
**CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO
UN ENFOQUE COSTERO Y MARINO**

**HABITANTES
Y PATRIMONIO**

Williams-Beck, L., A. Anaya Hernández, O. Pérez Romero y M. E. Arjona García, 2010. El patrimonio inmueble costero en Campeche ante el cambio climático, p. 561-590. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual, y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche, CetyS-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO UN ENFOQUE COSTERO Y MARINO

Habitantes y patrimonio

El patrimonio inmueble costero en Campeche ante el cambio climático

*Lorraine A. Williams-Beck, Armando Anaya Hernández,
Orquídea Pérez Romero y Martha E. Arjona García*

RESUMEN

Una revisión diacrónica de la ecología humana del área litoral de Campeche revela patrones de aprovechamiento y de asentamiento distintos en el tiempo y el espacio. A pesar de la abundancia de recursos naturales disponibles, el aprovechamiento de esta región en época prehispánica se limitaba casi exclusivamente a áreas de actividad por temporada en donde se recolectaban o procesaban especies faunísticas y florísticas, menos de tres casos específicos. Si bien hubo una norma social desde la época pre-Colombina que prohibía colocar centros urbanos en la costa debido a cuestiones ideológicas y prácticas, esta tradición se modificaría ligeramente con el arribo de la sociedad europea en el siglo XVI, pero a causa más bien de factores político y económicos. Con los cambios climáticos que se pronostican para el futuro próximo y el alza subsecuente de los niveles de mar, se pone en peligro gran parte del patrimonio inmueble prehispánico e histórico del área litoral, de acuerdo con los modelos propuestos en el presente. El único remedio factible es tomar medidas paliativas para demorar lo inevitable y rescatar cuando antes la memoria colectiva de esta región.

INTRODUCCIÓN

La península de Yucatán es una gran plataforma calcárea surgida del mar, cuya geografía marina, que abraza los costados poniente, norte y oriente, se divide en tres zonas: litoral, meseta submarina de la Sonda de Campeche y área de aguas profundas en medio del Golfo de México al poniente y del Mar Caribe al oriente (Eaton, 1978). La franja marina más cercana de la vera, identificada como la Zona I, abarca el lado poniente de la península de Yucatán y coincide con el área litoral del estado de Campeche (figura 1). La Zona I se caracteriza también por la poca profundidad del mar y frente a la entidad se divide en dos comunidades ecológicas principales: la primera comprende el bosque de manglar en dos áreas concentradas, la que rodea la laguna de Términos y la península de Atasta al poniente y la otra es una franja angosta que va desde San Francisco de Campeche a Celestún; la segunda comunidad es una zona playera arenosa colocada entre las ciudades Seybaplaya y San Francisco de Campeche y limitando estos dos bosques manglares hay zonas costeras extensivas con áreas rocosas, colinas y barrancas de alturas menores a cincuenta metros (Eaton, 1978).

Los recursos naturales disponibles en el área litoral de la Zona I marítima, con aguas poco profundas, incluyen diversas especies de sargazos, esponjas y corales que abrigan la vera y proporcionan sustento para especies marinas variadas incluyendo peces, mariscos moluscos, por ejemplo: pulpo, cojinuda, charal, sierra, chacchi, caracol, bandera, robalo, balá, pargo, jurel, corvina, boquinete, tiburón, cazón, carito, raya y pámpano, entre otros (COESPO, 2009; Sagarpa, 2006). A pesar de contar con una tecnología moderna hoy día en cuanto a las artes de pesca, estas cifras representan cantidades que palidecen en comparación con aquéllas de hace medio siglo, cuyos montos reflejan seguramente una merma considerable también desde tiempos remotos. Por desgracia, lo anterior parece ser un retrato de las estrategias irracionales que caracterizan el aprovechamiento y desarrollo económico de la entidad basado en la explotación desmesurada de los recursos naturales en la ecología humana en esta región peninsular desde la llegada de los europeos en el siglo XVI (Wolf, 1987). Las mismas políticas de uso insensato continuarían en los siguientes dos siglos y medio y alimentarían los encuentros bélicos entre colonos españoles y piratas europeos debido, en parte, a la explotación del palo de tinte (*Haematoxylum campechianum*; figura 2). Desde ese entonces hasta la memoria histórica reciente del siglo XX, que incluye diezmar las reservas de los dos “oros” naturales de colores negro y rosado por el descubrimiento del petróleo en la Sonda de Campeche y la captura de camarón, no se ha cambiado sustancialmente este panorama de uso ilógico del medio natural para beneficio de unos cuantos.

La masa terrestre de la zona litoral que corresponde al estado de Campeche se caracteriza por la presencia de sustratos calcáreos cársticos clásticos, *sahcab* arenosa y gravas marinas de poca antigüedad en la zona centro norte y de aluvión fluvial en el sector sudoeste cercano de la laguna de Términos (Dunning, 1992; Eaton, 1978; Ruz Lhuillier, 1969; Wilson, 1980). En este segundo sector, como si fuese un mundo aparte del resto del litoral campechano, se desembocan los ríos Palizada, Chumpan, Candelaria y Mamantel que unen las regiones laguneras con el territorio al oriente y sur del estado de Campeche, la zona de la “tierra de agua” de Tabasco

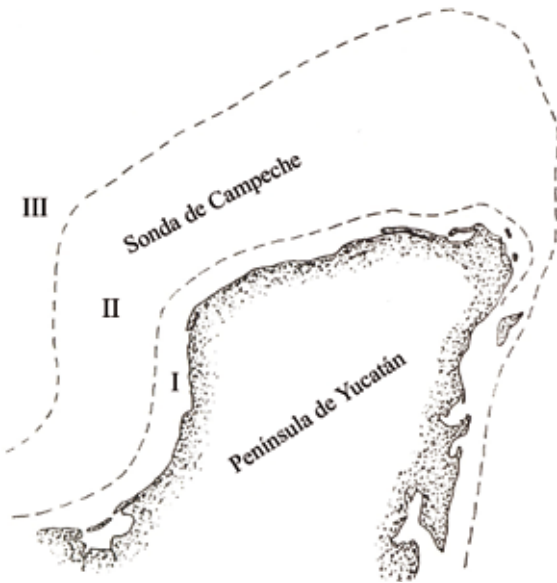


Figura 1. Zonas ecológicas.
Plano redibujado de Eaton (1978).



Figura 2. Bosque de palo de tinte
o palo campechano (*Haematoxylum
campechianum*), río Champotón.

al poniente y el distrito del Petén en Guatemala hacia el sur (Andrews, 1943). Se le caracteriza al área litoral de la planicie costera en esta región sur sudoeste como una “...en constante y relativamente rápida transformación a causa de la débil resistencia que presenta a...las olas, de las corrientes marinas y de los vientos...” (Ruz Lhuillier, 1969:15) (figura 3).

En cambio, por una falta de características ecológicas marinas y ribereñas relacionadas con este nicho del aluvión fluvial, la fisionomía de las áreas litorales centro y norte de Campeche se ha modificado poco en los últimos dos milenios, salvo por la acción constante de arrastre de la orilla en zonas playeras por un oleaje mínimo en la parte centro sur y por vientos huracanados eventuales y otras inclemencias meteorológicas durante las temporadas anuales (Eaton, 1978). A pesar de contar con varias investigaciones sobre comunidades naturales y la ecología marina en esta región (Bolongaro *et al.*, 2010; Botello *et al.*, 2010; Mas y Correa Sandoval, 2000; Rodríguez Herrero y Bozada Robles, 2010; Semarnat, 2007 y 2008; Torres Rodríguez *et al.*, 2010; Villanueva *et al.*, 2010), no conocen estudios científicos a la fecha relacionados con el patrimonio cultural colocado en el área litoral y los cambios en los niveles del mar que pueden impactar en ellos en ambas zonas.

Las comunidades boscosas de manglar se distribuyen por el litoral en franjas de tamaños y espesores variables entre angostas y extensivas en el área inmediatas de laguna de Términos hasta Sabancuy, en la zona del estero y alrededores del río Champotón y desde la ciudad de San Francisco de Campeche hasta Celestún, ubicado en el límite norte del territorio campechano

con el estado de Yucatán. Los manglares se constituyen mayormente por árboles de mangle rojo (*Rhizophora mangle*) y de menor grado el mangle prieto o negro (*Laguncularia racemosa*). Si bien algunos miembros de ambas especies podrían llegar a una altura máxima de ocho metros, en la vera marítima ya no hay tantos árboles maduros en las comunidades costeras y más bien se encuentran desde pequeños arbustos hasta árboles de tamaño mediano (figura 4).

Las zonas arenosas playeras intercaladas entre aquellas manchas boscosas de manglar alrededor de la ría Celestún del extremo norte en el litoral campechano presentan secciones con charcas de evaporación (figura 5) de las que se aprovecha y cosecha sal de mar desde tiempos remotos hasta hoy en día (Andrews 1980a, 1980b). La superficie tierra adentro de la zona manglar en esta franja de la planicie costera se caracteriza por ser una llanura rocosa con zonas pantanosas y *petenes* (figura 6). El último es un término compuesto de la palabra maya *peten*¹ y la forma plural derivada del español que se refiere a las áreas en donde brotan ojos subterráneos de agua dulce y alrededor de los cuales se desarrollan comunidades selváticas, con un alzado de dos a tres metros de la planicie rocosa de la llanura (Duch Gary, 1991).



Figura 3. Pozo de 1709 de la ex-hacienda Xicalango. Hace cuatro lustros el brocal de mampostería se encontraba dentro del monte. Hoy día la marea alta lo acecha.

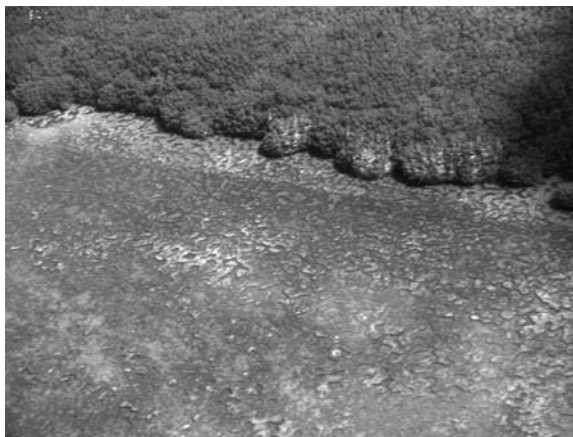


Figura 4. Bosque de manglar en la ensenada al norte de la Bahía de Campeche.

¹ De acuerdo con el diccionario maya *Cordemex*, *peten* quiere decir “...campos llanos de esta tierra junto a la mar, a manera de isletas, donde hay lagartos y tortugas y algunos pescadillos...[o] islote de ciénaga (Barrera Vázquez *et al.*, 1980).



Figura 5. Cosechada de sal de las charcas de evaporación al sur de Celestún.

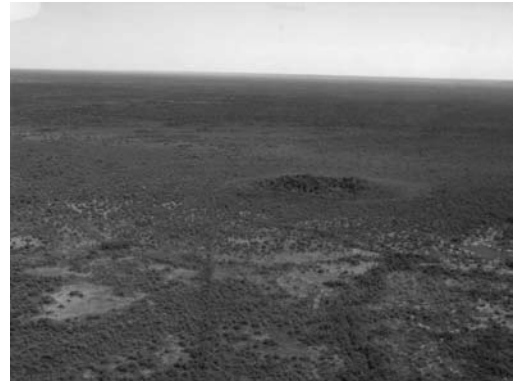


Figura 6. Un *peten* localizado en la zona de marisma cerca del estero del río Homtun.

El medio natural del bosque de mangle marino, de la planicie costera con sabanas, del bosque bajo inundable y del bosque bajo sub-perennifolia, así como de las zonas de lomeríos del bosque mediano sub-perennifolia del área litoral proporcionan hogar para parvadas de diversas aves, mamíferos como venado, mapaches, conejos, armadillos, tejones y reptiles como iguanas, tortugas y otras especies aprovechables por los grupos humanos que se han ido asentando tierra adentro a través del tiempo, los cuales aportaban carne y otros productos comestibles, abrigadores o de adorno. En las áreas elevadas de lomeríos con bosque bajo y mediano en las zonas playeras rocosas entre las ciudades cabeceras de Champotón y San Francisco de Campeche, no sólo se registran especies de mamíferos, aves y reptiles aprovechables, sino también comprenden las áreas en donde el suelo apto para la agricultura presenta mayores profundidades estratigráficas (Eaton, 1978). Sin embargo, la información aportada por Ruz Lhullier y Eaton es prácticamente la única disponible a la fecha sobre la ecología de subsistencia humana en el litoral campechano a través del tiempo.

