su población representan un riesgo** (Vicente, Singh y Botello, 1993). Algunos PEICs son, en el sentido de la palabra “enteramente costas” (Obasi, 1994), con densidades de población elevadas. Algunas de ellas se ubican dentro de las más altas del mundo. Lo anterior implica que tanto la economía como las actividades relacionadas con el turismo están

concentradas en los planos costeros. También los PEICs desde el punto de vista de la población humana han sido calificados como “extremadamente vulnerables” al incremento del nivel del mar (Izrael, 1991). La población de los PEICs se ve prácticamente doblada en las temporadas altas de turismo. De acuerdo con UNEP (1998) en 1996, el Caribe recibió 25.5 millones de visitantes (14.8 millones de turistas de temporada y 10.7 millones de turistas de crucero) y utilizaron 183.6 mil cuartos de hoteles en 36 países. De ellos, aproximadamente un 70% fueron turistas de los PEICs, lo que podría haber significado un incremento transitorio de la población costera local **de cerca del doble**.

Tabla 4

TSUNAMIS CON RESULTADOS FATALES EN EL CARIBE^a

Fecha	Localidad	Máxima altura de la ola (en mts)	Comentarios
Abril 16, 1692	Port Royal, Jamaica	?	Probablemente terremoto generador de tsunamis por deslizamiento de tierra. Una proporción desconocida del total de los 2000 casos fatales fueron producidos por el tsunami. Un 90% de los edificios fueron destruidos. Una ola de 2 mts de altura atravesó la bahía. A lo largo de la costa de Liganee posiblemente (Liguanea Plain) el mar se retiró entre 183 o 274 mts exponiendo el fondo. A su regreso inundó gran parte de la costa.
Octubre 2, 1781	Jamaica	?	10 muertos por tsunami. Una serie de olas y terremotos desastrosos cercanos arruinaron la isla de Jamaica.
Julio 26, 1824	Port-de-Paix, Haití	5	200-300 muertos por terremoto y tsunami. En Port-de-Paix el mar se retiró 60 mts y retornó con una ola que cubrió la ciudad a una altura de 5 mts de agua.
Noviembre 18, 1867	Islas Vírgenes, EEUU.	7.6	11-12 muertos cerca de Charlotte Amalie, St. Thomas, cuando el US De Soto fue dañado; 5 muertos en Fredericksted, St. Croix. En Charlotte Amalie el mar estuvo 2.4 mts sobre el nivel. El mar se retiró cerca de 100 mts y regresó con una ola de 4.5 a 6 mts de alto penetrando 76 mts tierra adentro. En Fredericksted el mar se retiró y regresó con una pared de agua de 7.6 mts de alto llevando en su cima el USS Monongahela.
Octubre 11, 1918	Puerto Rico	6	34 muertos en Aguadilla; 8 muertos en Punta Agujereada, también 100 perdidos, presumiblemente muertos. Olas con alturas entre 5.5 y 6 mts arrancaron varios cientos de palmeras y árboles y muchas casas pequeñas en Punta Agujereada. Una ola con 2.4-3.3 mts de altura encima del nivel del mar en Aguadilla destruyó 300 cabañas.
Agosto 8, 1946	Matanzas, R. Dominicana	2.4	La ciudad fue seriamente impactada y 1700 personas murieron. La ola probablemente tuvo una altura de 2.4 mts.

^a Tomado de IOCARIBE (Tsunami Steering Group of Experts), San José de Costa Rica, abril de 1999.

La concentración de población combinada con la pequeña área de ellos, plantea serios problemas con un incremento acelerado del nivel del mar y un probable aumento en la intensidad y frecuencia de las tormentas. En especial las opciones de retroceso son imposibles en la mayoría

de ellos, la inversión en estructuras de defensa, dada las limitadas economías, está por fuera de sus posibilidades y la reubicación plantea problemas serios de choques de cultura, adaptación, competencia. Al respecto, Sarma (1993) señala que “la relocalización de personas, planeada o no impondrá un daño traumático. Los impactos de la gente relocalizada con la nativa de las áreas donde son relocalizadas será alta y podrá causar altos conflictos. Cuando la relocalización cruza fronteras nacionales, ella resulta en conflictos”.

Se ha señalado que el Caribe y otros Pequeños Estados Insulares de otras regiones, debido a las diferencias regionales en el régimen de las tormentas, sufren un incremento en el riesgo de inundaciones dado por el aumento del nivel del mar mayor que el promedio considerado para Asia (World Coast Conference, 1993). Son comunes reducciones entre un 20-30% del Producto Nacional Bruto debido al efecto de los huracanes. Obasi (1994) indica que en 1980 el huracán Allen destruyó por completo los cultivos de banano (plana) y afectó seriamente la mayoría de hoteles ubicados cerca de la costa en Santa Lucía. Los cultivos tomaron cerca de un año en recobrase al igual que el turismo, con las consecuentes pérdidas relativas con el lucro cesante y los malestares sociales asociados.

Debido a su vulnerabilidad ante las tormentas, los PEICs han sido clasificados dentro del contexto de seguros como “áreas de alto riesgo” y después de los efectos del huracán Gilbert en Jamaica en 1988 y del Andrew, en Bahamas en 1992, los costos de los seguros se han incrementado entre un 300-400 por ciento en muchos lugares (Obasi, 1994).

La 2ª Evaluación del IPCC (1995) presenta un estimativo de 50 cm de incremento del nivel mar actual hasta el año 2100, que es un 25% mejor sobre los estimativos de 1990. Esto representa un mejoramiento en los modelos del clima. Combinando el escenario de las más bajas emisiones con las más bajas sensibilidades del clima, se obtiene una elevación del mar prevista de 15 cm hasta el año 2100. La proyección para el escenario contrario (sin reducción de las emisiones de aerosoles) señala un incremento de 95 cm hasta el año 2100. El IPCC (1995) señala además, que “el nivel del mar seguirá subiendo a un ritmo similar en los próximos siglos después del año 2100, aún después de una estabilización en las emisiones de gases de invernadero”. Estos incrementos podrían colocar a la mayor parte de los PEICs en condiciones “cuasi sumergidas”. Sin embargo, **a la fecha no hay un conocimiento suficiente para afirmar si habrá cambios en el aceleramiento del incremento del nivel del mar y las proyecciones regionales aún carecen de confianza.** Se conoce que ningún incremento en el nivel del mar será uniforme en el mundo y existen importantes variaciones regionales debido a la expansión térmica de los océanos y a cambios en la circulación oceánica, entre otras. Dos de los principales impactos del incremento del nivel del mar en los PEICs es la pérdida de tierra costera debajo del nuevo nivel y la inundación permanente de los terrenos bajos y planos, lo que puede significar también un probable impacto en los recursos de agua dulce por intrusión de la cuña salina. La **Tabla 5** muestra algunas características generales de los PEICs relacionadas con la densidad de población en la costa.

4. Las economías de los PEICs son pequeñas y extremadamente frágiles y dependen por lo general, en gran medida de las importaciones más que de las exportaciones. El turismo ha llegado a ser una de las actividades más importantes de la economía de los PEICs y se fundamenta fuertemente en las playas, el buceo, la infraestructura y el paisaje natural. Las playas y el paisaje a su vez forman parte de la herencia natural. Las playas constituyen uno de los más dinámicos y vulnerables recursos de la costas de los PEICs y su estabilidad ha llegado a ser una prioridad. En general, ellas han sido afectadas por la erosión resultante de actividades humanas y por causas naturales. Para los PEICs parece ser que la causa principal de la erosión de las playas son las tormentas y huracanes. Un proyecto sobre costas y estabilidad de playas en las Antillas Menores (Hurricane Impact on Beaches in Eastern Caribbean 1989-1995 COLSAC-1), establecido en 1980 por UNESCO y refocalizado en 1996, con participación de muchos PEICs, suministra importante información sobre el efecto de los huracanes en las playas, incluyendo información sobre los cambios en las playas después de los huracanes (UNESCO, 1999).

Tabla 5

LONGITUD DE COSTA DE ALGUNOS PEICs. DENSIDAD DE POBLACIÓN
Y PRINCIPALES PROBLEMAS AMBIENTALES MAYORES^a

PEIC	Area (km)	Población ^b	Longitud de costa (km)	H/km ²	Aspectos generales	Problemas ambientales generales
Antigua y Barbuda	440	65.000	153.0	147.7	Islas planas bajas de origen volcánico, con plataforma estrecha, playa de arena fina, corales de borde.	Excesiva remoción de arenas de playa, sobrexplotación de langosta, construcción de hoteles en la playa.
Barbados	432	261.000	97.0	607.0	Isla plana, baja de origen volcánico, sobre una plataforma de coral, plataformas submarinas estrechas, playas de arenas blancas. Manglares, coral de borde.	Cerca de la costa los recursos están sobrexplotados, erosión de la costa por dragado, con efectos sobre el coral, existen cambios en el patrón de circulación costera y hay contaminación por residuos y fertilizantes.
Dominica	751	71.000	148.0	95.4	No tiene un plano costero; presenta una cubierta boscosa con montañas escarpadas altas de origen volcánico.	Dstrucción de corales por huracanes, erosión, contaminación por petróleo y basuras provenientes de barcos.
Granada	334	92.000	120.3	267.4	Islas de origen volcánico, con manglares, praderas marinas y corales.	Sobrexplotación de recursos pesqueros, erosión de la costa cerca de los centros turísticos, remoción de árboles en la costa, remoción de arena y erosión.
Puerto Rico	8.897	3.646.000	704.0	409.8	Tiene una topografía rugosa, montañas boscosas, una plataforma estrecha entre 1-11 millas con costas expuestas a los vientos con áreas de coral bien localizadas.	Dstrucción de corales por huracanes y por actividades humanas, sedimentación y alteración de la dinámica de sedimentos, erosión severa y moderada, contaminación accidental por petróleo; contaminación por actividades en tierra.
PEIC	Area (km)	Población ^b	Longitud De costa (km)	H/km ²	Aspectos generales	Problemas ambientales generales (Continúa)