A pesar de contar con una abundancia de recursos naturales disponibles del área litoral campechana, el aprovechamiento de esta región durante las épocas prehistórica y prehispánica se limitaba generalmente a áreas de actividad en donde se recolectaban o procesaban especies faunísticas y florísticas. Si bien el segundo ecotono playero es en donde se concentra la mayor cantidad de áreas de actividad y/o campamentos humanos por temporada desde el periodo Preclásico tardío (de aproximadamente 300 años antes de nuestra era) hasta la llegada de los españoles en el siglo XVI, entre los pueblos prehispánicos mayas registrados en la geografía política actual de Campeche se evitaba generalmente colocar los asentamientos permanentes con infraestructuras arquitectónicas de mampostería y dimensiones monumentales en la zona litoral. A lo largo de la costa se han registrado un total de cincuenta y seis sitios arqueológicos menores, compuestos por treinta y siete sitios con estructuras no monumentales, por ocho de concentración de materiales arqueológicos y once concheros (INAH s/f; figura 7)². En cam-

² De los cincuenta y seis sitios registrados en la zona litoral, datos de sólo veinte ocho han sido publicados en la literatura especializada.

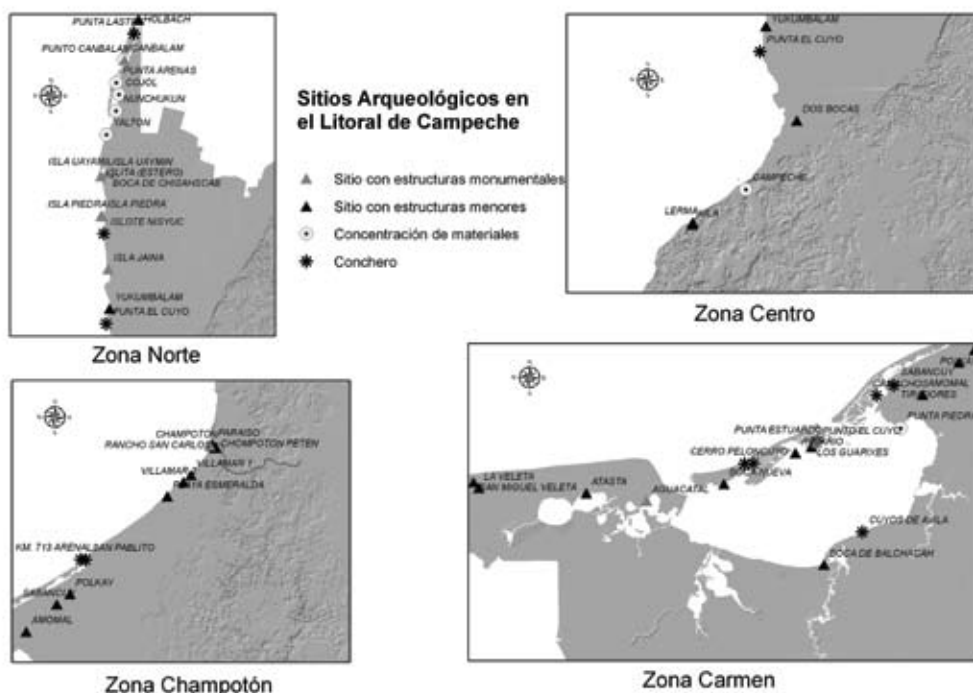


Figura 7. Sitios arqueológicos en el litoral (Plano: A. Anaya Hernández).

bio, los centros urbanos pre-Colombinos perennes con elementos arquitectónicos de mayor envergadura se localizaban a partir de tres a cinco leguas³ de distancia tierra adentro. Las únicas excepciones a esta regla sobre la actividad humana y disposición de comunidades entre las comunidades manglares en el litoral sólo se manifiestan en seis lugares particulares a través del tiempo, localizados en Aguacatal en la laguna de Términos, en el estero del río Champotón y el desemboque del río Homtun en Punto El Cuyo a once kilómetros al este noreste de San Francisco de Campeche, así como en las islas artificiales construidas por el hombre en las zonas costeras centro y norte en Jaina, Isla Piedras y Uaymil. Estos últimos tres casos excepcionales, cumplían funciones más allá de lo cotidiano como se comenta a continuación.

Con la llegada de la cultura occidental europea que asentaría sus reales en Campeche a partir de finales de la tercera década del siglo XVI, aquellas tradiciones y costumbres pre-Colombinos de aprovechamiento se modificarían para siempre al colocar en la vera marina los principales centros urbanos de la época Colonial, que hoy en día comprenden las ciudades de San Francisco de Campeche, Ciudad del Carmen y Champotón. Si bien estas regiones siguen siendo las más pobladas de la entidad, incluyen las más vulnerables también por el impacto que sufrirán los bienes inmuebles históricos debido a los cambios climáticos provocados en gran parte por el calentamiento global.

³ De tres a cinco leguas equivale a una distancia de doce a veinte kilómetros.

El presente capítulo comienza con una descripción breve del componente prehispánico de las áreas de actividad registradas por viajeros y científicos a partir del siglo XIX, más tarde contempladas por individuos académicos entre las décadas de 1940 a 1974 y revisadas recientemente por el grupo interdisciplinario autores del presente. De ahí se desglosan aspectos de la traza urbana europea occidental que cambiaría la fisionomía de la zona litoral campechana en las áreas arenales y/o rocosas de la laguna de Términos y Sabancuy, así como de las bahías de Champotón y Campeche. Además de los lugares de antaño para recolectar y procesar recursos naturales, al fincar los centros urbanos de corte occidental europeo feudal, las instalaciones de haciendas y estancias ganaderas y establecer pueblos de congregación de los naturales para fines de la conquista espiritual del sudeste de la Nueva España, se colocarían también señalamientos marítimos de mampostería como faros o boyas a partir de la época Colonial y Republicana en algunos puntos de la geografía litoral. De sus antecedentes pre-Colombinos de naturaleza parecida, sólo se han descrito en la literatura dos ejemplos arquitectónicos, con plantas y alzados no determinados completamente, que indican el acceso a igual número de cauces fluviales en la zona centro litoral, en donde desembocan los ríos Champotón y Homtún (Eaton, 1968; Ruz Lhullier, 1969; Williams-Beck, 2008 y 2009; Williams-Beck *et al.*, 2010; Williams-Beck y López, 1999; Williams-Beck *et al.*, 2009a).

En seguida, a través de modelos generados desde los sistemas de información geográfica que estiman el alcance del agua salobre por alzas en incrementos de 0.5, 1.0 y 1.5m sobre el nivel del mar actual, presentamos una serie de observaciones acerca de los problemas que enfrentará el patrimonio inmueble prehispánico e histórico ubicado en la zona litoral campechana. Y, finalmente, derivado de este ensayo paradigmático, ofrecemos comentarios sobre las enseñanzas del pretérito en cuanto a las costumbres de asentamiento y aprovechamiento de los espacios litorales, con el fin de señalar propuestas para el devenir de actividades viables en el futuro inmediato y mediano del área costera. Lo anterior se dirige hacia proponer políticas de ordenamiento territorial más acordes con otra realidad que nos espera en tan solo cuatro lustros a partir del año 2010, provocado por los fenómenos meteorológicos e hidrológicos como secuelas del calentamiento global.

HACIA UNA ECOLOGÍA HUMANA DE ASENTAMIENTOS PRE-COLOMBINOS EN EL LITORAL CAMPECHANO

La explotación de recursos marinos a lo largo de la costa de Campeche y los diferentes ecotonos desde el norte hacia el sur han proporcionado patrones de subsistencia distintos desde tiempos remotos hasta hoy en día. Si bien el carácter ecológico natural del área se conoce en la literatura especializada, lo mismo no se puede decir del carácter sociocultural referente a las áreas de actividad registradas en dos estudios principales de la zona litoral campechana. El primero de ellos, de Ruz Lhullier (1969) comprende el parteaguas del tema realizado a mediados de la década los 40. En ello, Ruz Lhullier concuerda con lo expresado por Andrews (1943), en referencia a la zona litoral como una

...impropia para la agricultura, pero potencialmente rica en peces y salinas... [y] no debió haber ser habitada en tiempos precortesianos sino por pequeños grupos humanos, ya que no contiene grandes ruinas, aunque sí numerosos montículos sencillos en la costa, en los estuarios de los ríos tributarios de la laguna y en pequeños islotes dispersos entre tierras inundadas casi todo el año (Ruz Lhullier, 1969).

No obstante el perfil ambiental no apto para la agricultura, para proporcionar espacios que acogieran asentamientos permanentes de dimensiones monumentales o para “grandes conglomerados” urbanos en la vera costera, pero que ésta fuese idóneo para albergar campamentos de temporal extensos para explotar la gran biodiversidad, desde ese entonces a la fecha se ha manejado una hipótesis todavía por sustentarse científicamente que aquellos sitios registrados particularmente en la laguna de Términos habrían de haberse dedicado al comercio. De acuerdo con un argumento romántico a mediados del siglo pasado sobre la ecología humana, estos sitios

...ocupaba un verdadero mar mediterráneo que por numerosos conductos comunicaba con las lejanas regiones habitadas por pueblos muy variados y que ofrecía mayores garantías que el océano para el tráfico comercial.

El río Candelaria, algunos de cuyos afluentes nacen en Guatemala, era la ruta fácil, a través de una selva hostil, para los productos de las industrias y las artes del [Distrito del] Petén. El río Palizada servía de camino a los artículos manufacturados en las grandes ciudades del [río] Usumacinta, de la región de Palenque y de la parte montañoso de Guatemala. La laguna (sic.) de Atasta y sus ramificaciones, conectaba, a través del río San Pedro y de sus tributarios, con Tabasco, donde llegaban los productos de Veracruz, de Oaxaca y de la altiplanicie mexicana. En fin, la península (sic.) de Yucatán, con su densa población y sus innumerables ciudades, tenía en la laguna (sic.) de Términos una puerta abierta sobre las naciones occidentales (Ruz Lhullier, 1969).

Desde la óptica que proporcionan estos modelos económicos modernos, si bien se podría imaginar un sistema de comercio de bienes exóticos que pudiese haberse llevado a cabo en la región lagunera del área suroeste de la entidad, en la práctica esta actividad vigorosa dejaría evidencias arquitectónicas y arqueológicas en el registro histórico del territorio. Los únicos lugares que podrían corroborar la presencia de una imagen que este esquema general pinta sobre los “argonautas” campechanos del Golfo de México, que incluso muestran elementos arquitectónicos permanentes confeccionados de concha marina triturada y quemada, arcilla compactada, arena y de piedra labrada en menor cuantía, serían los sitios de Cerritos⁴ y Aguacatal (figura 8). En segundo lugar se encuentra en una franja arenosa del lado sotavento en la vera del manglar de la península de Xicalango y frente a la laguna de Puerto Rico, como parte del ecosistema laguna de Términos. Sin embargo, ni el diseño de investigación de los trabajos de Ruz Lhullier

⁴ El consenso académico general sugiere que el sitio de Cerritos podría ser el Xicalango de las fuentes etnohistóricas y de documentos españoles del siglo XVI. Si esto resultara cierto Aguacatal sería entonces otro lugar como centinela del desemboque de los sistemas hidrológicas de rías y lagunas menores del área inmediata sudoeste de la laguna de Términos.

en los años 1940 ni otros realizados por la Fundación Arqueológica del Nuevo Mundo (Matheny, 1970) parecieran sustentar la hipótesis de esta caracterización funcional del sitio. Este y otros lugares quedan en lista de espera para comprobar la presencia de lugares habitados permanentemente con elementos arquitectónicos de mampostería en esta región, cuyas funciones giraran en torno de nodos centrales de distribución e intercambio de bienes y servicios a larga distancia.

El primer estudio arqueológico en el litoral campechano logró identificar pocos lugares con escasos restos arquitectónicos en la costa

(Ruz Lhullier, 1969), enfocándose más bien en los tiestos cerámicos recolectados en áreas de mayor concentración de ellos sin especificar los contextos del paisaje edificado con cimientos de estructuras mayores o de otros con tamaños y dimensiones menores asociados a estas agregaciones circunscritas de bienes portátiles. Otra investigación posterior llegó a conclusiones semejantes a las de Ruz Lhullier (Eaton, 1978). En su reconocimiento sistemático y excavaciones controladas en sitios de la región lagunera, así como en otros lugares de la zona playera rocosa entre Sabancuy y San Francisco de Campeche y de ahí hasta Celestún por la zona manglar norte, Eaton no encontraba grandes agrupaciones de arquitectura monumental construidas de mampostería en el litoral. Al muestrear restos de bienes muebles e inmuebles, sondear por medio de pozos estratigráficos y describir los elementos arquitectónicos registrados a la fecha tampoco se logra sustentar un cuadro económico complejo de nodos de distribución de bienes y servicios de esta naturaleza en la zona lagunera o a lo largo del área del litoral campechano.

Un resumen breve de las evidencias para los sitios registrados en la vera marina de Campeche arroja los siguientes datos. De los cincuenta y seis lugares documentados en esta zona ecológica, gran parte de los contextos en estos sitios representa montículos menores como plataformas de alzado mínimo sin restos de superestructuras de mampostería. Lo anterior sugiere que estos fueron aprovechados para captar, recolectar y procesar recursos pesqueros y moluscos marinos desde 300 años antes de nuestra era hasta la llegada de los españoles en el siglo XVI (Eaton, 1968).

Las excepciones de esta regla general se agrupan alrededor de una característica funcional específica relacionada con la cosmovisión y geografía sagrada pre-Colombina maya de tres islas artificiales construidas frente a la vera del bosque de mangle. Las islas de Jaina, Piedra (Inurreta Díaz, 2003) y Uaymil se localizan en la costa norte de Campeche, en un área de profusa vegetación de manglar. Fueron formadas artificialmente mediante rellenos de *sahcab* y piedras acarreados de la tierra firme con arena y conchas marinas locales para levantar encima de estos espacios edificados, cuyos perfiles arquitectónicos se constituyen por plataformas y nivelacio-



Figura 8. Sitio arqueológico de Aguacatal, Municipio del Carmen.

nes artificiales de tamaños distintos. Gran parte de estos rasgos con dimensiones monumentales y la suma total de aquellas plataformas con dimensiones menores no cuentan con restos de cimientos de superestructuras. Porque la mayoría de ellos carece de restos estructurales y otras evidencias del diseño arquitectónico y del trazo urbano, se rechaza la hipótesis de que aquellas plataformas acomodasen encima unidades habitacionales de vivienda para asentamientos humanos permanentes en estos espacios edificados en medio del mar.

En el caso de Uaymil, las investigaciones recientes plantean sin sustento contextual, arqueológico o arquitectónico convincentes que el lugar fungía como un sitio de festejos de mercaderes a larga distancia o un punto de trasbordo en las redes de intercambio a larga distancia (Cobos *et al.*, 2005; Inurreta Díaz, 2004) entre la costa, el sitio y otros lugares sin especificarse ubicados en tierra adentro. El repertorio de materiales cerámicos y líticos recuperados en el sitio refleja porcentajes semejantes reportados para Jaina (Eaton, 1978; Piña Chan, 1968; Carvajal Correa *et al.*, 2009), lo que sugiere un perfil funcional parecido entre estos tres lugares. Si bien en Isla Piedra sólo ha habido un proyecto de investigación científica a la fecha (Cobos *et al.*, 2005), por su método constructivo y material cultural observado en superficie en una visita reciente hecha por la primera autora, se estima que podría cumplir un cuadro funcional semejante al de Jaina y Uaymil. Se les clasificaba a estas tres islas como áreas de actividad relacionadas con la muerte y “de sepulturas” (Eaton, 1978; Piña Chan, 1968).

El paisaje natural conformado por el bosque de mangle, que se extiende a partir de la bahía de Campeche y a lo largo de la costa poniente de la península de Yucatán hacia el sitio de Jaina, se caracteriza también por la frecuencia de manantiales de agua dulce que brotan como remolinos en el entorno marino (figura 9). Cualquier punto elegido al azar en el litoral campechano pudiera haber cubierto con las expectativas materiales, si lo que se buscara sería satisfacer las necesidades inmediatas de sobrevivencia de una aldea de pescadores. Sólo el área inmediata de Jaina ofrece nueve ojos de agua dulce en su alrededor, atributos naturales únicos a lo largo del litoral poniente de la Península (Carvajal Correa *et al.*, 2009).

Para los mayas del horizonte cultural Clásico (de 450 a 1000 años de nuestra era) un elemento del medio natural relevante son los ámbitos de paso o entradas al inframundo o *Xibalba* a partir de portales marcados por “características geográficas determinadas”, en donde la muerte se describe como una relación entre la inmersión del individuo en el agua y su paso hacia el inframundo. Los conceptos de espacio geográfico para el área poniente de la península de Yucatán parecen haberla reservado como un intervalo para recibir la muerte cotidiana del sol en su paso diurno hacia el inframundo acuoso del Golfo de México. Sobre este portal de inmersión y paso hacia el *Xibalba* se sugiere otra interpretación para la isla de Jaina y las otras dos Piedra y Uaymil como obras arquitectónicas, cuyas concepciones fueron las de servir como una “entrada a la abertura” hacia el otro mundo en donde residen los ancestros y se regenera la vida. En el caso de Jaina y por la frecuencia desmesurada de entierros de individuos menores de edad, esta isla artificial colocada en la vera del bosque manglar del área litoral centro norte pareciera haber sido el receptáculo mortuario de infantes “ofrendados” a los dioses *Cháac*, *k'auil* y A (de la muerte) (Carvajal Correa *et al.*, 2009). Estas tres islas con carácter de *bolon-ti'*

k'u⁵ no sólo se relacionan con los nueve niveles del inframundo y sus respectivos señores, sino también sugieren en un lenguaje simbólico el vínculo entre los nueve nudos y aquéllos que sujetan envoltorios funerarios que, en este caso, se guardarían metafóricamente en el gran atado representado por el relleno de que se compone las islas, un contorno aglutinando de conchas marinas, *sahcab*, arena, arcilla y piedra (Carvajal Correa *et al.*, 2009).

Las estructuras prehispánicas de mampostería que se encuentran en medio del mar (Díaz del Castillo, 1982; Ruz Lhullier, 1969) justo en la desembocadura de los ríos Champotón (Eaton, 1968) y Homtún (Williams-Beck, 2008 y 2010; Williams-Beck y López, 1999) parecen señalar las áreas de acceso a una ruta acuática de peregrinación ritual religiosa en medio de las provincias Ca'anpech y Chakanputun, cuyas ciudades capitales Acanmul y Pa'ilbox se ubican en puntos estratégicos a lo largo de los ríos y el sistema hidráulico como acueducto que los unía en el sitio Edzná, colocado al oriente de la ruta como el punto en donde nace el entorno (Williams-Beck 2008, 2010). En el caso de los restos de mampostería en el estero del río Champotón (Williams-Beck *et al.*, 2010), su ubicación ahí coincide también con un fenómeno señalando el rumbo poniente franco en la puesta del sol durante el solsticio de primavera (figura 10).



Figura 9. Uno de los nueve ojos de agua en medio del mar alrededor de la Isla de Jaina.



Figura 10. Restos arquitectónicos de la estructura en el estero del río Champotón (Foto cortesía de M. A. Carvajal Correa 2009).

⁵Este término del idioma maya yucateco significa literalmente “*en el lugar de nueve casas, templos o elevaciones artificiales de tierra sagrados*” (Barrera Vázquez *et al.*, 1980)

EL ÁMBITO DEL PATRIMONIO INMUEBLE HISTÓRICO

La llegada a estas tierras peninsulares de gente de la sociedad occidental europea a partir del siglo XVI marca un cambio en los patrones de conducta previos entre el ser humano y el medio natural del área litoral campechana. El hecho de que fuese España la primera potencia política a nivel mundial en cuanto a asuntos marítimos militares de ultramar (Wolf, 1987; Kennedy 1994) moldearía su manera de ubicar a los principales asentamientos coloniales y plasmar la traza urbana de ellos a través de esta cosmovisión distinta juega un papel importante en la modificación de la ecología humana del área litoral del golfo. Esta tendencia se robustecería por tres proyectos distintos relacionados con el modelo urbano en América: el colombino, el ovandino y el filipino (Salcedo Salcedo, 1996). El segundo de ellos, instaurado por Nicolás de Ovando a principios del siglo XVI en las nuevas colonias españolas asentadas en las islas del Caribe, retomó el plano de diseño del municipio castellano, gobernados por cabildos, en donde se impondría una planificación reticulada con manzanas cuadradas o rectangulares y plaza mayor cercano al puerto coronado por las edificaciones de la iglesia mayor y el ayuntamiento (*Ibid*). A partir de la promulgación del primer código de urbanismo en 1573, conocido bajo el título de *El Orden que ha de tener en Descubrir y Poblar* o las *Ordenanzas* durante el reinado de Felipe II de España, se regularía jurídicamente el diseño urbano de las nuevas ciudades y villas en las colonias y al mismo tiempo que se ratificaban los trazos del espacio en los lugares ya establecidos. En esta nueva disposición legal quedó ordenado que “...la plaza mayor de donde se ha de comenzar la población, siendo en costa de mar, se debe hacer al desembarcadero del puerto...”, revalidando la traza que se había logrado en el diseño urbano de algunas ciudades costeras del Caribe y de la Nueva España (Salcedo Salcedo, 1996). El rasgo común compartido entre varias ciudades y villas hispano-americanas en este proceso urbanizador destacaba el sistema reticulado de diseño (figura 11) que permitía controlar mejor la población concentrada en núcleos estables por estratos sociales bien marcados: los pudientes hispanos y sus descendientes directos residían en el centro y los naturales se asentaban en las zonas más alejadas del recinto urbanizado (García Targa, 1996).

Si bien con la llegada de los europeos en el siglo XVI se encontraban a los naturales asentados en aldeas dispersas en las áreas rurales apartadas después de la caída de las grandes ciudades como Mayapán y sus socios cercanos a mediados del siglo XV, la nueva imagen del centro urbano exigía realizar una tarea precisa para lograr el control territorial y de la población residente en ello. Por un lado se enfatiza la política eclesiástica de la Corona de congregar a partir de la década 1540 a los naturales en el litoral (Scholes y Roys, 1968), en sitios como Xicalango, Tixchel, Champotón, Haltunchén y San Francisco de Campeche, con el propósito de evangelizar a la población indígena y prohibir, a su vez, a las prácticas ritual religiosas “idólatras” de antaño en esta región inmediata de las provincias Chakanputun y Ca’anpech (Williams-Beck 2006; Williams-Beck *et al.*, 2009a). Por otro lado, a partir de ese momento la política gubernamental virreinal comienza a concentrar la vida humana en la costa, a semejanza de aquellas grandes centros marítimos en la madre patria y sus posesiones territoriales en ultramar, tal y como se estipularía en las *Ordenanzas* en cuestión de unos siete lustros más tarde.

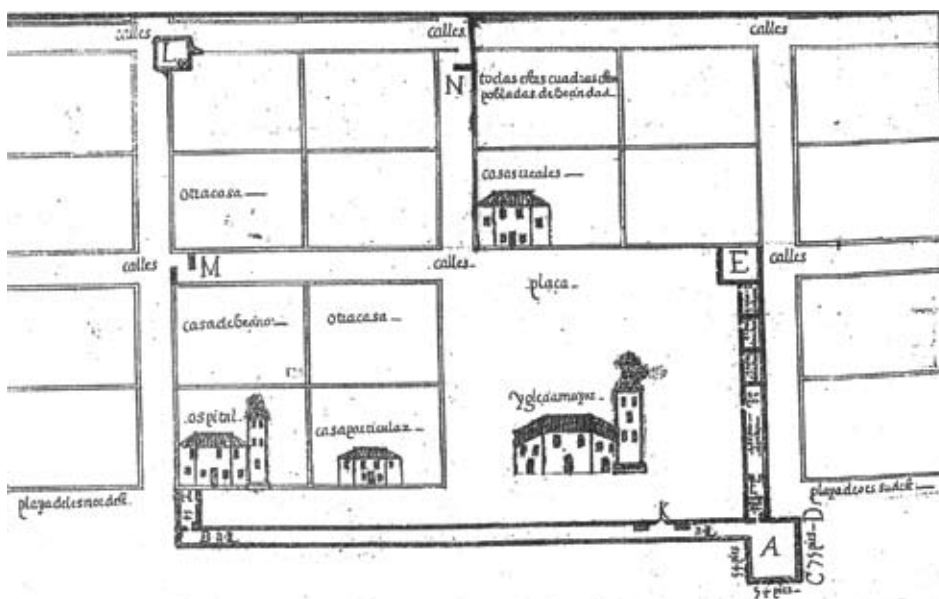


Figura 11. Plano del trazo urbano de San Francisco de Campeche, 1604 (Antochiw, 2007).

Sin embargo, al revisar las primeras interpretaciones de las fuentes primarias y secundarias de la época del descubrimiento del área poniente peninsular en el siglo XVI para redactar los primeros compendios históricos de la entidad, se alegaba que las grandes ciudades de la época Colonial temprana en Champotón y San Francisco de Campeche, por ejemplo, estaban colocadas sobre los cimientos de capitales prehispánicas mayas (Chamberlain, 1982:15, García Bernal, 1977; Lanz, 1904; Piña Chan, 1970 y 1987; Suárez Aguilar y Ojeda Mas, 1996). De los primeros estudios a principios del siglo XX y hasta hace poco, de ahí surgía el consenso general hecho leyenda de este periodo del encuentro de dos culturas, en la que las grandes ciudades de los naturales fuesen desmanteladas totalmente y de cuyos sillares y crujías de mampostería se aprovecharían como material de construcción para los nuevos centros urbanos; sobre el relleno y los escombros de muros se levantarían los inmuebles españoles de la época Colonial temprano. Los recorridos sistemáticos de cientos de metros de zanjas que surcaban el recinto amurallado de San Francisco de Campeche y barrios aledaños de Guadalupe y San Francisco en la década de 1990 no sustentan esta hipótesis sobre la de colocar las ciudades coloniales sobre los asentamientos prehispánicos mayas de mayores dimensiones en la franja litoral de esta región playera (Williams-Beck y López, 1999). Así que por la falta de evidencias tampoco se puede argumentar que los elementos arquitectónicos prehispánicos de dimensiones monumentales fuesen desmantelados completamente para aplicarlos en levantar la traza urbana del periodo Colonial temprano en Champotón y San Francisco de Campeche. Simplemente no hubo grandes sitios prehispánicos con barrios residenciales ni centros urbanos de mayor envergadura confeccionados de cal y canto en la costa, reflejando otra realidad funcional relacionada probablemente con la cosmovisión maya.