LONGITUD DE COSTA DE ALGUNOS PEICs. DENSIDAD DE POBLACIÓN
Y PRINCIPALES PROBLEMAS AMBIENTALES MAYORES^a

Montserrat	102	11.000	?	107.8	Isla volcánica alta, escarpada, playas de arena blanca, florestal, lluviosa.	Sobreexplotación de recursos pesqueros.
Antillas Curazao Bonaire Aruba	992 193	179.000 69.000		246.3 357.5	Islas bajas coralinas, con bahías, manglares. Corales de borde, volcanes escarpados. Praderas marinas y arrecifes de coral.	Sobreexplotación de recursos pesqueros; contaminación especialmente en el banco de Saba.
Turcos y Caicos	430			32.6	8 islas grandes y 40 pequeñas semiáridas con bosques de manglar, cavernas, arrecifes de coral, playas de arena con salinas.	Problemas por turismo no ordenado, remoción de arena de las playas.
Saint Kitts y Nevis	261.6 235.0	40.000		152.7	Islas altas de origen volcánico, con plataformas costeras estrechas, numerosos y amplios arrecifes de coral, playas de arena blanca.	Sobreexplotación de recursos pesqueros, langosta y caracol reina, explotación de dunas de arena para construcción.
Santa Lucía	617	41.000	158.0	228.5	Origen volcánico; alta, escarpada, con praderas marinas, extensos arrecifes de coral, pocas playas.	Erosión por retiro de la cubierta vegetal, explotación de arenas de playa.
San Vicente y las Granadinas	338	111.000			Islas volcánicas, montañosas, con playas de arena blanca, arrecifes de coral, plataforma amplia y grande.	Contaminación por petróleo, excesiva minería de arena de playa.
Trinidad y Tobago	5.130	1.257.000	362.0	245.0	Isla plana con montañas altas, ríos numerosos. Playas abiertas expuestas. Manglares, arrecifes de coral, praderas marinas.	Contaminación por petróleo, erosión, destrucción de corales.
República Dominicana	43.803	7.769.000	1.288	160.8	Arrecifes coralinos, estuarios, pantanos costeros, así toda la costa está bordeada de coral, manglares, praderas marinas.	Contaminación, sobreexplotación de recursos pesqueros, destrucción de corales por huracanes.
Haití	27.750				Ocupa 2/3 de isla Española, con montañas bajas, numerosas playas, bahías, manglares y arrecifes de coral.	Destrucción de manglares, sobreexplotación de recursos pesqueros, alteración de playas.
Jamaica	10.991	2.496.000	1.022	227.1	Isla grande montañosa. Areas costeras planas y bajas. Manglares y arrecifes de coral.	Sobrepesca excesiva, alta carga de sedimentos, erosión costera, colecta de coral.

^a Modificado y complementado de IOCARIBE, 1997.

^b Datos de 1994.

El impacto de nueve sistemas tropicales en Dominica entre 1979-1995 fue evaluado por Arlington (1996). Todos los huracanes impactaron las playas, siendo los más severos el huracán David en 1979, el huracán Klaus en 1984, los huracanes Gabriel y Hugo en 1989 y el huracán Luis en 1995. La mayoría de las playas presentaron erosión severa y muchas fueron reemplazadas por piedras y cantorrodados; una playa fue completamente reducida. La pérdida de la vegetación protectora dejó playas desnudas en muchos lugares y más vulnerables a las siguientes tormentas. En las playas de Nevis, los efectos combinados de los huracanes Hugo en 1989 y el huracán Luis, en 1995, produjeron el retroceso de la línea de playa, siendo éste considerado como “un cambio permanente”. Similarmente los efectos de los huracanes de 1995 fueron evaluados en Anguila, Antigua y Barbuda, Saint Kitts y Nevis, Montserrat y Dominica. En ellos, la erosión de las playas fue severa y su volumen se redujo en un 20%. Análisis posteriores de las playas impactadas por el huracán Hugo muestran un recobramiento a una proporción muy baja por cada 2 a 3 años después del huracán. De la literatura científica sobre el tema, se puede inferir un desbalance entre la velocidad de pérdida de playa (erosión y pérdida de arena de playas) y su

subsiguiente redistribución con la velocidad de recobramiento y formación, por lo general muy baja y lenta. La experiencia ha demostrado que una playa no se recobra a las condiciones pre-huracán. Lo anterior podría ser la causa de una “crisis probable” en la industria de la construcción en los PEICs y de una apertura desmedida para el “comercio de arena de playa”. Además de cambios en la línea de playa, los huracanes también afectan las dunas de arenas y los bajos arenosos de muchas islas.

Se observó que a 40 kms del centro del huracán Luis en Montserrat, el retroceso de la línea de playa varió en promedio entre 5 y 18 mts con un máximo registrado de 30 mts y a una distancia de 40 a 180 kms del centro del mismo huracán, el retroceso de la línea de playa varió entre los 2 y 5 mts. Aunque aparentemente existe una buena correlación entre la distancia al centro del huracán y la severidad del daño, existen otros factores muy variables que no permiten una generalización de esta correlación. Entre los factores que inciden en la erosión de playas por efecto de los huracanes están las características particulares del huracán, la forma de la costa, el ancho de la plataforma y ambientes particulares. Todavía no hay mayor claridad de la extensión de la erosión en los PEICs vinculada con el incremento del nivel del mar y de la forma como los arrecifes adyacentes pueden contribuir al crecimiento del área de las islas como respuesta a la erosión causada por ese incremento y al efecto de las tormentas vinculadas. Aparentemente **existen vacíos en el conocimiento del efecto del calentamiento sobre los factores inherentes que determinan la estabilidad y la permanencia de las islas.**

Se han venido utilizando diferentes métodos y modelos para predecir los perfiles de playas como respuesta a su retroceso y a la erosión asociada como resultado del impacto de las tormentas. En esos métodos se propone que la erosión producida por las tormentas puede ser determinada por el conocimiento que se tiene de los perfiles de playa en equilibrio pre y pos tormenta y se ha propuesto para efectos -de reglamentación- en la definición de zonas de seguridad para las playas de algunos PEICs. que “estas zonas deben ser revisadas y definidas dentro del análisis del peor caso”, lo anterior, debido a las predicciones para más intensos y frecuentes huracanes por el calentamiento global. La limitación de estos métodos según Azus (1995), está dado por la asunción de que la erosión potencial producida por el máximo nivel de tormenta “es realizada instantáneamente” y se sabe que las respuestas de las playas a condiciones estables es aproximadamente exponencial en el tiempo.

La **Tabla 6** muestra los cambios experimentados en las playas de Montserrat entre 1990-1996 después del huracán Hugo (Ministry of Agriculture, 1997). Según ella, entre 1991-1993 las playas mostraron una tendencia de acrecencia, reinvirtiéndose esa tendencia después de 1994. donde se mantiene la erosión a pesar de no haber existido una actividad significativa de huracanes. En 1995 se presentó una erosión muy fuerte que coincide con la temporada muy marcada de huracanes en ese año. La erosión continuó durante 1996 sin un recobramiento significativo. Se informa que los huracanes pueden ser la causa principal de alteración de las playas de Montserrat.

Tabla 6

CAMBIOS EN LAS PLAYAS DE MONTSERRAT

Años	Cambio medio en el contorno del área (en %)	Nº de sitios con erosión	Nº de sitios con Acreción	Nº total de sitios
1990-1991	+12.8	2	7	9
1991-1992	+10.5	3	6	9
1992-1993	+07.8	2	8	10
1993-1994	-07.9	8	2	10
1994-1995	-11.4	8	2	10
1995-1996	-01.0	8	6	14

Fuente: Tomado de COLSAC (Coast and Beach Stability in Lesser Antilles).

Dentro de la iniciativa “Medio ambiente y desarrollo en regiones costeras e islas pequeñas” de UNESCO lanzada en 1996, se llevan a cabo estudios para examinar las actuales *setbacks* y proponer nuevas “zonas de amortiguación” (*setbacks*), como una zona de playa que puede contraerse o dilatarse naturalmente sin ninguna necesidad de estructuras de protección. Se trata de una distancia de “seguridad” entre los sitios de construcción costera y la zona activa de la playa. Normalmente en los PEICs que tienen *setbacks* establecidos, éstos son definidos desde la línea de la más alta marea. Existen problemas en esta definición debido a la variación diaria de las mareas y en las diferentes interpretaciones que se tienen para la definición de esta zona. Los *setbacks* varían en distancia entre los PEICs y son por lo general muy cortas si ocurren huracanes fuertes. De acuerdo con Cambers (1996) se hará **necesario utilizar un factor determinante para setbacks**, si se tienen en cuenta que, **cada isla del Caribe oriental podría ser impactada por un huracán fuerte que pase directamente sobre o cerca de ellas, en los próximos 30 años**, en especial, para aquellas islas que han estado sujetas a más de un huracán severo. Generalmente se esperan cambios en las dunas de arena y en la línea de playa con huracanes mayores de 4 en la escala de Saffir-Simpson. También se ha sugerido el uso del concepto de *setbacks* variables para asegurar que los nuevos desarrollos sean sustentables y se han aplicado *setback* seguros (*safe setbacks*) en tres islas. Las variaciones en la respuesta de las playas a los huracanes parece depender de la orientación de la línea de la costa, el ancho de la plataforma, la historia pasada de las alteraciones antropogénicas y la naturaleza misma del huracán. Algunos PEICs han iniciado la revisión de sus *setbacks*. Nevis, por ejemplo ha desarrollado una política de *setbacks* para las principales playas de uso turístico que determina una distancia más grande entre los nuevos hoteles y la línea de la más alta marea. Conocer cómo las tormentas y el incremento del nivel del mar está afectando las playas, puede significar una pauta importante para pronosticar la estabilidad física de los PEICs y del turismo asociado a ellas. Collins (1995) ha indicado que “existe una necesidad de entender la respuesta de los perfiles de playa a eventos extremos, así como los efectos a corto plazo de las tormentas sobre la base de control, evolución y desarrollo con la morfología costera asociada”.

5. Dentro de la inherente vulnerabilidad de los PEICs están también sus limitados recursos naturales y “la elevada fragilidad de sus ecosistemas”. Los PEICs, al igual que otros pequeños

Estados Insulares en Desarrollo, se caracterizan por ser dueños de una alta diversidad biológica y un marcado endemismo, atribuido principalmente a sus arrecifes coralinos, praderas marinas, etc. (véanse **Figuras 4 y 5 del Anexo III**).