En una historia sobre la tenencia de la tierra habría que remontarse también a las políticas coloniales centradas en la dotación de tierras por parte de la Corona a particulares en “encomienda”. Por este concepto de uso geográfico autorizado por decreto se entiende una institución socio-económica mediante la cual un individuo recibía de la Corona tierras que debía retribuir parte a ella y a terceros en trabajo, especie o por otro medio, por el disfrute de un bien o por una prestación que hubiese recibido (García Bernal, 1978; Florescano, 1975). En el caso de la zona sudoeste y hasta el área central del estado de Campeche, el primer pueblo fundado es San Pedro de Champotón en 1537, por parte de don Francisco de Montejo y la Orden Franciscana y de ahí el individuo de mayor dotación de tierras por la Corona entre 1539 a 1548 fue don Francisco de Montejo, el Adelantado, cuyas tierras dotadas por la Corona en encomienda abarcaban desde Santa María la Victoria–Potonchán del río Grijalva en Tabasco⁶, Xicalango⁷, Champotón–Ulumal–La Joya⁸, San Francisco de Campeche (Izquierdo, 1995 y 1997; Ruiz Abreu, 1994; *Relaciones histórico-geográficas* II 1983) y, quizá, hasta Real de Salinas (figura 12) por la costa extrema noroeste de la entidad.⁹ Es difícil saber el tamaño real del territorial bajo su mando, porque entre los mismos conquistadores españoles de la época hubo forcejeos jurídicos en cuanto a las dotaciones conseguidas de la Corona y los límites de sus tierras en encomienda. Sin embargo, en 1548 por un juicio fiscal ante la Real Audiencia y por medio de la Audiencia de Confines todo ese territorio inmenso entre Potonchán, Tabasco y Mérida, Yucatán, se le fue confiscado y remetido a la Corona, para su administración (Izquierdo, 1995). De ahí se pierde el hilo conductor que nos permite identificar cuáles individuos se encargarían después de las diversas encomiendas y estancias para la explotación de recursos naturales en esta zona. Con el censo de las tierras de la Nueva España durante el periodo del Rey Felipe

⁶ Para mediados de la década de 1520, Francisco de Montejo, el Adelantado, ya había logrado el nombramiento de Alcalde Mayor y por sus esfuerzos en la conquista del sudeste de la Nueva España la Corona le concedió terrenos en encomienda en Santa María la Victoria – Potonchán – Río Grijalva (Scholes y Roys, 1968; Ruiz Abreu, 1994; Izquierdo, 1995 y 1997). Este puesto lo pierde en 1530 por un juicio promovido por Baltasar de Osorio (Scholes y Roys, 1968).

⁷ Izquierdo (1997) menciona que la región alrededor del sitio Xicalango ya era sometido por El Adelantado para 1525 y 1529, de acuerdo con lo que interpretó de la “Probanza de don Francisco, cacique de Xicalango” de 1552. Todavía se desconoce el lugar específico tanto del asentamiento prehispánico de naturales como en donde asentaría el pueblo colonial, que rendía tributo a la Corona a mediados del siglo XVI.

⁸ El Adelantado se traslada al área de Champotón – Campeche a principios de la década 1530, en donde ya para 1531 y después de la batalla del día San Bernabé, ubicado en las afueras del segundo lugar, para mediados de la década al retirarse Montejo desde la provincia de Tabasco hacia Yucatán esta región se convierte en la punta de lanza de la última conquista de la península de Yucatán (Scholes y Roys, 1968; Chamberlain, 1982).

⁹ Sin embargo, un estudio arqueológico e histórico reciente de Real de Salinas (Burgos Villanueva y Andrews, 2001) reporta que las únicas fuentes históricas encontradas en los archivos de Mérida, Yucatán, datan al siglo XIX. No obstante, los métodos constructivos en las estructuras arquitectónicas de las instalaciones de la ex hacienda salinera y de extracción de palo de tinte sugieren un marco cronológico más antiguo para este lugar en la península campechana del área inmediata de Celestún, Yucatán.

II entre 1577 y 1579, brilla por su ausencia información sobre las tierras en Campeche administradas ya por la Corona que fueron parte de la zona que le fue encomendada a don Francisco de Montejo el Adelantado por sus servicios rendidos a Carlos V (*Relaciones histórico-geográficas* I:XX-XXIII).

Desde la década de 1540 comienza esta historia sobre la tenencia de tierra en la región sudeste de la Nueva España (García Bernal, 1978). En ese entonces estuvo bajo el mando de Francisco de Montejo el Adelantado, hasta que fue removido por la Corona de la península de Yucatán al asumir el cargo de Alcalde Mayor de Tabasco a finales de 1548 (Izquierdo, 1995). Justo una década antes del retiro

de las fuerzas políticas y socios del Adelantado, se inicia otro capítulo en la crónica sobre la región mayor, en donde se enfatizan vaivenes en una lucha de intereses entre varios actores civiles, eclesiásticos y militares por tratar de arraigar su poder, ser productivos y volverse colonos (Izquierdo, 1995). Durante los siguientes sesenta años, esta pugna por imponer sus voluntades entre autoridades del Gobierno Virreinal, los consejeros del Cabildo Municipal, los eclesiásticos franciscanos y los vecinos mestizos e indígenas no sólo cobraría más que víctimas a los particulares, sino también resaltaría la falta de consenso en establecer acciones encaminadas hacia el bienestar común de la región y del pueblo residente en ella (González Cicero, 1978). Sin embargo, lo narrado en los documentos y los estudios académicos de ellos sobre esta incertidumbre de pertinencia terrenal tiende a inclinar la balanza a favor de la parte eclesiástica. De esta información se puede inferir también que hubo una población indígena algo nutrida, por la presencia de numerosos inmuebles religiosos como capillas abiertas de visita y por lo que acontecería enseguida del siglo XVII (Williams-Beck, 2008 y 2010; Williams-Beck *et al.*, 2009a, 2009b y 2010).

De acuerdo con las fuentes, ya para mediados del siglo XVI se establece en esta región litoral central el primer pueblo de reducción – congregación forzada de los naturales de la provincia de Acalan en Tixchel en 1557. El sitio de Tixchel (figura 13), colocado en la vera oriental de la ría de Sabancuy que desemboca en la laguna de Términos hacia el sur, fue el elegido porque con un asentamiento prehispánico colocado unos doce kilómetros tierra adentro sería más fácil convencer a los naturales volver a habitar a éste y otro en la vera de la ría por ser una escala estratégica en la ruta de comercio y de los viajeros del periodo Colonial entre Tabasco y Yucatán (Scholes y Roys 1968:170). Previo a esto había estado bajo la encomienda de Antón García, vecino de San Francisco de Campeche que continuó como el principal hasta que se levantara la *Matrícula de Tixchel* en 1569 (Scholes y Roys, 1968).



Figura 12. Capilla de la ex-hacienda Real de Salinas, Celestún, Campeche. Los métodos constructivos sugieren una temporalidad más antigua que lo narrado en los documentos históricos hallados en los archivos peninsulares.



Figura 13. Capilla de la ex-hacienda Tixchel, Municipio del Carmen.

En el caso de asentar sus reales los españoles en la ciudad colonial de San Francisco de Campeche, hay una gran planicie rodeado por colinas en sus costados sur, oriente y poniente con el lado norte delimitado por el mar. Desde el punto de vista militar español del siglo XVI (cf. Jones, 1989), no cabe duda alguna de que este último lugar, ganado a capa y espada, llenaría los cuadros de seguridad requeridos para un asentamiento colonial, por ser más protegido y asimismo defendible ante cualquier ataque que se les emprendieran. El diseño urbano de la antigua villa de San Francisco de Campeche, declarada Patrimonio

Cultural de la Humanidad en 1999, aprovecha esta planicie limitada al norte con una bahía frente al Golfo de México, es un ejemplo de trazo regular circunscrito a un hexágono irregular (García Ramos, 1983) e incluye la plaza principal con calles paralelas al mar orientadas oriente – poniente y perpendiculares a éstas orientadas norte - sur que la dividen en cuarteles, con manzanas cuadradas o rectangulares (véase figura 11). Por el asedio de los filibusteros desde el siglo XVI y porque la *Ordenanza* 41 de 1573 estipulaba “*No se elijan sitios para pueblos en lugares marítimos por el peligro que en ellos hay de corsarios y por no ser tan sanos...*” (Salcedo Salcedo, 1996), no se levantarían otras ciudades, pueblos o villas en el litoral hasta el siglo XVIII.

Suple esa etapa de evitar fundar ciudades o villas en el litoral otra iniciativa de políticas públicas para reforzar la defensa de los lugares coloniales ya establecidos en la zona poniente de la Gobernación de Yucatán. Para principios del siglo XVII los documentos narran sobre el inicio del sistema fortificado alrededor de la Villa de San Francisco de Campeche (figura 14), levantando el Fuerte del Bonete cerca de la plaza principal en 1610 y otra instalación militar llamada San Benito colocada al poniente de la villa (Antochiw, 1994, 2006 y 2007; Piña Chan, 1987; Sierra, 1998). Tardaría más de un siglo concluir el sistema fortificado alrededor del recinto urbano con seis fuertes, dos puertas de acceso en los costados norte y sur y dos accesos peatonales menores laterales frente a los Barrios de Guadalupe y San Román. Se culmina esto con la construcción y puesto en servicio de la Puerta de Tierra entre 1725 y 1732 (Piña Chan, 1987). El recinto amurallado se remataría después por dos reductos en las elevaciones topográficas hacia el oriente (San José) y el poniente (San Miguel) acompañados por dos baterías al pie de cada uno (San Matías y San Luis, respectivamente), hasta finales del siglo XVIII (Antochiw, 1994 y 2006; Piña Chan, 1987; Sierra, 1998). Otro reducto de la misma época histórica, llamado San Antonio, se edificaría frente al estero del río Champotón.

La punta de lanza de la inseguridad que propició erigir el sistema defensivo se debió a los filibusteros holandeses, ingleses y franceses “...que llegaron en 1558 a refugiarse, primero, para

después aprovecharse de los recursos naturales [el palo de tinte] de la Isla de Términos[,]...como refugio seguro y convertida en base para diferentes ataques por mar y tierra...[; era el] puerto de avituallamiento de las naves corsarias” (Sierra, 1998). No sería hasta 1717 que el gobierno Colonial español pudiera reconquistar la isla y se fundaría la Villa del Carmen en la Isla del Tris con El Presidio (figura 15), una estacada para la defensa (Antochiw, 1994; Piña Chan, 1987; Sierra, 1998). Este reducto no estaría tan retirado de la otrora base de operaciones del Adelantado Francisco de Montejo en la exHacienda Xicalango en la península del mismo nombre.



Figura 14. Primeros inmuebles defensivos en San Francisco de Campeche, 1610 (Antochiw, 1994).



Figura 15. El Presidio y Villa del Carmen, siglo XVIII (Antochiw, 1994).



Figura 16. Faro Xicalango, edificado a mediados del siglo XIX y ubicado en los terrenos de la ex-hacienda Xicalango cerca del lugar donde atracaba la panga de Zacatal, Municipio del Carmen, reemplazado después por el Puente de Zacatal en 1994.

Tanto la Villa del Carmen, levantada mayormente con edificaciones de madera con techos de material perecedero al igual que sus muros y ubicada junto al mar (Sierra, 1998), como el pueblo de San Pedro de Champotón (González Cicero, 1978) conservan poco sus trazos urbanos originales de la época Colonial temprana.

Casi los últimos inmuebles históricos agregados a la línea costera de Campeche, para agilizar el transporte marítimo del comercio a ultramar y evitar mayores índices de naufragas, fueron a partir de mediados y hasta finales del siglo XIX. En el transcurso de diez lustros se levantarían por lo menos cinco faros en Xicalango (figura 16), Isla Aguada, Champotón, El Morro – Seybaplaya y el exTemplo de

San José – San Francisco de Campeche. Otras atalayas marítimas se colocan después en el siglo XX como puntos de referencia para los pescadores radicados en la parte norte del área litoral en Isla Arena y Celestún, Yucatán, estado vecino al norte de Campeche.