Los corales son afectados por las tormentas mediante daño mecánico, quebrándolos, incrementando la turbidez y blanqueándolos. Los arrecifes de coral resultan ser uno de los ecosistemas más productivos conocidos (con una productividad primaria entre 30-250 veces superior a la producida mar afuera y con una producción entre $1.500-5.000 \text{ gr/c/m}^2 \times \text{año}$ -1 (IUCN, 1993)) y con una tolerancia, aún discutible al incremento acelerado del nivel del mar. Muchas especies de coral viven muy cerca de su límite de tolerancia térmica. Un incremento ligero de la temperatura por fuera del máximo de tolerancia puede matar el coral. Incrementos pequeños en la temperatura del mar pueden resultar en un “blanqueamiento de algunas especies de coral” efecto que algunos expertos han señalado como “una señal temprana del calentamiento”. Todavía existen dudas sobre la medida en que el blanqueamiento del coral corresponde a un efecto del calentamiento global o es una causa natural, como ocurre con el evento de El Niño. Puede ser que el calentamiento global esté afectando los corales vía este fenómeno. Se ha calculado que en los últimos 14 años después del Fenómeno 1997-1998, entre el 40-50% de los corales han sufrido una decoloración. Se menciona que “la ciencia aún carece de suficiente información para comprender la relación entre la decoloración de los corales y el cambio climático” (Naciones Unidas, 1999). Normalmente los corales de aguas tropicales se ubican en áreas donde la temperatura del agua del mar está en el rango de los 20-30°C y no se desarrollan bien por debajo de los 20-30 mts debido a que su alga simbiótica (*zooxantella*) depende de la luz para su fotosíntesis. También tienen un rango de salinidad muy estrecho (si la salinidad baja por debajo de 20‰ por más de 24 horas, el coral muere). Estas condiciones -de muy estrecho rango de temperatura y salinidad, crecimiento cerca de la superficie del mar y lejanía a aguas turbias- entre otros, hacen de los corales un ecosistema frágil, altamente vulnerable al incremento del nivel del mar, especialmente en dos aspectos principales: por un incremento importante en las lluvias y la subsecuente erosión y sedimentación durante las tormentas fuertes y por un aumento en la frecuencia de ocurrencia e intensidad de las tormentas y huracanes. Muchas de las condiciones “necesarias” que ya tiene el Caribe para la formación de tormentas están muy cerca de los límites de tolerancia térmica y de salinidad de los corales.

Desde 1980 se reporta el blanqueamiento de corales en el Caribe y en algunos casos extremos su muerte, ligado con incrementos anormales de la temperatura del mar o con una prolongada duración de la temperatura máxima durante el verano (IUCN, 1993). De todos modos, aún no hay una respuesta clara sobre esta relación. El proyecto Caribbean Coastal Marine Productivity Programme (CARICOMP) adelanta estudios de monitoreo sobre este posible efecto (IUCN, 1993). Otras iniciativas en este sentido se llevan a cabo en el marco del Plan de Acción del Gran Caribe. Se ha pronosticado que un cambio en la frecuencia y en la fuerza de los ciclones tropicales tendrá “su mayor efecto en la estructura y velocidad de crecimiento de los arrecifes de coral”. Estudios sobre el efecto de las tormentas en los corales indican que éstos pueden recobrase, pero las velocidades de recobramiento son muy variables. Estas velocidades

oscilan entre 20 a 50 años para arrecifes de coral complejos y entre cinco y menos años para arrecifes simples en estado de *subclimax* de sucesión. Aún algunas especies experimentan un recobramiento más rápido, como *Acrophora palmata* (IUCN, 1993).

Aunque no se ha realizado un estudio sistemático y mantenido a largo plazo de los efectos de los huracanes sobre los arrecifes de coral, en los PEICs se sabe que éstos pueden destruir grandes áreas, bien sea por incremento de agua dulce y por daño mecánico en los corales ramificados, especialmente corales de borde. Los huracanes Federico y David en 1979 y Allen en 1980, causaron serios daños en los arrecifes de la mayoría de las islas. Se observó que los corales de aguas someras (*Acrophora palmata* y *Acervicornis*) tienden a sufrir grandes mortalidades. La **Tabla 7** proporciona una relación de la destrucción de corales por huracanes en algunas islas del Caribe.

6. Otro elemento de especial vulnerabilidad de los PEICs está conectado con la información necesaria disponible para sus propios modelos de predicción del clima regional y los modelos de tormenta y tiempo. Parte de la información meteorológica necesaria es captada a través de los servicios meteorológicos e hidrológicos nacionales del área, que monitorea e intercambia información inmediata vía sistema mundial de telecomunicaciones, dentro del marco de la Organización Meteorológica Mundial. Mucha de la información oceanográfica está en progreso y poco disponible para los modelos de predicción a escala regional. El Grupo de Expertos en Procesos Oceánicos y Clima de la región del IOCARIBE, en la Conferencia Chapman sobre la Circulación del Mar Intra Americano (La Parguera, Puerto Rico, 1995), identificó varios estudios necesarios para el mejoramiento del entendimiento de la circulación del Caribe (COI, 1995).

Tabla 7

DESTRUCCIÓN DE CORALES POR HURACANES EN
ALGUNAS ISLAS DEL CARIBE

Islas	Huracán/tormenta-año	Blanqueamiento	Referencias
Anguila	Shoal Bay – Island Harbour, (H) David, 1979.		Regers, 1985.
Antigua y Barbuda	Goat Head reef, (H) David, 1979.		Weiss M. y G. Multer, 1984.
Bahamas	New Providence, (H) Betsy, 1965.	Great Bahama Black, 1963	Easton, 1968; Glynn, 1984.
Barbados	Nort Bellaris, (H) Allen, 1980.		Mah y Sterns, 1985.
Bermudas	(H) David, 1979.		Morris <i>et al</i> , 1997.
Islas Vírgenes Británicas	Virgen Gorda, Donna 1960; Anegada, (H) David, 1979; Little Juast Van Dyke, (H) Allen 1980, The Indians.	David, 1979	Rogers, 1985.
Islas Caimanes	(H) Allen, 1980.		UNEP/IUCN, 1988.
Dominica	(H) David, 1979.		UNEP/IUCN, 1988.
Granada	Costa sur; (H) David, 1979.		UNEP/IUCN, 1988.
Guadalupe	Gran Cul de Sac (H) David, 1979		UNEP/IUCN, 1988
Jamaica	Ocho Ríos, costa norte y sur, (H) Edith, 1963; (H) Allen, 1980		UNEP/IUCN, 1988
Trinidad y Tobago	Bucoo Reef, (H) Edith, 1963		UNEP/IUCN, 1988
Saint Kitts y Nevis	(H) Klaus, 1984		UNEP/IUCN, 1988
Santa Lucía	(H) Allen, 1980		UNEP/IUCN, 1988
Martinica	(H) David, 1979		UNEP/IUCN, 1988

Fuente: Contruida sobre la base de información de UNEP/IUCN (1988).

IV. LAS INCERTIDUMBRES EN EL CAMBIO CLIMÁTICO Y EL ROL DEL OCÉANO

Las incertidumbres del cambio climático respecto a los PEICs están vinculadas a aquellas condiciones que gravitan sobre la especial vulnerabilidad de los PEICs; esto es, el incremento del nivel del mar, cambios en la frecuencia de ocurrencia de tormentas y huracanes y cambios en sus trayectorias. Cambios en la variabilidad del tiempo, como inviernos más prolongados y veranos más cortos y cálidos, son igualmente importantes. La capacidad de los PEICs, de medir, monitorear, comunicar y responder oportunamente a ellos, constituye una herramienta muy importante para ayudar a fijar una política con respecto a su propia vulnerabilidad. Existe en forma importante necesidad de información e instrumental y capacitación para construir sus propios modelos regionales de clima. La oceanografía no está todavía bien disponible en el área. Se requerirán programas específicos en prospectos regionales, que reconozcan las especiales condiciones de los PEICs y permitan una mayor articulación de los más pequeños.

La mayoría de los impactos más severos al clima son producidos por el océano: marejadas, tormentas, ciclones, huracanes, el fenómeno de El Niño. Por lo tanto, existe una necesaria exigencia de información oceánica para mejorar las predicciones sobre el clima futuro. En este sentido la comunidad internacional acordó en el marco del capítulo 17 del Programa 21, llevar a cabo actividades tendientes a responder a las principales incertidumbres respecto del rol de los océanos en el cambio climático. **Dentro de estas incertidumbres se destacan las inherentes a las predicciones sobre el incremento acelerado del nivel medio del mar y el efecto que tiene este incremento sobre las tormentas tropicales y en sus trayectorias y otros fenómenos de interacción océano-atmósfera; como por ejemplo, El Niño.** La relación causal existente entre la temperatura superficial del mar (TSS) sugiere que la intensidad y la frecuencia de las tormentas tropicales podría incrementarse en el futuro. Al parecer los gases conectados con el efecto de invernadero parecen estar contribuyendo en un incremento de la temperatura superficial de los mares tropicales, así como en las lluvias asociadas con la zona de convergencia inter-tropical (ITZC). Se sabe que el patrón de TSS y su calor asociado y los flujos de mezcla afectan tales eventos climáticos. También se conoce que cualquier cambio en la actividad ciclónica está intrínsecamente unida con cambios a largo plazo en la atmósfera tropical. En la escala global, el océano almacena y transporta calor y actúa como una fuente de calor que fuerza las convecciones atmosféricas y los vientos. El patrón de temperatura superficial del mar y su calor asociado y la mezcla de flujos afectan los eventos climáticos como las tormentas y huracanes y constituyen elementos claves del cambio climático.

La información sobre las predicciones de cambios en la frecuencia de ocurrencia, magnitudes y trayectorias de las ciclones tropicales, asociadas al calentamiento global

generalmente provienen de la observación y del modelo. Se utilizan modelos generales de circulación (MGC) para hacer tales predicciones, así como modelos estadísticos-probabilísticos y modelos acoplados océano-atmósfera. En los modelos de circulación general se han generado escenarios climáticos consistentes con un incremento de CO_2 en la atmósfera. En ellos se ha demostrado que doblando la concentración de CO_2 se incrementaría en cerca de un 50% el número de disturbios tropicales simulados, así como también el número de disturbios intensos, cuando la velocidad del viento se incrementa en un 20% (Ryan *et al.*, 1992; Stein y Heine, 1994). Los MGC señalan también cambios en las trayectorias de las tormentas como respuesta al calentamiento global. A la fecha “los modelos no entregan indicaciones consistentes con el incremento o disminución de las tormentas tropicales” y ha sido necesario hacer ajustes empíricos a los MGC para los flujos en la superficie del océano a fin de reducir los errores en los climas simulados. En el estado actual del conocimiento, la descripción de los principales problemas envueltos en los modelos, son todavía muy crudos debido al alto nivel de incertidumbre que encierran las predicciones del cambio del clima que se evidencian claramente en el amplio rango de valores que proporcionan los modelos generales de circulación. Los más recientes no resuelven los disturbios a pequeña escala por lo que no es posible evaluar en ellos cambios en las disminuciones de las tormentas “y tampoco existe evidencia que ello haya ocurrido en el pasado”. Dentro de los principales inconvenientes de estos modelos, está lo generalizado de sus resultados que limita su selección y aplicación específica, su poca capacidad para proyectar el clima futuro, la similitud y poca diferenciación de sus resultados, que limita la selección de modelos en la proyección de impactos.

El IPCC como una excepción, ha identificado que varios modelos de MGC predicen consistentemente una alta frecuencia en la precipitación convectiva en las regiones ubicadas en las latitudes medias y altas, lo que puede significar lluvias locales más intensas, que pueden interactuar con el incremento del nivel del mar con lo que se aumentan las inundaciones en las áreas costeras bajas. Existen muchas incertidumbres respecto al incremento acelerado del nivel del mar. Dentro de las principales incertidumbres están “el fechamiento del inicio del nuevo régimen acelerado del incremento del nivel del mar”, “si existe una correlación con el récord climático reciente” y “si han existido otros períodos en la reciente historia geológica de la tierra en que se hayan presentado incrementos acelerados del nivel del mar y qué los produjo”.

Los modelos de simulación de $2 \times \text{CO}_2$ parten de una condición única hipotética asumida de doblar la concentración de CO_2 de una atmósfera en equilibrio y están basados en un clima promediado a partir de estadísticas, con resoluciones de varios miles de kilómetros, por lo que sus resultados tienen en la actualidad aplicación a regiones globales y a escalas muy grandes y no a sitios específicos. La “inversión climática” constituye el principal inconveniente de estos modelos para su aplicación regional, pues se modifica la información regional para regular el modelo general dando como resultado un “clima modificado” que es utilizado en los estudios de impacto. Según Bolin (1991) las predicciones del IPCC para los cambios regionales detallados es baja y la correspondiente a los trópicos y el hemisferio sur son poco consistentes. Las principales incertidumbres en las predicciones del IPCC relacionadas con el tiempo, magnitud y patrones

regionales, se deben a vacíos en la información en aspectos tales como: identificación de fuentes y sumidero de gases de efecto de invernadero que afectan las predicciones de las futuras concentraciones, especialmente el rol de los océanos como sumideros de gases. Dentro de este aspecto se resalta específicamente el vacío de información en el efecto del calentamiento sobre el proceso natural de descalcificación de los corales. Se sabe que sobre períodos de décadas los corales pueden contribuir entre cerca de 0.02 a 0.08 gt/año (gigatoneladas por año), como CO² a la atmósfera (Warew *et al*, 1992), el rol de las nubes en la magnitud del cambio climático, la distribución del calor por los océanos y sus flujos y la cubierta de hielo que afecta la predicción del nivel del mar son otros de los vacíos de información.

Las tormentas con trayectorias a través del Atlántico, como aquéllas que se forman en las latitudes medias, están manejadas por los contrastes de temperaturas entre el Ecuador y el Polo. Este contraste podría ser alterado en un “mundo cálido” lo que implicaría “un cambio desconocido en la trayectoria y un riesgo aún incierto del número de huracanes que lleguen a tierra”. También se ha argumentado que las tormentas podrían debilitarse y existe indicación a través de los modelos de simulación climática de alguna reducción en la variabilidad de las trayectorias de las tormentas en invierno. Sin embargo, aún no existe una evidencia fuerte de este cambio en las trayectorias. Se conoce que ellas están gobernadas por la localización de los ciclogénesis y por las condiciones meteorológicas y oceanográficas prevalecientes. Otras de las grandes incertidumbres actuales es el “posible cambio en la circulación de los monzones”. Si los monzones aumentan su actividad es posible que resulten más ciclones en sus mismas áreas. Lamentablemente toda la información actual proveniente de los modelos numéricos, teóricos y de la información observada, **está inconclusa**. Los modelos teóricos de tormentas que han sido utilizados para examinar la máxima actividad de las tormentas con relación a la TSS, no pueden ser expandidos para poder responder a cambios en la intensidad y frecuencia de las tormentas bajo condiciones de calentamiento del clima. Los actuales modelos numéricos de predicción sólo son efectivos para períodos muy cortos de 3 o 4 días; con excepción de áreas donde el tiempo cambia muy poco. Mitchell y Quirguen (1991) señalan entre otras, las siguientes incertidumbres en las predicciones:

- Existe poco conocimiento relacionado con los procesos que tienen que ver con la formación y disipación de las nubes y en la determinación de sus propiedades radiactivas;
- Existe muy poco conocimiento en los procesos que tienen que ver con la mezcla vertical de calor en la superficie del océano, particularmente en las altas latitudes;
- Existe poco conocimiento en la parametrización de las convecciones tropicales, las que parecen estar asociadas con un factor de incertidumbre de mayor magnitud en los trópicos;
- Poco conocimiento en los procesos de la superficie de la tierra y en la interacción entre el clima y los ecosistemas que adicionan un incremento en las incertidumbres en la simulación

de importantes características hidrológicas de la superficie como la humedad del suelo y la evaporación;

- Gases con efecto de invernadero, cuantificación de la toma y relevo de gases con efecto de invernadero, sus reacciones químicas en la atmósfera y cómo ellas podrían ser afectadas por el cambio climático.

En general la base clave en predicción del clima es la consideración misma de que el clima es en sí mismo un “sistema caótico”.

El incremento en la frecuencia de las tormentas tropicales sugiere que podría estar vinculado con las condiciones pre y pos Niño. En algunas áreas ciclogénicas se ha reportado una disminución de tormentas tropicales. Nicholls (1992) citado por Landsea, (1998d) señala que el número de tormentas tropicales alrededor de Australia (105°E) ha decrecido bastante desde 1980, en donde la reducción parece estar debida a la existencia de más eventos de El Niño en esa misma época (1986-87; 1991-92; 1993, 1994-95). Sin embargo, aún teniendo en cuenta el efecto de El Niño “existe una reducción aún no explicada que puede estar dada por cambios en el monitoreo de los ciclones tropicales”. Se tiene evidencia, a partir de lo observado en las últimas décadas, que en ciertas áreas (porción más occidental del Pacífico nororiental, porción oriental del Pacífico noroccidental y sur del Pacífico oriental), hay una tendencia real a incrementar la frecuencia de los ciclones tropicales debido a la ocurrencia de eventos más frecuentes de El Niño. Se experimenta más génesis de ciclones tropicales durante El Niño y se forman más tormentas tropicales después de El Niño en la porción más occidental de la cuenca del Pacífico (140°W de la Línea Internacional del Tiempo). Sin embargo **esto todavía no está bien documentado**.

Algunos autores (Pang, 1981; Chanf, 1985 y Lander 1994) citados por Landsea (1998b) informan que en el occidente del Pacífico existe un número reducido en la génesis de ciclones tropicales que incrementan su frecuencia desde los 160°E hacia la línea internacional del tiempo durante el evento de El Niño. Lo opuesto ocurre durante la fase fría (La Niña). Estas observaciones concuerdan con las predicciones de los modelos de simulación climática para un mundo $2 \times \text{CO}_2$ en el que se pronostica que si la fase cálida de El Niño ocurriese con más frecuencia y con más intensidad “existirían menos ciclones tropicales en la cuenca del Atlántico y Australia”, pero en Hawai y en el Océano Pacífico central existirían más tormentas. Lo opuesto ocurriría si la fase fría (La Niña) llega a ser prevalente. Existe también, en promedio, una tendencia para la formación cerca del Ecuador, de ciclones tropicales durante El Niño. Con respecto a la cuenca del Atlántico, Enfield y Enfield (1998) señalan que a través de teleconexiones el “apagamiento del *spin*” de El Niño del Pacífico se traduce en una señal responsable en hacer que el Atlántico experimente un incremento en el número de huracanes durante los años de El Niño. Como resultado de esa teleconexión es que el Atlántico experimenta varias estaciones cálidas anómalas (más que el Pacífico) después del máximo calentamiento en el Pacífico.

En un mundo $2 \times \text{CO}_2$, El Niño constituye según el IPCC (1990), el factor más importante que controla, año a año, la variabilidad global de los ciclones tropicales. Se ha mencionado que probablemente no hay un incremento en la frecuencia e intensidad en los ciclones tropicales a nivel global. En efecto, Landsea (1998d) señala que para la Cuenca del Atlántico el número de huracanes intensos (magnitudes entre 3, 4, 5, de la escala de Saffir-Simpson) ha experimentado una disminución en su ocurrencia entre 1970-1980. El período 1990-1994 ha sido catalogado como el más quieto de los cuatro años. Sin embargo, las activas temporadas de 1944 (19 tormentas tropicales, 11 huracanes y 4 huracanes intensos) y de 1995 (una tormenta y dos huracanes fuertes en menos de cuatro semanas) sugieren una “tendencia hacia un régimen de mayor actividad ciclónica”. Parte de este probable incremento parece estar vinculado con la fases cálidas de El Niño (Gray, 1984), citado por Landsea (1998d) señala que durante las fases cálidas de El Niño se inhibe la génesis de ciclones tropicales y su intensificación, lo que probablemente es debido por un incremento en los cortantes de viento en la troposfera. Similarmente, Enfield y Enfield (1998) concuerdan señalando que “la mayoría de las veces, El Niño reduce la maduración de las tormentas debido a que El Niño produce un incremento de cortantes de viento” (*scissor-effect*) sobre el Atlántico norte tropical, en la región donde nacen los huracanes en la parte noroccidental de Africa. Este efecto deshace muchas de las tormentas que se forman en el Atlántico antes de que ellas lleguen a constituirse en huracanes. Landsea *et al* (1996) citado por Landsea (1998e) en un período examinado sobre la frecuencia de huracanes en Estados Unidos llegó a la siguiente conclusión:

- No existe un cambio significativo en la frecuencia total de tormentas tropicales y huracanes en un período examinado de 52 años (1944-1995);
- Se observa una disminución en el número de huracanes intensos;
- No hay cambios en la intensidad y fuerza de los huracanes observados cada año;
- Existe una tendencia de disminución en la intensidad máxima alcanzada por todas las tormentas durante la temporada de huracanes;
- No se han observado huracanes sobre el Caribe durante los años 1990-1994, lo que constituye el período quieto más largo de huracanes en el área desde 1899. Este período fue seguido por tres huracanes en 1995 que afectaron toda el área;
- El período 1991-1994 fue el más quieto (en términos de la frecuencia total de tormentas: 7.5 /año; huracanes: 3.8/año; huracanes intensos: 1.0/año).