CAMBIOS EN EL NIVEL DEL MAR Y SU AFECTACIÓN AL PATRIMONIO INMUEBLE

Para identificar cuáles inmuebles del patrimonio cultural serían impactados por el aumento en el nivel del mar, a partir de un Modelo Digital de Elevación (MDE), con una resolución de píxeles de 20 x 20m, se generaron tres cotas de nivel, con intervalos de 0.5m a 1.5m, que delimitan las áreas de inundación de la zona costera con cambios de menor a mayor cuantía. Se estima que en el transcurso de los próximos veinte años y sin cambios en las tendencias de condiciones climatológicas actuales referente al incremento de temperatura, a la pérdida de ozono y a la disminución de glaciales y capas de hielo en ambos polos norte y sur, alcanzaremos el primer intervalo de aumento del mar en un 0.5m

Acompañado por el aumento en el nivel del mar se registran también cambios en la dinámica y magnitud del oleaje. Por esta combinación de agua, altura y fuerza de pegue, se diseñó otro modelo que incluye las áreas de erosión extrema (figuras 17, 18 y 19). Si bien en el territorio estatal el noventa y cinco por ciento de ello presenta erosión ligera y menos del uno por ciento padece de erosión extrema (calculada en aproximadamente 23 043 hectáreas), un treinta y dos por ciento de las tierras con tendencias hacia las mayores cifras de erosión extrema (calculada en unas 7.363 hectáreas) comprende la zona de litoral (Gobierno del estado de Campeche, 2007). Por ello, el riesgo principal al que se enfrenta el patrimonio cultural inmueble no yace

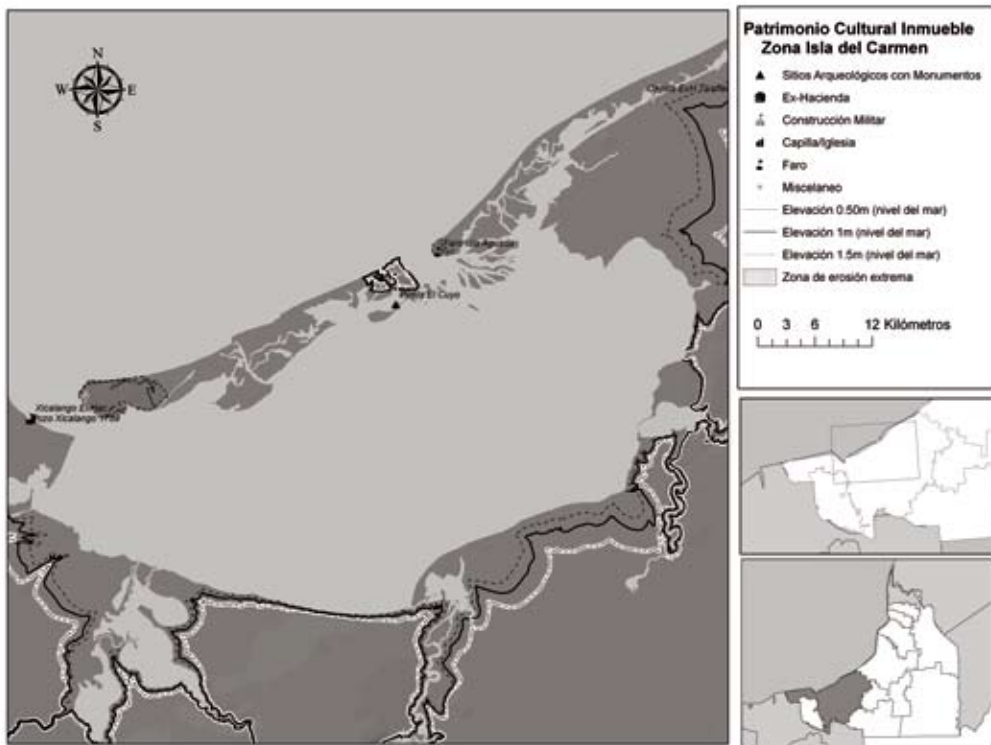


Figura 17. Alzas en el nivel del mar y el impacto sobre el patrimonio inmueble costero de la zona sur (Plano: A. Anaya Hernández).

simplemente en el aumento del nivel del agua, ya que ninguna de las cotas de elevación son suficientemente altas para sumergir totalmente al mismo, sino es por la conjunción de ambos factores. Lo anterior implica que las áreas costeras se caracterizan por ser zonas de alta energía, en donde el agua, su altura y el golpeteo incansable del oleaje actúan como catalizadores en el estado de deterioro del patrimonio cultural inmueble. Esto se nota sobremano en la cota de nivel menor, de 0.5m, en las zonas de San Francisco de Campeche, Champotón e Isla del Carmen.

En la mayoría de casos de sitios prehispánicos caracterizados por restos arqueológicos de menor envergadura, cuyos perfiles funcionales incluyen campamentos o estaciones para captar y/o procesar elementos comestibles del medio marino localizados en la zona litoral, esta combinación de agua, golpeteo y arrastre acabaría con todos ellos. Si bien se presentan en algunos casos elementos arquitectónicos de dimensiones menores, su contenido cultural abre ventanas todavía hacia el vislumbrar los hábitos de procesar y consumir productos alimenticios y de fabricar otros bienes de usos no cotidianos, por lo que su pérdida representa una privación de información científica valiosa para comprender, explicar y reconstruir los procesos de desarrollo cultural del pueblo campechano (figura 20).

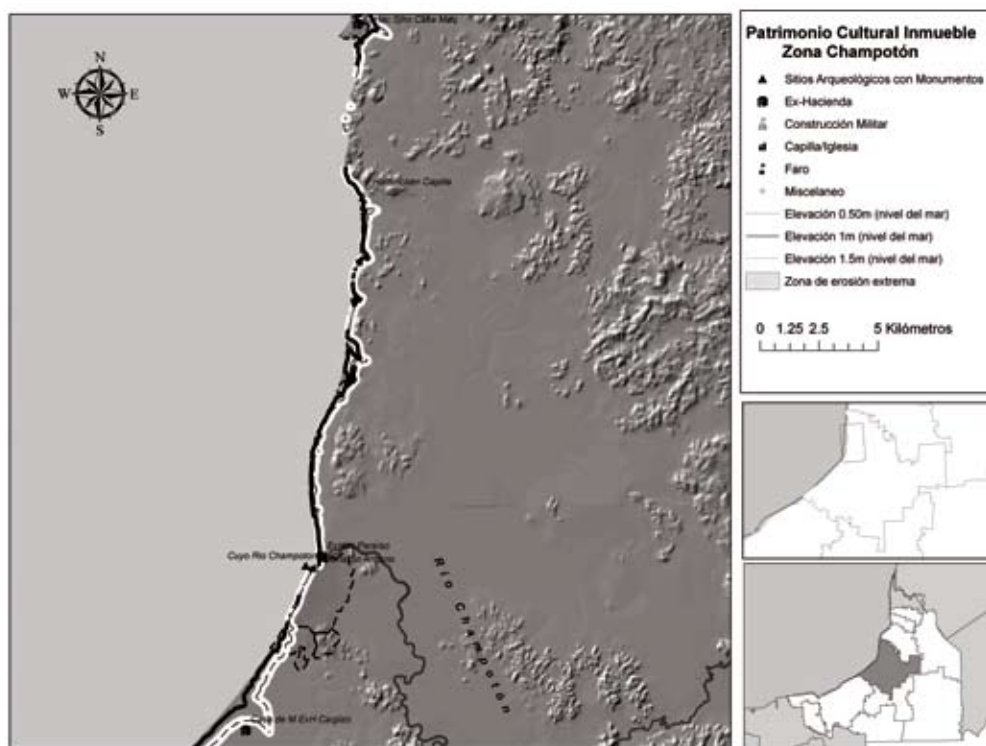


Figura 18. Alzas en el nivel del mar y el impacto sobre el patrimonio inmueble costero de la zona centro (Plano: A. Anaya Hernández).

REFLEXIONES FINALES: ENSEÑANZAS DEL PASADO, PROPUESTAS PARA EL FUTURO

Una revisión diacrónica de los patrones de asentamiento, subsistencia y ecología humana en la zona litoral de Campeche revela un aspecto dimorfo en cuanto al marco temporal más que en el carácter ecológico de ecotono cuando se compara la primera con otras áreas litorales de la península de Yucatán. Si bien los pueblos prehispánicos tanto tierra adentro como en la vera marina buscaban generalmente lugares fijos en terrenos ligeramente alzados para evitar problemas de inundación por precipitaciones pluviales o de embravecerse las olas y la marea durante tormentas tropicales, el caso de sitios de mayor envergadura arquitectónica y urbanística que se ausenta en el litoral campechano nos intriga, particularmente por la poca cuantía de lugares documentados a la fecha en la literatura especializada. El argumento sobre un medio natural de bosque manglar inhóspito por la presencia de insectos y otras alimañas desagradables para la convivencia cotidiana tampoco resuelve la incógnita por encontrar en las zonas centro y norte de la costa áreas vastas de ciénagas, pantanos y humedales con agua de superficie a través del año a partir de dos a dieciséis kilómetros y en otras zonas hasta sesenta kilómetros o más de distancia tierra adentro. Es en estas áreas lejos del mar en donde se localizan los centros urba-

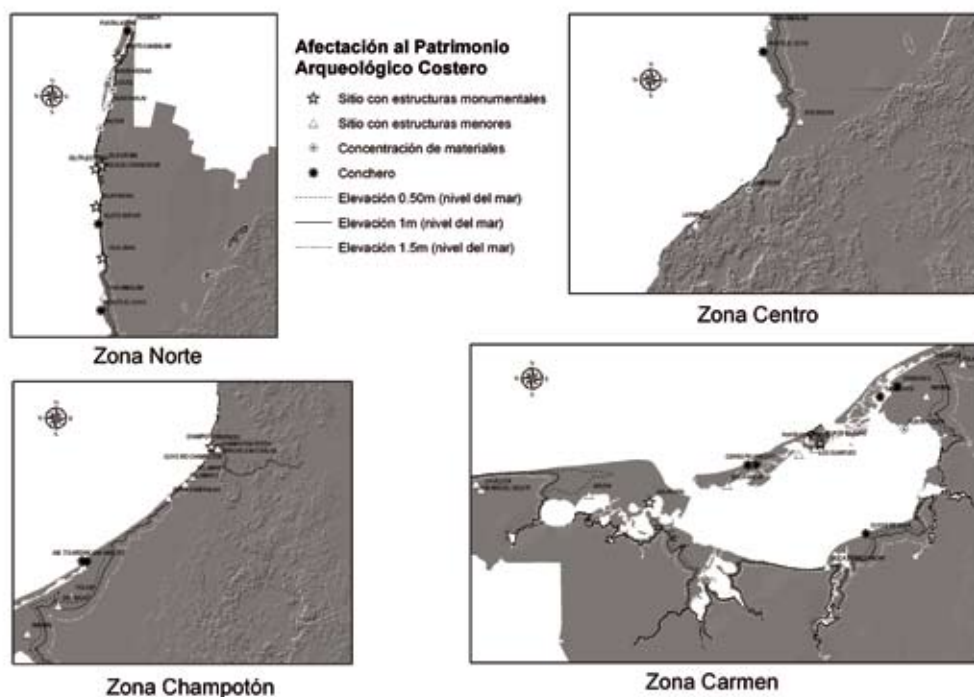


Figura 20. Afectación del patrimonio arqueológico de dimensiones menores en el área litoral.

...tortuga ...[que] flota[ba] en las aguas navegables del Golfo de México y del Mar Caribe y, metafóricamente, adentro de una llanura de agua ardiente conocida ancestralmente como la K'ahk' Nabb, el charco ardiente, que se refiere al sol que amanece en el Caribe y se oculta en el Golfo de México. Los cocodrilos sobrenaturales exhalaban las nubes que traían la lluvia. En los tiempos primordiales, el mismo mar adoptaba un matiz y esencia de la sangre y era el lugar en donde acontecían las batallas cósmicas entre los dioses y los tiburones [o xoc¹⁰ en maya], en donde [estos] saurios monstruosos perdían las cabezas en sendos actos de decapitación. En esta “plataforma” rodeada por agua en marcha, la sociedad maya prosperaba y desarrollaba una perspectiva distinta del mar, de sus recursos preciosos y de su influencia penetrante en todos los aspectos de la vida...

El agua era más que un compuesto esencial que sostenía a la gente y a los productos que comía. Era el medio fundamental y vital de lo que se surgiría el mundo terrestre, de donde emergerían y regresarán los dioses al momento de la muerte y en donde residían los ances-

¹⁰El término maya *xoc* se reviste de múltiples sentidos. Además del mamífero marino otros significados realcen conceptos como obediencia, respeto, adoración, como cosa respetada y tenida en mucho, contar y rezar (Barrera Vázquez *et al.*, 1980).

tros. Por arriba y por debajo de ellos, rodeado por todos lados, en el pasado y en el futuro el agua encarnada por el mar era el factor decisivo del mundo espiritual maya... (Finamore y Houston, 2010; traducción del inglés al español por los autores).