Actualmente la comunidad internacional en el marco de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la UNESCO llevan a cabo dos importantes programas internacionales orientados a mejorar la capacidad de predicción del clima futuro y de eventos extremos, dentro de los que se insertan muchos

programas preexistentes vinculados con el rol del océano en el sistema climático global, tales como los relacionados con el Programa Mundial de la Geosfera y la Biosfera (IGPB), como LOICZ, GLOBEC, etc.

Uno de estos programas es CLIVAR (1998) que es un programa internacional conjunto COI/UNESCO/OMM e ICSUS sobre la variabilidad y predecibilidad del sistema climático mundial y forma parte del Programa Mundial de Investigación del Clima. Este programa utilizará modelos acoplados océano-atmósfera-hielo en los que la atmósfera y el océano están adecuadamente representados. Tres tipos básicos de modelos serán utilizados; unos para hacer predicciones sobre el desarrollo de El Niño y los monzones en bases anuales y estacionales; otros sobre las predicciones en el incremento de los gases con efecto de invernadero y del polvo en la atmósfera global y sobre las temperaturas regionales, regímenes de lluvia e incremento en el nivel del mar. Los modelos también tratarán de representar los climas pasados. CLIVAR también trata de reducir las incertidumbres de los pronósticos identificados por el IPCC en su 2º Informe de Evaluación (1995). especialmente en lo relativo a la magnitud del cambio en el incremento del nivel del mar y favorecer la elaboración de los pronósticos regionales.

El otro programa internacional lo constituye el Sistema Global de Observación del Océano (GOOS) creado en 1991, para mejorar los pronósticos de cambios de clima, reducir los peligros naturales y mejorar la protección ambiental en las zonas costeras. Se inició como un sistema que conectó varios sistemas de observación preexistentes tales como el Programa de Buques que colaboran Ocasionalmente (SOOP); observaciones meteorológicas de la Red de Buques de Observación Voluntaria (VOS); el Panel de Cooperación sobre Boyas de Acopio de Datos (DCPB); Red de Observación Océano-Atmósfera en los Océanos Tropicales (TAO); Sistema Mundial de Observación del Nivel del Mar (GLOSS); Proyecto Piloto Mundial sobre Temperatura y Salinidad (GTSSP); Red Mundial de Vigilancia de Arrecifes Coralinos (GCRMN); etc., (UNESCO; 1998). Se espera que con los resultados de dichos estudios las actuales incertidumbre en las predicciones futuras del clima se reduzcan.

La comunidad científica se mueve en dirección a suplir los vacíos en las actuales incertidumbres que plantea el cambio climático. Si bien nuestra atención al cambio del clima es muy reciente, la información derivada de los registros de las observaciones disponibles plantean posibles tendencias que se ajustan con los actuales pronósticos. No se dispone de “muchísima información” que incremente el peso de los pronósticos basados en las observaciones y esto es quizás el único argumento en contra de los pronósticos fundados en tales observaciones. Es muy probable que con el cambio de ver “el planeta” a partir de la entrada de los satélites, modifique substancialmente nuestra actitud frente al cambio climático global. Naciones Unidas (1998) ha indicado que “el fenómeno de invernadero galopante habido en Venus, causado por la presencia de un exceso de dióxido de carbono en su atmósfera, ha hecho comprender los peligros de la acumulación de dicho gas en la tierra y del cambio climático mundial resultante. La superficie antiséptica de Marte, carente de toda señal de vida o de materia orgánica por no haber una capa de ozono que la proteja, ofrece una escalofriante visión de lo que pudiera suceder si se destruyera

la capa de ozono en la tierra. El descubrimiento de aerosoles en la atmósfera de Venus y la observación de la forma en que allí interactúan con las moléculas ha hecho aumentar los conocimientos sobre lo que ocurre cuando se introducen aerosoles en la atmósfera terrestre. Es evidente que la “era espacial” introdujo un cambio importante y definitivo en la forma de monitorear el clima. Los actuales modelos acoplados océano-atmósfera han permitido mejorar mucho los pronósticos del clima; pero los modelos no explican en nada “la lógica natural de los huracanes, tormentas y de aún El Niño”. Estos eventos extremos bien podrían ser interpretados como “respuestas naturales” o mecanismos naturales de reacción de cómo el océano y la atmósfera interactúan para responder a gradientes altos-naturales almacenados de calor. ¿Podría El Niño estar disfrazando un fenómeno de mayor alcance? ¿Que pasaría si no existieran las tormentas ni El Niño? ¿Qué mecanismos utilizaría el planeta en respuesta al calentamiento? Esta es la otra cara de las actuales incertidumbres. El punto clave del problema es que estamos posiblemente forzando un mecanismo de respuesta natural del planeta.

Es obvio que se requiere mucho más información, investigación e integración de la data oceánica a la información meteorológica. Dentro de ellas, investigación de cómo la circulación del Caribe y sus procesos afectan las costas de los PEICs así como a los procesos de sus plataformas; obtención de estimativos sobre el *momentum*, flujos de calor entre el océano y la atmósfera en escalas menores de pocos kilómetros o millas. Es necesario que la oceanografía y la meteorología marina estén disponibles a los PEICs en la escala requerida. Se necesitan medidas de la superficie del mar (topografía marina), salinidad, estructura térmica, profundidad del fondo (batimetría), mediante mediciones *in situ*. Es necesario desarrollar un sistema coordinado de observación del mar regional y un sistema para evaluar la vulnerabilidad de las costas utilizando índices integrados derivados de las apropiadas condiciones sociales, culturales de los PEICs. Se requiere de un mayor acceso a la oceanografía del área. Es evidente que independiente de la forma como se observe el cambio climático y su efecto sobre la frecuencia de ocurrencia e intensidad y trayectoria de los huracanes, los sistemas de alarma y los mecanismos de respuestas podrían ser exigidos hasta su propio colapso en caso de ocurrencias más frecuentes y seguidas de tormentas, así las mismas se interrumpan por períodos de tiempo dentro de una misma temporada y aún, con temporadas que presenten uno o dos huracanes con grado mayor de 4 en la escala Saffir-Simpson. Los análisis de “peor caso” para las diferentes respuestas deben considerar como peor caso “la frecuencia y la intensidad”.

BIBLIOGRAFIA

Asociación de Estados del Caribe (ACS), 1999, "Declaration of Santo Domingo", en 2nd Summit of Heads of States and/or Governments of the States, Countries and Territories of the Association of Caribbean States (Santo Domingo de Guzmán, República Dominicana, 16-17 de abril de 1999), 9 pp.

Arlington, J., 1996, The Impact of Recent Tropical Storm and Hurricanes in Domicá's Beaches. Environment and Development in Coastal Region in Small Islands, CPACC Project/ UNESCO/SCI, París, Francia.

Azus, I. Adeath, 1995, "Application of the Convolution Method for Time - Dependent Beach Profile Response in One Mexican Bay", en *Proceedings on Coastal Change* (Bordeaux, Francia, 10-16 de febrero de 1995), IOC/UNESCO, Bordomer Organization UNESCO/COI, *Workshop Report* N° 105, Annex II, 8 pp.

Bolin, B., 1991, *Climatic Change Severe Impacts and Police*, Proceedings of the Second World Climatic Conference, The Intergovernmental Panel on Climatic Change (IPCC), J. Jaeger; H.L. Ferguson (Eds), Cambridge University Press, Estados Unidos.

Cambers, J., 1996, "Impact of Hurricanes in Caribbean Beaches", *Environment and Development in Coastal Regions in Small Islands*, CPACC-Project UNESCO-SCI (web site).

World Coast Conference, 1993, Preparing to Meet the Coastal Challenges of the 21st Century Conference Report, (Nooredwijk, Países Bajos, 1-5 de noviembre de 1993), 5-21 pp.

Collins, M., 1995, "The High-frequency in situ Measurements of Coastal Zone Process", en Conference on Coastal Change IOC/UNESCO, Bordomer Organization (Bordeaux, Francia, 10-16 de febrero de 1995), IOC/UNESCO *Workshop Report* N° 105, 12 pp.

Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI), 1995, Chapman Conference on the Circulation of Inter-Americas Sea (La Parguera, Puerto Rico, 22-26 de enero de 1995), *Workshop Report* N° 111, 14 pp.

The Climatic Variability and Predictability Study (CLIVAR), 1998, The World Climatic Research Programme, "Can We Predict the Climate for the 21st Century?", Brochure Clivar Project Office ICPO, Souththampton Oceanographic Center, Empress Dock, Reino Unido.

Enfield, D. y D.M. Enfield, 1998, *The El Niño PAQ: Frequently Asked Questioned About El Niño Southern Oscillation (ENSO)*, NOAA, Atlantic Oceanographic and Meteorology Laboratory, Miami, Estados Unidos, 13 pp.

ECLAC/CSD, 1997, First Caribbean Ministerial Meeting on the Implementation of SIDS POA-Ministerial Declaration, Caribbean Sustainable Development, Puerto España, Trinidad y Tobago, 1997, 3 pp.

Easton, H. W., 1968, "Underwater Effect of Hurricane Betsy on Some Bahamas Reefs", American Geological Society, *Paper 101*, 59-301 pp.

Institute of Technology of Florida, 1999, "Caribbean Tsunami Awareness", tríptico.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 1995, Segunda Evaluación Cambio Climático 1995, Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, PNUMA/OMM, 71 pp.

Gornitz, V.M., 1991, "Global Coastal Hazards from Future Sea Level Rise", *Global and Planetary Change* N° 89, 379-398 pp.

IOCARIBE Tsunami Steering Group of Experts, 1999, Inter-Americas Sea Tsunami Warning System: Education, Warning, Management and Research, Draft Project Proposal Submitted to the Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, SC-IOCARIBE-VI, San José, Costa Rica, abril, 12 pp.

IOCARIBE, 1997, Estructura y capacidad científica marina en el Caribe y regiones adyacentes, Informe preliminar, COI/UNESCO, junio, 2-15 pp.

IUCN, 1993, "Reefs at Risk. Coral Reefs, Human Use and Global Climate Change", *A Programme of Action*, WWF/UNEP/IOC-UNESCO, octubre, 24 pp.

IUCN/UNEP, 1988, *Coral Reefs of the World*, vol. I: "Atlantic and Eastern Pacific, UNEP Regional Seas Directories and Bibliographies, IUCN Gland, Switzerland and Cambridge UK, UNEP, Nairobi, Kenya, xvii +373 pp, 38 mapas.

Izrael A., Yu, 1991, "Climatic Change Impact Studies: The IPCC Working Group II", Report, en Proceeding of the Second World Climatic Conference, WWO, Ginebra, Suiza, s.p.

International Governmental Panel on Climatic Change IPCC/CZMG, 1991, The Seven Steps to the Assessment of the Vulnerability of Coastal Areas to Sea Level Rise. A Common Methodology - Response Strategies Working Group on Assessing Vulnerability to Sea Level Rise and Coastal Zone Management , 20 septiembre, Rev. 1, 20 pp, anexos.

Kaly, U. *et al*, 1998, "Environmental Vulnerability Index (EVI) to Summarize National Environmental Vulnerability Profiles", *EVI Study Report*, SOPAC, Secretariat Members 1998, 9 pp.

Kates, T.R., 1985; "The Interaction of Climate and Society", *Climate Impact Assessment SCOPE* 27, B. Kates, H. Ausuhel y M. Berberian (Eds.), John Wiley y Sons Ltda, 625 pp.

Landsea, W.C., 1998a, "Tropical Cyclone Records", Part E, en FAQ *Hurricanes, Typhoons and Tropical Cyclones*, NOAA/AOML, 10 de noviembre de 1998, Miami, Estados Unidos, 6-7 pp.

_____, 1998b, "Basic Definitions", Part A, en FAQ *Hurricanes, Typhoons and Tropical Cyclones*, NOAA/AOML, 10 de noviembre, Miami, Estados Unidos, 3-4 pp.

_____, 1998c, "Tropical Cyclone Winds", Part D, en FAQ *Hurricanes, Typhoons and Tropical Cyclones*, AOML/Hurricane Research Division, NOAA/AOML, 10 de noviembre, Miami, Estados Unidos, 10 pp.

_____, 1998d, "Tropical Cyclone Forecasting", Part F, en FAQ *Hurricanes, Typhoons and Tropical Cyclones*, AOML/Hurricane Research Division, NOAA/AOML, 10 de noviembre, 12 pp.

_____, 1998e, "Tropical Cyclone Climatology", Part G, en FAQ *Hurricanes, Typhoons and Tropical Cyclones*, AOML/Hurricane Research Division, NOAA/AOML, 10 de noviembre, Miami, Fla., Estados Unidos, 7 pp.

León, G. y J. Zea, 1997, "Sistemas Sinópticos que determinan el estado del tiempo en Colombia", Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Subdirección de Meteorología, IDEAM-METEO, /0006-97, 40-42 pp.

Mah, A.J. y C.U. Stern, 1985, Changes Produced by Hurricane on a Fringing Reef (Barbados), Proceeding of the Fifth International Coral Reef Congress, Tahití, 2:232 p.

Morris, B.; J. Barnes; F. Braun y J. Markan (Eds), 1997, *The Bermuda Marine Environment*, 1 Bermuda Biol. Stn, Spc. Pub. 15, 120 pp.

Ministry of Agriculture, Trade and Environment, 1997, "Assessment of the Beaches Changes in Montserrat Between 1990-96", Montserrat Coast and Beaches Stability in the Lesser Antilles, Project COLSAC.

Mitchell, B.F. y Z. Quirguen, 1991, "Climatic Change: Prediction", *Proceedings of the Second World Climate Conference*, H.L. Fergusson (Ed.).

Naciones Unidas, 1999, "Los océanos y los mares", Informe del Secretario General, Período de Sesiones (19-30 de abril de 1999); Informe del Secretario General CDS 7th, Consejo Económico y Social, E/CN.17/1999/4.

_____, 1998, Proyecto de Informe a la Tercera Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Exploración y Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos, preparativos efectuados por el Comité Asesor de UNIESPACE III para la Tercera Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Exploración y Utilización del Espacio Ultraterrestre con fines Pacíficos (UNIESPACE III), A/AC.105/CL.218, 22 de enero de 1998, 37 pp.

_____, 1994a; Paradise in Puerile: United Nations Conference on Small Islands to Seek Strategy for Sustainable Development, United Nations Media Release, United Nations Global Conference on Sustainable Development of Small Islands Developing States, Nueva York, Estados Unidos, 4-5 pp.

_____, 1994b, Informe de la Conferencia Mundial sobre el Desarrollo Sostenible de los Pequeños Estados Insulares en Desarrollo (Bridgetown, Barbados, 26 de abril - 6 de mayo de 1994), Nueva York, Estados Unidos, A/CONF/167/9.

_____, 1992, Programa 21, Adopción de Acuerdos sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (Río de Janeiro, 3-14 de junio de 1992), A/CONF.151/4 (Parte II), 1 de mayo de 1992.

National Weather Service, 1999, Saffir/Simpson Hurricane Scale, NOAA, US Department of Commerce, 5 pp.

Nicholls, R.J. y L.P.M. Vreés, 1995, Assessment of Vulnerability to Climatic Change The IPCC Common Methodology, Results and Synthesis. Proceedings of Coastal Change Conference (Bordeaux, Francia, 10-16 de febrero de 1995), URE, IOC/UNESCO, Bordonere Organization, *Workshop Reports* N° 105, 15-18 pp.

Obasi, G.O.P., 1994, "Natural Disasters and Sustainable Development on Small Developing Islands", Case Study 3, Global Conference on The Sustainable Development on Small Developing Islands, A /CONF 167/CPR.4, 14 de abril, 14 pp.

Organización de Estados Americanos (OEA), 1995, "Caribbean: Planning for Adaptation to Climatic Change", Brochure N° 2, Washington D.C., 16 pp.

Pernetta, J.C., 1998, "Projected Climate Change and Sea Level Reissue: A Relative Impact Rating for the Countries of the Pacific Basin", en *Potential Impacts of Greenhouse Gas generated Climate Change and Projected Sea Level Rise in the Pacified Island States of the SPREP Region*, Pernetta C. (Ed), APEI Task Team, UNEP, Split, Yugoslavia, 1-10 pp.

Pernetta, J.C. y J.D. Milliman (Eds.), 1995, "Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone: Implementation Plan", *IGPB Report* N° 33, International Geosphere-Biosphere Programme, Estocolmo, Suecia, s.p.

Pernetta, J.C. y D.L. Elder, 1993, "Preliminary Assessment of the Vulnerability of Belize to Accelerated Sea-level Rise: Difficulties in Applying the Seven Step Approach and Alternative Uses of Available Data", en *Vulnerability Assessment to Sea Level Risen and Coastal Zone Management*, McLean R. y N. Mimura (Eds.), Proceeding of the IPCC/WCC'93 Eastern Hemisphere Workshop (Tsukuba, 3-6 de agosto de 1993), Department of Environment, Sport and Territories, Camberra, Australia, pp. 293-308.

Rogers, S.C., 1985, "Degradation of Caribbean and Western Atlantic Coral Reefs and Decline of Associated Fisheries", Proceeding of the Fifth International Coral Reef Congress, Tahití, 491-496 pp.

Sarma, M.K., 1993, Adaptation Measures, Proceedings of The Second World Climatic Conference, J. Jaguer y H.L. Ferguson (Ed.).

Towle, J., 1999, "Virgin Island Hurricanes" en *Review Island Resources Foundation*, 6 pp.

United Nations Environment Programme (UNEP), 1998 , Environmentally Sound Tourism in the Wider Caribbean Region, UNEP-CAR, *Newsletter*, agosto.

UNESCO, 1999, Hurricane Impact on Beaches in the Eastern Caribbean Islands, 1989-1995, Environment and Development in Coastal Regions in Small Islands, CPACC, Hurricanes in the Caribbean, UNESCO-SCI, París, Francia, 2 pp.

_____, 1998, The Global Ocean Observing System GOOS, Prospectus, *GOOS Publication N° 42*, 144 pp.

Van der Weide, J., 1993, "A System View of Integrated Coastal Management", *Ocean & Coastal Management 21*, 149-162 pp.

Vicente, V.P.; N.C. Singh y A. V. Botello, 1993, "Ecological Implications of Potential Climate Change and Sea-Level Rise", en *Climatic Change in The Inter-Americas Sea*, George A. Maul (Ed.), UNEP, (11) 262-263 pp.

Warew, J.R.; Sv Smith y L.M. Reaka-Kudla, 1992, "Coral Reefs: Sources or Sinks of Atmospheric CO²?", *Coral Reef 11*, 127-130 pp.

Weiss, M.P. y G. Multer, 1984, Dynamic Aspect of Carbonate Sediments Antigua W.I., Advances in Reef Series, a Joint Meeting of the Atlantic Reef Committee on the International Society of Reef Studies, resumen, octubre, Miami, Fla, Estados Unidos.

ANEXO I**ESCALA DE INTENSIDAD SAFFIR-SIMPSON DE HURACANES**

(Según categorías de intensidad, velocidad sostenida del viento y presión superficial)

Categoría	Millas/hora	Millas/segundo	Nudos	Milibares	Pies	Metros
1	74-96	33-42	64-83	>980	3-5	1.0-1.7
2	97-111	43-49	84-96	976-965	6-8	1.8-2.6
3	112-131	50-58	97-113	964-945	9-12	2.7-3.8
4	132-155	59-69	114-135	944-920	13-18	3.9-5.6
5	156+	70+	136+	< 920	19+	5.7+

Fuente: De: Simpson y Riehl, 1981, citados por Landsea, 1998c.