Los argonautas de altamar supremos de toda la sociedad europea occidental que llegaron a estas tierras en el siglo XVI encontrarían vastas expansiones de terrenos aptos, desde su punto de vista como marineros, militares y marchantes, para fincar sus reales en el Nuevo Mundo. Si bien harían caso omiso a las prohibiciones cosmogónicas o prácticas de los antiguos moradores de no instalarse en los márgenes de un límite a otro mundo, como el espacio en donde se ocultaba el sol y paseaba por el medio acuoso de los ancestros a través del portón al inframundo y a la muerte, o de evitar las zonas bajas que podrían inundarse durante temporadas eventuales por embravecerse la marea o por precipitaciones pluviales exageradas, las disposiciones jurídicas de las *Ordenanzas* o las acciones por los filibusteros ahuizotes desde el continente europeo servirían como otro factor que frenara la proliferación de asentamientos humanos en la zona litoral. Desde el momento que vieron por vez primera las tierras de Ca'anpech y Chakanputun en 1517 y hasta 1573, sólo se lograrían fincar sus reales en tres lugares: un pueblo llamado Salamanca de Campeche en 1531¹¹, otro con el topónimo de Champotón¹² en 1537 y la villa de San Francisco de Campeche en 1540. A casi dos siglos después de comenzar el ocaso del azote bucanero en el litoral campechano se lograría recuperar los espacios perdidos a los huestes depredadores del medio natural y del pueblo campechano Colonial en la Isla del Carmen en 1717. Si bien más adelante esta villa y la de San Francisco se convertirían en las metrópolis de la zona poniente de la península de Yucatán, por concentrar los intereses económicos y comerciales marinos en ellas dos, las nuevas generaciones de colonos hispanos y nativos criollos harían caso omiso también a las prohibiciones de antaño de urbanizar la franja litoral por olvidarse de otra regla general mayor: lo que se resta del mar, tarde o temprano el medio acuoso lo vuelve a recuperar.

¹¹El lugar preciso en donde colocaron el primer poblado de Salamanca de Campeche, al igual que en el caso de San Pedro Champotón, se desconoce todavía. No obstante, por el patrón de fundación de otros pueblos y villas en la zona sudeste de la Nueva España y en el Caribe, como en el caso de Veracruz (Villa Rica, la Antigua y San Juan de Ulua), Santa María la Victoria – San Juan Bautista Villermosa y la Hispañola, el primer campamento del tipo tentativo sería reemplazado por el pueblo permanente, con un diseño urbano que obedecería las normas que después fuesen ratificadas por las *Ordenanzas* en 1573.

¹² Cuando se combinan las tres sílabas chan, pot y on del maya, quiere decir “*que no se escabullaron o... zafaron*” (Voss 2004), refiriéndose a la batalla de la “Buena Pelea” entre nativos y extranjeros cerca del estero y posiblemente en algún otro rincón de la cabecera municipal hoy en día. En este conflicto el Conquistador y Capitán de Nave Francisco Hernández de Córdoba se hirió mortalmente y el cronista Bernal Díaz del Castillo sufrió heridas por “flechazos” también (Díaz del Castillo 1982). Efectivamente todos no se escaparon sanos y a salvo. El topónimo maya *chanpoton*—sin acento en la última sílaba—se adoptaría también a partir de 1518 por los españoles, quienes seguramente no comprendieron cabalmente el sentido original del término como algo conmemorando la victoria indígena y su derrota en este lugar, para continuar llamando a la ciudad, al área inmediata y al río con el mismo nombre, Champotón, pero ahora hispanizado y con acento.

Y, finalmente, derivado de este ensayo paradigmático, ofrecemos comentarios sobre las enseñanzas del pretérito en cuanto a las costumbres de aprovechamiento de los espacios litorales, con el fin de señalar propuestas para el devenir de actividades viables en el futuro inmediato y mediano del área costera. Lo anterior se dirige hacia proponer políticas de ordenamiento territorial más acordes con otra realidad que nos espera en tan solo cuatro lustros a partir de 2010, provocado por los fenómenos meteorológicos e hidrológicos como secuelas del calentamiento global. Algunos lineamientos podrían incluir los siguientes:

1. Limitar los permisos actuales y prohibir nuevas solicitudes para cambio de usos de suelo que incluyen fraccionamientos de unidades residenciales en terrenos con elevaciones menores localizados en la zona litoral.
2. Mayores recursos para llevar a cabo proyectos de investigación y conservación del patrimonio cultural inmueble del área litoral campechana, para mitigar las secuelas de la pérdida de información científica y/o inmuebles prehispánicos del pueblo maya o históricos de las comunidades española y criolla.
3. Completar los inventarios de sitios y estructuras prioritarias que requerirán de medidas de salvamento o re-ubicación ante el aumento del nivel de mar, así como ante el aumento de índices de humedad y de salitre en los cimientos antiguos de mampostería.

Sin embargo, el reordenamiento de políticas públicas en cuanto se refiere al conservación y protección del patrimonio inmueble tampoco es una medida de salvaguarda segura. Por lo que se ha discutido en relación a las distintas prioridades socioeconómicas, ideológicas y sociopolíticas a que se dedicaban los colonos españoles, sus descendientes y los pueblos mayas antes de que estos nuevos inquilinos llegaran, aunada a la situación de desventaja relativa al conocimiento milenario del paisaje ecológico que los naturales tenían y mantenían a través de un discurso mitológico objetivado en el ritual, el patrimonio inmueble arqueológico e histórico de los antepasados colocado en las zonas de alto riesgo del área litoral es realmente insalvable. Lo único que se podría hacer es tomar medidas paliativas, como la restauración de la cobertura manglar natural en algunas áreas, que retardarán las secuelas del proceso de deterioro causado por la elevación del nivel del mar, que eventualmente seguirá inexorablemente su curso natural.

AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos hacer patente nuestro agradecimiento al Mtro. Jesús Argáez Uribe, Director General del Centro de Emergencias del Gobierno del Estado de Campeche, por autorizar el uso de técnicas computarizadas, desarrolladas por parte del Dr. Gregorio Posada Venegas, la M. en I. Edith Vega Serratos y su equipo de trabajo del Centro EPOMEX de la Universidad Autónoma de Campeche, diseñadas para el Atlas de Peligros Naturales del Estado de Campeche y del Centro de Emergencias de Campeche. La asesoría por parte del Dr. Posada y la Mtra. Vega en la aplicación del modelo computarizado nos permitió generar los planos finales del trabajo. Quisiéramos reconocer también al Capt. Alejandro Estrada Hernández, Capitán de Fragata y

Director Accidental del Centro de Capacitación de la Armada de México por gestionar ante las autoridades de la Secretaría de Marina el permiso para ubicar la ex-Hacienda San Luis Carpizo en el plano del patrimonio inmueble costero. Nos acompañó en la salida en lancha desde Celestún el Arq. Fernando Campos Santoyo, quien también nos asesoró sobre la temporalidad del patrimonio inmueble histórico del área salinera de la entidad; y reconocemos a don Filiberto, pescador de Celestún, por llevarnos a los sitios prehispánicos de la zona litoral norte con acceso sólo a través del mar.

LITERATURA CITADA

- Andrews, A. P., 1980a. Salt-making, Merchants and Markets: The Role of a Critical Resource in the Development of Maya Civilization. Tesis de doctorado inédita, Universidad de Arizona.
- Andrews, A. P., 1980b The Salt Trade of the Ancient Maya. *Archaeology*, 33(4):24-33.
- Andrews, IV., E. Wyllys, 1943. The Archaeology of Southwestern Campeche. Carnegie Institution of Washington Publication 546, Washington, DC.
- Antochiw, M., 1994. Historia de la cartografía de la Península de Yucatán. CINVESTAV, Gobierno del Estado de Campeche, Grupo Tribasa, México, DF.
- Antochiw, M., 2006 Milicia de Yucatán (Siglos XVI y XVII) & La unión de armas de 1712. Gobierno del Estado de Campeche, Instituto de Cultura de Campeche y CONACULTA - INAH, Campeche
- Antochiw, M., 2007 Las primeras Fortificaciones de la Villa y Puerto de San Francisco de Campeche. Gobierno del Estado de Campeche, Campeche.
- Ball, J. W., 1978. Archaeological Pottery of the Yucatan-Campeche Coast. p. 69-146. In: J.S.H. Brown y E.W. Andrews IV (eds.). Studies in the Archaeology of Coastal Yucatan and Campeche, Mexico, Middle American Research Institute, New Orleans.
- Barrera Vázquez, A., et.al., 1980 Diccionario maya Cordemex. Ediciones Cordemex, Mérida.
- Bolongaro Crevenna Recaséns, A., A.Z. Márquez, García, V. Torres Rodríguez y A. García Vicario, 2010 Vulnerabilidad de sitios de anidación de tortugas marinas por efectos de erosión costera en el estado de Campeche. p. 73-96. En: Botello V., Alfonso, S. Villanueva, J. Gutiérrez y J. L. Rojas Galviz (eds.) Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático. Gobierno del estado de Tabasco, Instituto Nacional de Ecología – Semarnat. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología – UNAM. Universidad Autónoma de Campeche 514 p.
- Botello V., Alfonso, Susana Villanueva, Jorge Gutiérrez y José Luis Rojas Galviz (Eds.), 2010. Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático. Gobierno del estado de Tabasco, Instituto Nacional de Ecología – Semarnat. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología – UNAM. Universidad Autónoma de Campeche 514 p.
- Burgos Villanueva, R., y A. P. Andrews, 2001 El Real de Salinas: Un puerto histórico de Campeche. En *Investigadores de la Cultura Maya*, 9(1): 208-217.
- Carvajal Correa, M. A., L. A. Williams-Beck, A. Anaya Hernández, y M. E. Arjona García, 2009. Jaina: El portal al inframundo. Ponencia presentada en el xv Congreso Internacional Juan Comas, Mérida, octubre.
- Chamberlain, R. S., 1982. Conquista y colonización de Yucatán, 1517 – 1550. Editorial Porrúa, México.

- Cobos, R., L. Fernández, y N. Peniche, 2005 Las columnatas de Uaymil: Su función durante el Clásico Terminal. En las memorias del encuentro internacional. *Los Investigadores de la Cultura Maya*, 13(I): 246-253.
- Consejo Estatal de Población (COESPO), 2009. Enfoque territorial del municipio de Champotón. Consejo Municipal de Población, Secretaría de Gobierno del Gobierno del estado de Campeche.
- de Grijalva, J., 1858. [1518] Itinerario de la armada del Rey Católico a la Isla de Yucatan, en la India. En Colección de documentos para la historia de México, Tomo I, editado por J. García Icazbalceta, pp. 281-308. Editorial Porrúa, México.
- De la Garza, M., et al., 1983. Relaciones histórico geográficas de la gobernación de Yucatán. Centro de Estudios Mayas – Instituto de Investigaciones Filológicas – UNAM, México, DF.
- Díaz del Castillo, B., 1982. Historia verdadera de la conquista de la Nueva España. Alianza Editorial, México.
- Duch, G., 1991. Fisiografía del estado de Yucatán. Su relación con la agricultura. Universidad Autónoma de Chapingo, Texcoco. México.
- Dunning, N.P., 1992. Lords of the Hills: Ancient Maya Settlement in the Puuc Region, Yucatán, Mexico. Prehistory Press, Madison.
- Eaton, J.D., 1978. Archaeological Survey of the Yucatan-Campeche Coast. p. 1-67. In: J.S.H. Brown y E.W. Andrews IV (eds.). Studies in the Archaeology of Coastal Yucatan and Campeche, Mexico, Middle American Research Institute, New Orleans.
- Finemore, D., y S.D. Houston, 2010. Fiery Pool: The Maya and the Mythic Sea. Peabody Essex Museum y Yale University, New Haven y London.
- Florescano, E., 1975. Haciendas, latifundios y plantaciones en América Latina. Siglo XIX, México.
- Florescano, E., 1986. Origen y desarrollo de los problemas agrarios de México (1500-1821). Editorial Era, México.
- García Bernal, M.C., 1978. Población y encomienda en Yucatán bajo los Austrias. Archivo General de Indias, Sevilla.
- García Bernal, M.C., 2006. Campeche y el comercio atlántico yucateco (1561-1625). CONACULTA – Centro INAH Campeche, Campeche.
- García Ramos, D., 1983. Iniciación al urbanismo. Facultad de Arquitectura – UNAM, México, D.F.
- García Targa, J., 1996. Urbanismo colonial en el área maya siglos XVI y XVII. Modelos comparativos en Chiapas y Yucatán. p. 37-76. En: P. García Jordán *et al.* Las raíces de la memoria: América Latina, ayer y hoy, Quinto Encuentro Debate. Universidad de Barcelona, Barcelona.
- Gerhard, P., 1991. La frontera sureste de la Nueva España. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Históricas – Instituto de Investigaciones Geográficas, México.
- Gobierno del estado de Campeche, 2007. Atlas de Ordenamiento Territorial del estado de Campeche. Universidad Autónoma de Campeche, San Francisco de Campeche.
- González Cicero, S.M., 1978. Perspectiva religiosa en Yucatán. 1517-1571. El Colegio de México, México, D.F.
- Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), s/f Dirección de Registro Público de Monumentos y Zonas Arqueológicas, Dirección de Registro de Monumentos arqueológicos inmuebles, catálogo de sitios arqueológicos.
- Inurreta Díaz, A.F., 2003. Isla Piedras: Asentamiento del Clásico Temprano en la costa norte de Campeche. *Los investigadores de la Cultura Maya*, 13(I): 256-266.