ANEXO II

DESCRIPCIÓN POR CATEGORÍA DE LA ESCALA SAFFIR-SIMPSON PARA HURACANES

Categoría	Parámetros	Efectos
Uno (1)	Vientos entre 74 a 95 millas/h. Presión barométrica mínima o igual a 980 milibares.	Daños principalmente a arbustos y casas móviles que no hayan sido previamente aseguradas. Daños ligeros a otras estructuras. Destrucción parcial o total de letreros o avisos defectuosamente instalados, marejadas arriba de 4 a 5 pies de lo normal. Caminos y carreteras en costas bajas inundadas. Daños menores en muelles, marinas y atracaderos. Las embarcaciones menores rompen sus amarras en áreas expuestas.
Dos (2)	Vientos de 96 a 110 millas/h. Presión barométrica mínima entre 965 a 976 milibares.	Daños considerables a arbustos y arboles. Algunos arboles son derribados. Daños ligeros a otras estructuras. Daños a letreros y avisos colgantes y defectuosamente instalados. Destrucción parcial de algunos techos, puertas y ventanas; pocos daños a estructuras y edificios. Marejadas de 6-8 pies sobre lo normal. Carreteras y caminos cerca de la costa inundados. Las rutas de escape en terrenos bajos se interrumpen 2 a 4 horas antes de la llegada del centro del huracán. Daños considerables a muelles y atracaderos. Las marinas se inundan. Las embarcaciones menores rompen amarras en áreas abiertas. Se requiere la evacuación de residentes de terrenos bajos de las áreas costeras.
Tres (3)	Vientos de 112 a 130 millas/h. Presión barométrica mínima de 914 a 964 milibares.	Daños extensos. Muchas ramas son arrancadas de los arboles. Arboles grandes derribados. Anuncios y letreros que no están sólidamente instalados son llevados por el viento. Algunos daños a los techos, ventanas y puertas de edificios. Algunos daños en la estructura de edificios pequeños. Casas móviles destruidas. Marejadas de 9-12 pies sobre lo normal, inundando extensas áreas de las zonas costeras con amplia destrucción de muchas edificaciones que se encuentran cerca del litoral. Las grandes estructuras cercanas a la costa son seriamente dañadas por el embate de las olas y escombros flotantes. Las vías de escape en terrenos bajos 3 a 5 horas antes de la llegada del centro del huracán debido a la subida del nivel de las aguas. Los terrenos llanos de 5 pies o menos sobre el nivel del mar son inundados en más de 8 millas tierra adentro. Posiblemente se requiera la evacuación de todos los residentes en los terrenos bajos a lo largo de las zonas costeras.
Cuatro (4)	Vientos de 131 a 155 millas/h. Presión barométrica mínima entre 920 a 944 milibares.	Daños extensos. Arboles y arbustos arrasados por el viento. Los anuncios y letreros son arrancados y destruidos. Hay extensos daños en puertas, ventanas y techos. Se produce un colapso total de techos y hay daño en algunas paredes de residencias pequeñas. La mayoría de las casas móviles son destruidas o seriamente dañadas. Se producen marejadas de 13 a 18 pies sobre lo normal. Los terrenos llanos de 10 pies o menos sobre el nivel del mar son inundados hasta 6 millas tierra adentro. Hay grandes daños en los pisos bajos de estructuras cerca de la costa debido al influjo de las inundaciones y al embate de los escombros transportados por las olas. Las rutas de los escapes son interrumpidas por la subida de las aguas 3 a 5 horas antes de la llegada del centro del huracán. Posiblemente se requiera una evacuación masiva de todos los residentes dentro de un área de unas 500 yardas de la costa y también de terrenos bajos y hasta 2 millas tierra adentro.
		(Continúa)
Categoría	Parámetros	Efectos

Cinco (5)	Vientos de más de 155 millas/hora. Presión barométrica mínima por debajo de 920 milibares.	Daños catastróficos. Los árboles y arbustos son totalmente arrancados por el viento. Muchos arboles grandes son arrancados de raíz. Daños de gran consideración a los techos de edificios. Los anuncios y letreros son arrancados y destruidos y llevados por el viento a distancias considerables ocasionando a su vez más destrucción. Daños muy severos y extensos a ventanas y puertas. Hay colapso total de muchas residencias y edificios industriales. Se produce una gran destrucción de vidrios de ventanas y puertas. Muchos edificios pequeños son derribados y arrasados. Destrucción masiva de casas móviles. Se registran mareas muy superiores a los 18 pies por encima de lo normal. Ocurren daños considerables en los pisos bajos de todas las estructuras ubicadas a más de 15 pies sobre el nivel del mar hasta más de 500 yardas tierra adentro. Las rutas de escape en terrenos bajos son cortadas por la subida del agua entre 3 a 5 horas antes de la llegada del centro del huracán. Posiblemente se requiere una evacuación masiva de todos los residentes ubicados en terrenos bajos dentro de un área de 5-10 millas de la costa. Situación caótica.
-----------	--	--

Fuente: Del National Weather Service, Estados Unidos, 1999.

ANEXO III

FIGURAS*

* Los límites y los nombres que aparecen en cada una de las figuras no implican su apoyo o aceptación oficial por las Naciones Unidas.

LOS PEQUEÑOS ESTADOS INSULARES DEL CARIBE

Figura 1

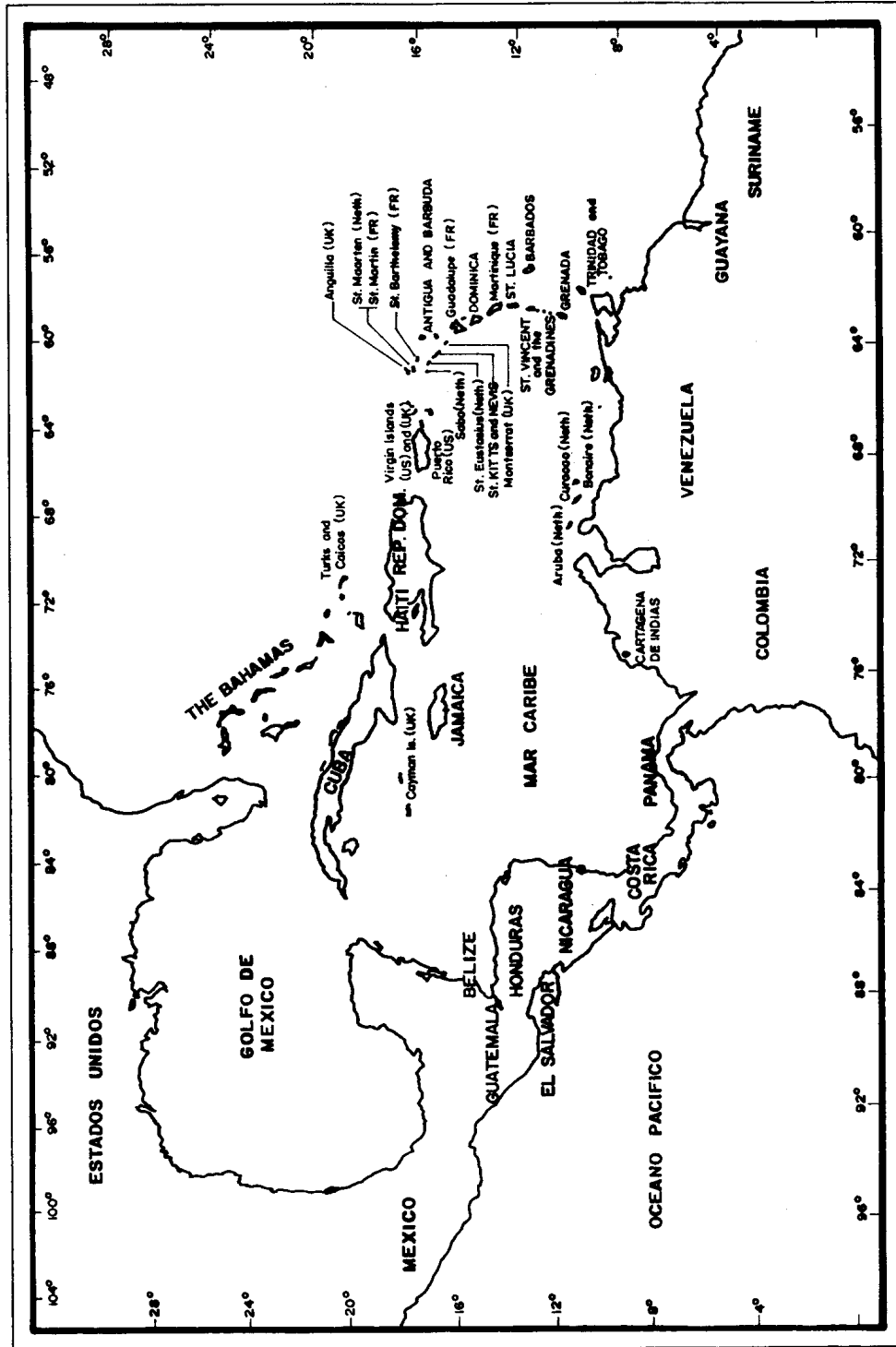
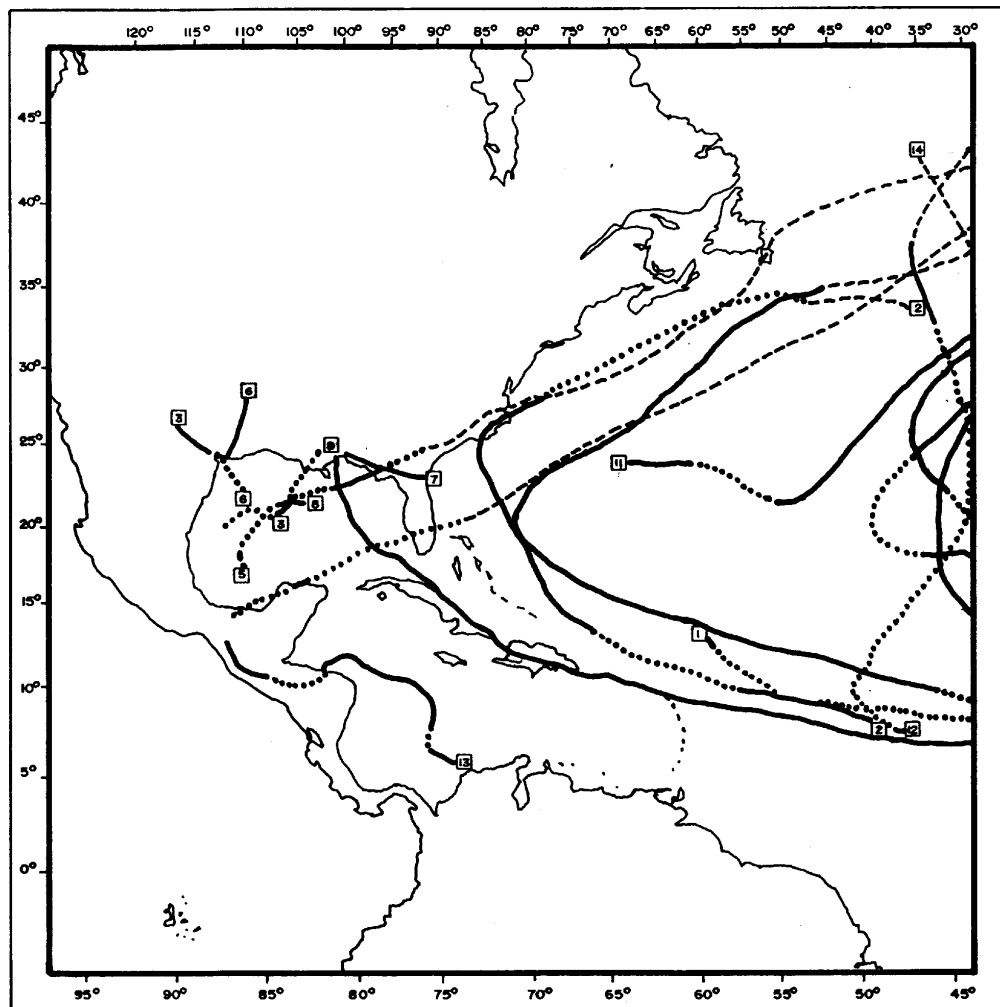