- Inurreta Díaz, A.F., 2004. Uaymil: Un puerto de transbordo en la costa norte de Campeche. Gobierno del Estado de Campeche – Centro INAH Campeche, Campeche.
- Izquierdo, A.L., 1995. El abandono de Santa María de la Victoria y la fundación de San Juan Bautista de Villahermosa. Centro de Estudios Mayas – Instituto de Investigaciones Filológicas, UNAM.
- Izquierdo, A.L., 1997. Acalán y la chontalpa en el siglo XVI: Su geografía política. Centro de Estudios Mayas – UNAM, México.
- Jones, G.D., 1989. Maya Resistance to Spanish Rule: Time and History on a Colonial Frontier. University of New Mexico Press, Albuquerque.
- Kennedy, P., 1994. Auge y caída de las grandes potencias. Plaza y Janes Editores, Barcelona.
- Lanz, M.A., 1904 Compendio de Historia de Campeche. El Fénix de Pablo Llovera Marcin, Campeche.
- Mas JF, y J. Correa Sandoval, 2000. Análisis de la fragmentación del paisaje en el área protegida Los Petenes, Campeche, México. *Investigaciones Geográficas*, 43:42-59.
- Matheny, R.T., 1970. The Ceramics of Aguacatal, Campeche, Mexico. New World Archaeological Foundation, Provo.
- Piña Chan, R., 1968. Jaina: La casa en el agua. Fondo de Cultura Económica, México, df.
- Piña Chan, R., 1970. Campeche antes de la Conquista. Gobierno del estado de Campeche, Campeche.
- Piña Chan, R., 1987. Campeche durante el periodo Colonial. Muralla Editorial, Gobierno del estado de Campeche, Campeche.
- Rodríguez Herrero, H. y L. Bozada Robles, 2010. Vulnerabilidad social al cambio climático en las costas del golfo de México. Un estudio exploratorio.p. 427-467. En: Borello V., Alfonso, S. Villanueva, J. Gutiérrez y J. L. Rojas Galviz (eds.) Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático. Gobierno del estado de Tabasco, Instituto Nacional de Ecología – Semarnat. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología – unam. Universidad Autónoma de Campeche 514 p.
- Ruiz Abreu, C.E., 1994. Señores de la tierra y el agua: Propiedad, comercio y trabajo en el Tabasco Colonial. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Villahermosa.
- Ruz Lhullier, A., 1969. La costa de Campeche en tiempos prehispánicos. Instituto Nacional de Antropología e Historia, México.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa), 2006. Anuario Estadístico de la Producción Pecuaria De Los Estados Unidos Mexicanos Por Estado, Distrito de Desarrollo Rural y Municipio. Sagarpa, México, D.F.
- Salcedo Salcedo, J., 1996. Urbanismo hispano-americano siglos XVI, XVII y XVIII. Facultad de Arquitectura, Pontificia Universidad Javeriana, Santa Fé de Bogotá.
- Sánchez Suárez Aguilar, V., y H. Ojeda Mas, 1996. Arqueología histórica en la ciudad de Campeche. Universidad Autónoma de Campeche, Campeche.
- Scholes, F.V., y R. L. Roys, 1968 The Maya Chontal Indians of Acalan-Tixchel. University of Oklahoma Press, Norman.
- Semarnat, 2007. Proceso de Ordenamiento Ecológico Marino Regional del Golfo de México y Mar Caribe. Región Costero-Terrestre y Marina. Fase de Caracterización. http://www.semarnat.gob.mx/temas/ordenamientoecologico/Documents/documentos_golfo_mexico/bases%20tecnicas/caracterizacion_oerm_golfomex_version_8mayo08.pdf (12 de agosto de 2010).

- Semarnat, 2008. Informe Final de la Fase Pronóstico: Programa de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe. http://www.semarnat.gob.mx/temas/ordenamiento-ecologico/Documents/documentos_golfo_mexico/bases%20tecnicas/pronostico_consulta_oemr_gmmc.pdf. (25 de septiembre de 2010).
- Sierra, C.J., 1998. Breve historia de Campeche. Fondo de Cultura Económica, El Colegio de México, México, D.F.
- Torres Rodríguez, V., A. Márquez García, A. Bolongara Crevenna, J. Chavarría Hernández, G. Espósito Díaz y E. Márquez García, 2010. Tasa de erosión y vulnerabilidad costera en el estado de Campeche debido a efectos del cambio climático. p. 325-344. En: Botello V., Alfonso, S. Villanueva, J. Gutiérrez y J. L. Rojas Galviz (eds.) Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático. Gobierno del estado de Tabasco, Instituto Nacional de Ecología – Semarnat. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología – unam. Universidad Autónoma de Campeche 514 p.
- Villanueva F., S., G. Ponce V., C. García R. y J. Presa, 2010. Vulnerabilidad de la zona costera. Ecosistemas costeros. p. 37-71. En: Botello V., Alfonso, S. Villanueva, J. Gutiérrez y J. L. Rojas Galviz (eds.) Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático. Gobierno del estado de Tabasco, Instituto Nacional de Ecología – Semarnat. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología – unam. Universidad Autónoma de Campeche 514 p.
- Voss N., A.W., 2004. Chakanputun y Champotón: Nuevas interpretaciones. *Los Investigadores de la Cultura Maya*, 12 (I): 130-148.
- Williams-Beck, L.A., 2001. Canpech Province Continuity and Change. p. 87-100. In: U. Hostettler and M. Restall (eds.). *Maya Survivalism*. Verlag Anton Saurwein, Markt Schwaben.
- Williams-Beck, L.A., 2008. Ríos de ritos que consolidaban el poder en las Tierras Bajas mayas noroccidentales. *Cuicuilco*, 14(44):193-224.
- Williams-Beck, L.A., 2010. Rivers of Ritual and Power in the Northwestern Maya Lowlands. In: Christian Isendahl y Bodil Liljefors Persson (eds.). *Ecology, Power, and Religion in Maya Landscapes*. Verlag Anton Saurwein, Alemania (en prensa).
- Williams-Beck, L.A., A. Anaya Hernández, H.Z. Geovannini Acuña, O.G. Retana Guiscón, R. Noriega Trejo, R. E. Góngora Chin, M.A. Carvajal Correa, G. Romero González, O. Pérez Romero, J.M. Briones Ortiz, C. Janette Gómez Rosado, C. López Robles, C.I. Moo Dzib, M. Aguilar Nah, D. Castillo, y R. Collí Díaz, 2010 Estudio técnico del Río Champotón para proponerlo como Área Natural Protegida de carácter Municipal. Informe final entregado a la Secretaría de Medio Ambiente y Aprovechamiento Sustentable del Gobierno del Estado de Campeche, a la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y al H. Ayuntamiento de Champotón, abril – julio.
- Williams-Beck, L.A., A. Anaya Hernández y M. Arjona García, 2009a. Modelos de geografía sagrada prehispánica en la zona noroeste de la Península de Yucatán. *Memorias del XXII Simposio de Investigaciones arqueológicas en Guatemala*, Ministro de Cultura e Instituto Nacional de Antropología e Historia, Guatemala.
- Williams-Beck, L.A., B. Liljefors-Persson, A. Anaya Hernández y O. Pérez Romero, 2009b. Back to the Future for Predicting the Past. Cuúhcabal – Batabil – Cuuchteel and May Ritual Political Structures across Archaeological Landscapes, in *Ethnohistoric Texts, and through Cosmological Time*. Ponencia presentada en XIV Reunión Anual WAYEB, Cracovia, Polonia, noviembre.
- Williams-Beck, L.A. y E. López, 1999. Historia de tres ciudades: Ah Kim Pech, Acanmul y San Francisco de Campeche. *Estudios de Cultura Maya*, xx:93-116.

Wilson, E.M., 1980. Physical Geography of the Yucatan Peninsula. p. 5-40. *In*: E. Mosely and E. Terry (eds.). Yucatan: A World Apart. University of Alabama, Tuscaloosa.

Wolf, E.R., 1987. Europa y la gente sin historia. Fondo de Cultura Económica, México.

Archivos

Archivo General del Estado de Campeche. Informes de Gobierno del Estado de Campeche. 1862-1910.

Informe sobre el faro situado frente al puerto del Carmen en un lugar llamado Xicalango, pueblo de indígenas. 10 febrero 1868. Ramo Gobernación, Caja 1, Expediente 16, 1 fs.

González Turrubiates, D.M., 2010. Valoración y gestión del riesgo por inundaciones en municipios costeros (Una aproximación con base en indicadores). p. 591-606. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche, CETYS-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO UN ENFOQUE COSTERO Y MARINO

Habitantes y patrimonio

Valoración y gestión del riesgo por inundaciones en municipios costeros (Una aproximación con base en indicadores)

Dora María González Turrubiates

RESUMEN

La metodología propuesta, formula la valoración y gestión del riesgo por inundaciones desde una perspectiva integral. Que incluye, además, del riesgo físico, variables sociales, económicas y de capacidad de respuesta de las autoridades gestoras y de la población probable afectada. Identifica, además, las circunstancias que favorecen que un fenómeno intenso se convierta en un desastre, con el fin de anticiparse y poder intervenir en dichas circunstancias, y disminuir, en lo posible, el impacto de futuros eventos peligrosos. En este sentido, la metodología propuesta y en relación a la importancia que reviste el estudio del riesgo por inundaciones, ante el ya cambio climático, añade una complejidad adicional a su relación con el medio ambiente, tanto a la conservación y uso de territorios expuestos, como a la necesidad establecer políticas de adaptación, mitigación y reducción del riesgo.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático plantea un gran desafío para todas aquellas autoridades responsables de formular políticas públicas en general. La preocupación en el aumento de las precipitaciones y en consecuencia el de las inundaciones, sobre todo en municipios costeros y principalmente en aquellos donde la incidencia de fenómenos hidrometeorológicos es muy alta, figura hoy, entre las preocupaciones y discusiones tanto de científicos y técnicos, como de ciudadanos comunes en todo el mundo. Por tanto, la cuestión más importante, entre otras, a lo que deben responder las autoridades es determinar ¿qué plan es el más apropiado para asumir las actuaciones de gestión del riesgo ante las condiciones climáticas que se tendrán en el futuro próximo?

Durante décadas, múltiples cambios importantes, se han venido observando en muchas variables relacionadas con el agua. Los ciclos de precipitaciones están variando. Las proyecciones de precipitaciones regionales están sujetas a una gran incertidumbre. En muchas regiones los modelos de pronósticos, no concuerdan con el signo de cambio proyectado (Bates *et al.*, 2008).

Algunas referencias sobre alteraciones en las precipitaciones que destacan son: El cuarto informe sobre Cambio Climático del IPCC (2007) que indica que *“entre 1900 y 2005, la precipitación aumentó notablemente en las partes orientales del norte de América del Sur y del Norte,... las observaciones evidencian un aumento de la actividad ciclónica tropical intensa en el Atlántico Norte desde aproximadamente 1970”*. El Informe de Oxfam Internacional (2007) “Alarma Climática: Aumentan los desastres debidos al cambio climático” manifiesta que el segundo riesgo climático, particularmente en aumento, son las precipitaciones, estas se han vuelto *“más concentradas y más intensas, causando o agravando inundaciones en países tan distantes como el Reino Unido, Vietnam, Sudáfrica, México e India”*. El reporte precisa, también, que el año 2007 fue sido un año de “crisis climática”, por el número de inundaciones que se presentaron en el mundo, y que han afectaron a más de 250 millones de personas, así como por el comportamiento no predecible de la naturaleza. Por su parte, el informe “Disaster Risk Reduction: 2007 Global Overview, Global Platform for Disaster Risk Reduction” de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de la Organización de las Naciones Unidas EIRD/ONU, establece que, *“los desastres por inundaciones aumentan en mayor grado que otro tipo de desastre, entre 1980 y 2006 el número de inundaciones y ciclones se ha cuadruplicado de 60 a 240 por año”*.