Figura 2

CARTA DE TRAYECTORIA DE LOS HURACANES EN EL CARIBE DURANTE LA TEMPORADA DE 1998

(DE: NATIONAL HURRICANE CENTER 1999)



NUMERO	TIPO	NOMBRE	FECHA
1	T	ALEX	27 Julio - 02 Ago.
2	H	BONNIE	19 - 30 Ago.
3	T	CHARLEY	21 - 24 Ago.
4	H	DANIELLE	24 Ago. - 03 Sep.
5	H	EARL	31 Ago. - 03 Sep.
6	T	FRANCES	06 - 13 Sep.
7	H	GEORGES	15 Sep. - 01 Oct.

NUMERO	TIPO	NOMBRE	FECHA
8	T	HERMINE	17 - 20 Sep.
9	H	IVAN	19 - 27 Sep.
10	H	JEANNE	21 Sep. - 01 Oct.
11	H	KARL	23 - 28 Sep.
12	H	LISA	05 - 09 Oct.
13	H	MITCH	22 Oct. - 05 Nov.
14	H	NICOLE	24 Nov. - 01 Dic.

Figura 3

TSUNAMIS EN EL MAR CARIBE (1530 - 1998)

(DE: IOCARIBE GRUPO DE TSUNAMIS 1999)

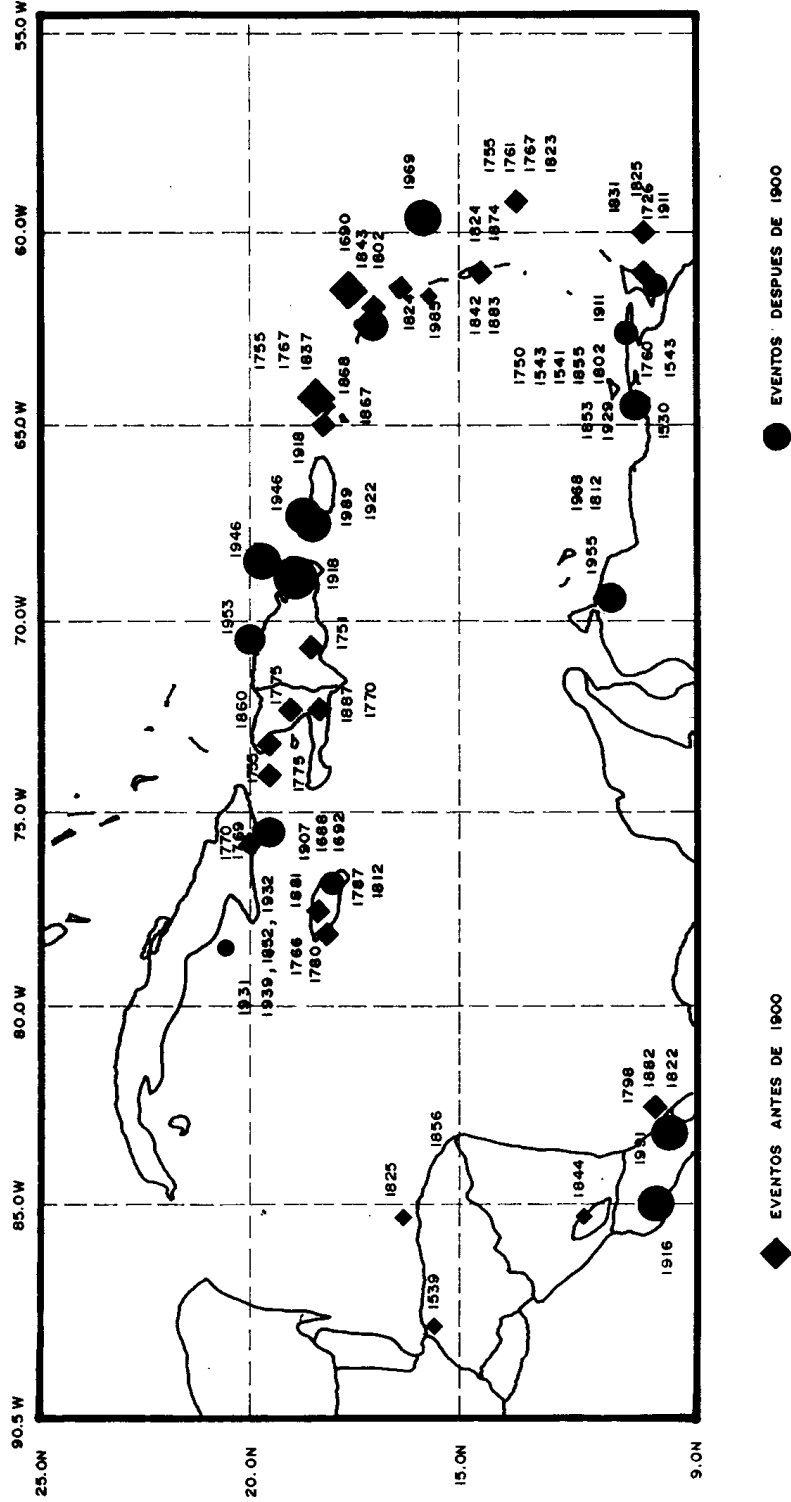


Figura 4

PRADERAS MARINAS EN EL CARIBE
SEGUN IUCN EN MAUL 6(Ed), 1993

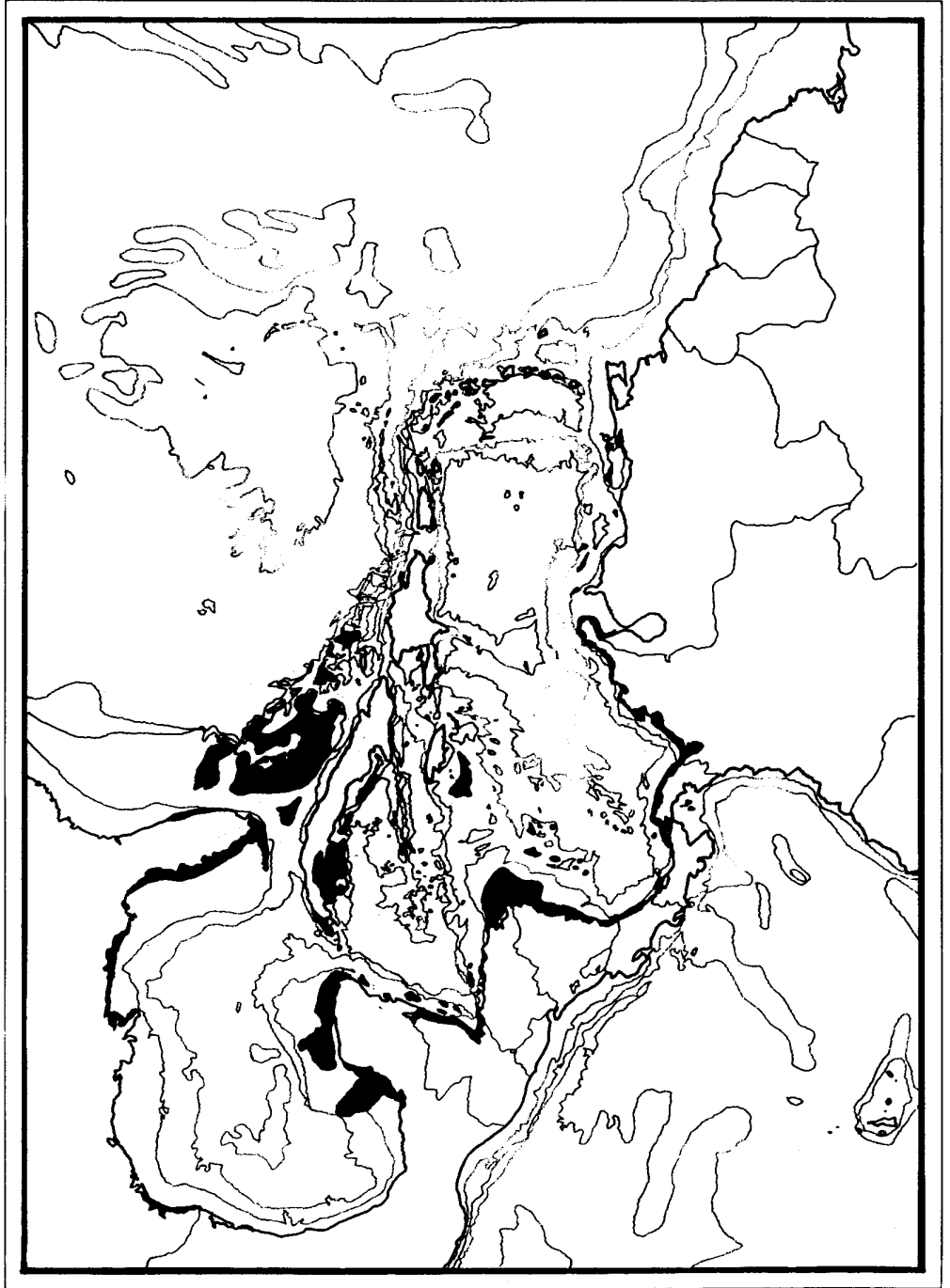


Figura 5

**SISTEMAS ARRECIFALES DEL CARIBE, SEGUN IUCN 1979
E IMPACTOS DE HURACANES, MODIFICADO DE MAUL 6 (1993)**