Ante esto, la gestión de los recursos hidrológicos, y en especial los excesos hidrológicos, juega hoy en día un papel preponderante. Las actuaciones que se tengan a este respecto tienen claramente impacto con muchas otras áreas (*e.g.* la seguridad, la salud, y la conservación de la naturaleza, entre otras). Por tal motivo, es importante la evaluación específica del sitio y la optimización de la eficacia en la práctica de medidas de adaptación y opciones de mitigación integradas y conducidas en forma sistemática a través de múltiples actuaciones. Así, la valoración del riesgo por inundaciones, es un conocimiento necesario para la aplicación de políticas públicas encaminadas al diseño de medidas de adaptación, mitigación y reducción del mismo. Dada la importancia que reviste, esta valoración en la gestión de los recursos hidrológicos, y

ante el cambio climático, se presentan los resultados del estudio realizado en el municipio de Pueblo Viejo, en el estado de Veracruz.

ESTADO DEL ARTE

La evaluación del riesgo por inundaciones implica disponer de un conocimiento detallado de las características cuantitativas y cualitativas del riesgo, como también, de los factores que lo determinan y de sus consecuencias físicas, sociales, económicas y ambientales.

El riesgo en su concepto general, es definido como la probabilidad de pérdidas futuras, como el resultado de la existencia de un peligro latente asociado con la posibilidad de que se presenten fenómenos peligrosos y de unas características propias o intrínsecas del elemento expuesto, que lo predisponen a sufrir daños en diversos grados (Cardona, 2001). Como se puede ver la formulación del riesgo consta de dos elementos fundamentales, a saber: la existencia de un fenómeno o evento dañino «*la amenaza*» y el grado de susceptibilidad del elemento expuesto o amenazado «*la vulnerabilidad/capacidad*».

En la evaluación de la amenaza y de la vulnerabilidad/capacidad, se utilizan procedimientos formales que incluyen la recopilación de información de fuentes primarias (Taylor y Davis, 1998; IFRC, 1999), el monitoreo de los factores de amenaza (Rosales *et al.*, 2004; Salas y Jiménez, 2004) y de los factores de vulnerabilidad (Blaikie *et al.*, 1996; Massure y Luttof, 2002), el procesamiento de la información (Masure, 2003), el levantamiento de mapas (Díez y Pujadas, 2002; Rashed y Weeks, 2003; Eslava *et al.*, 2004; Mercè y LLasat, 2005) y diversas técnicas para la realización de estudios sociales (Blaikie *et al.*, 1994; Lavell y Franco, 1996; Clark y Keipi, 2000).

A este respecto, el estudio del riesgo en relación a la gestión de los recursos hidrológicos, ha sido abordado en México por algunas instancias como la CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres) y el SINAPROC (Sistema Nacional de Protección Civil), donde se han estudiado y caracterizado las zonas de peligro y de riesgo por inundaciones, en el territorio mexicano, elaborando mapas estatales y locales sobre los sitios donde se presentan más frecuentemente inundaciones (CENAPRED, 2001). Se han incluido en estos mapas algunos factores de vulnerabilidad física y social, que determinan en gran medida el grado o nivel de riesgo entre un sitio y otro. Sin embargo, en este sentido y tal como lo exterioriza Herzer (1998), en ocasiones suele ser complicado establecer o definir las variables sociales, económicas y ambientales que determinan la construcción del riesgo.

Finalmente, y con base en lo antes expuesto, este estudio se hace con el objetivo de presentar un panorama general e integral del nivel de riesgo por inundaciones en el municipio de Pueblo Viejo, para hacer las recomendaciones pertinentes en relación al manejo de los recursos hidrológicos y la gestión del riesgo por inundaciones, sugiriendo algunas acciones de política pública que ayuden a establecer medidas de adaptación, mitigación y reducción del riesgo ante el cambio climático que se está viviendo.

METODOLOGÍA

Estimar el riesgo a causa de un fenómeno natural, como son las inundaciones, no es una tarea sencilla. Cualquier plan que se proponga, siempre tendrá sus limitaciones pequeñas o grandes, principalmente, por la complejidad de lo que se espera evalúe y la existencia de unas características enfrentadas, y mutuas restricciones de lo que es factible de realizar o no. Pero, sin duda, lo importante debe ser, que el método de valoración sea de fácil aplicación y entendimiento, para que sea usado de manera periódica y que permita medir la gestión del riesgo y su efectividad.

La metodología de evaluación del riesgo por inundaciones, aquí propuesta, surge a partir de la estimación de los daños ó pérdidas probables de los escenarios de amenaza; los cuales, son considerados como el resultado de la convolución de la amenaza, con la vulnerabilidad física, económica, social, cultural y funcional del territorio afectado (Cardona, 2001; Carrreño, 2007). Así entonces, se propone la definición del «Índice de Riesgo por Inundaciones (IRI)», como una función del riesgo físico y la vulnerabilidad existente o prevaleciente. Para lo cual, se valoran dos índices generales el «Índice de Riesgo Físico (IRFI)» y el «Índice de Vulnerabilidad Prevaleciente (IVP)». El primero, a partir del daño o afectación física al territorio y su sociedad, y el segundo, resultado de la estimación de tres categorías de vulnerabilidad: exposición y susceptibilidad física, fragilidad socio-económica y falta de resiliencia (Cardona, 2005).

ÍNDICE DE RIESGO POR INUNDACIONES IRI_x

La valoración del riesgo por inundaciones, parte de la identificación de unas unidades de análisis, x , que corresponden a los territorios, para los cuales se determina el «Índice de Riesgo por Inundaciones, IRI_x », y el cual es expresado:

$$IRI_x = IRFI_x (1 + IVP_x)$$

donde: $IRFI_x$, es el «Índice de Riesgo Físico por Inundaciones» basado en descriptores obtenidos de los daños o pérdidas potenciales, que podrían causar inundaciones futuras en el territorio de análisis e IVP_x , «Índice de Vulnerabilidad Prevaleciente», obtenido de la suma ponderada de tres categorías de vulnerabilidad.

El IRI_x , se sustenta en la valoración de los efectos o impactos económicos que genera un desastre natural de acuerdo con la experiencia de la Comisión Económica para la América Latina y el Caribe (CEPAL, 2003). La CEPAL considera que en un desastre “húmedo”, como es el caso de las inundaciones, los efectos económicos indirectos pueden llegar a ser del orden del 50% al 75% de los efectos directos; mientras que en un desastre “seco”, como es el caso de los sismos, los efectos indirectos pueden llegar a ser del orden del 75% al 100% de los efectos directos. Por tanto, la anterior apreciación significa que el impacto total de un desastre podría ser del orden del 1.5 y 2 veces el impacto directo. En general y para sintetizar se asume que el impacto total representado por el IRI_x corresponde al doble del impacto directo, representado por el IVP_x .

ÍNDICE DE RIESGO FÍSICO DE INUNDACIÓN $IRFI_x$

El $IRFI_x$ está dado por:

$$IRFI_x = \sum_{i=1}^p W_{RF_i} \times D_{RF_i}$$

donde: D_{RF_i} corresponde a los descriptores del riesgo físico, W_{RF_i} es el peso para cada descriptor y p , es el número total de descriptores de riesgo físico.

ÍNDICE DE VULNERABILIDAD PREVALECIENTE IVP_x

El IVP_x , se obtiene de la suma ponderada de tres categorías de vulnerabilidad prevaleciente, y, que reflejan la exposición y susceptibilidad física ES , la fragilidad socio-económica FS y la falta de resiliencia FR en cada unidad de análisis, x :

$$IVP_{ES,DF,FR} = \sum_{i=1}^m W_{ESi} \times D_{ESi} + \sum_{j=1}^n W_{FSj} \times D_{FSj} + \sum_{k=1}^l W_{FRk} \times D_{FRk}$$

donde: W_{ESi} , W_{FSj} y W_{FRk} son los pesos que toman en consideración la importancia relativa de cada categoría de vulnerabilidad; D_{ESi} , D_{FSj} y D_{FRk} son los descriptores que componen cada categoría de vulnerabilidad y m , n y l indican el número total de descriptores para cada categoría de vulnerabilidad.

La recomendación general, en lo que respecta al número total de descriptores para cada índice es, no emplear más de nueve descriptores, un número mayor dificulta la asignación concertada de los factores de importancia o pesos.

En lo que respecta a los pesos de cada uno de los descriptores que componen los índices, estos se obtienen mediante su ponderación. Sus valores deben ilustrar la importancia de cada uno con respecto a los demás en la determinación de cada índice. Debiendo tratar de reflejar el conocimiento colectivo de los expertos para definir su valor. La ponderación será correcta siempre que cumpla esta meta. Finalmente, para su ponderación se propone el empleo del *Proceso Analítico Jerárquico* (PAJ), una técnica factible y razonable para capturar el criterio, la experiencia y el juicio de expertos (Saaty, 1980).

ÁREA DE ESTUDIO

La figura 1, muestra la localización del municipio de Pueblo Viejo. El cual se encuentra en el estado de Veracruz, en la costa del Golfo de México. El municipio constituye un centro urbano formado por un conjunto de áreas suburbanas. Se localiza al noroeste de Xalapa, la capital del Estado; en la región denominada Cuenca del Pánuco, entre los paralelos 22°06'24" y 22°15'25"

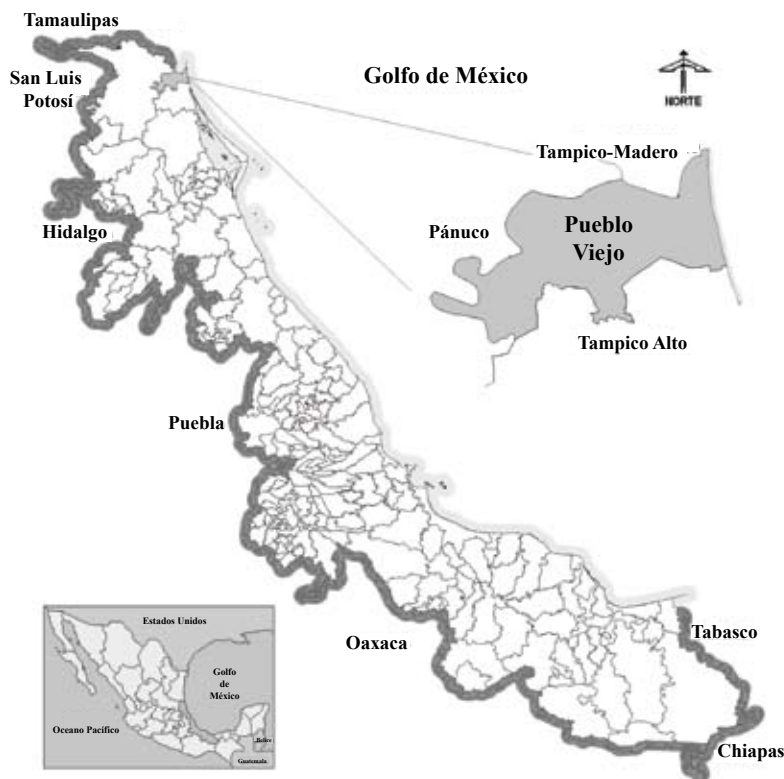


Figura 1. Localización del área de estudio.

de latitud norte y los meridianos $97^{\circ}53'09''$ y $99^{\circ}59'13''$ de longitud oeste, aproximadamente. Tiene una superficie aproximada de 286.24 km^2 (INEGI, 2005a); limita al norte con los municipios de Madero y Tampico del estado de Tamaulipas, y sólo separado por el cauce del río Pánuco, al poniente y al sur con los municipios de Pánuco y Tampico Alto perteneciente al estado de Veracruz; y al oriente con el litoral del Golfo de México (INEGI, 2005b). Tiene una superficie lagunaria de 74.49 km^2 repartida en cuatro cuerpos de agua (INEGI, 2005c), siendo la principal y más importante por su superficie y producción pesquera, la laguna de Pueblo Viejo, con 41.61 km^2 . La altura promedio es de entre los 10 y 50 metros sobre el nivel del mar. Finalmente, son estas dos condiciones y la ubicación geográfica, en la desembocadura del río Pánuco, lo que lo hace un municipio vulnerable a las inundaciones.

Finalmente, el municipio cuenta con 73 localidades, 5 suburbanas y 68 rurales, y alberga una población aproximada de 52 593 habitantes (INEGI, 2005d). Las localidades suburbanas son: su cabecera municipal Ciudad Cuauhtémoc con 8 950 habitantes, Benito Juárez con 14 015 habitantes; Anáhuac con 13 647 habitantes, Hidalgo con 6 159 habitantes y Primero de Mayo con 5 068 habitantes.

RESULTADOS

Para evaluar el IRI_x , se consideró un escenario de peligro por inundaciones que supera los 50 cm de anegamiento. Asimismo, se consideró la pertinencia de un total de 35 descriptores. La tabla 1, muestra el despliegue de estos descriptores y su participación en cada índice.

En las figuras 2 y 3 se observa los descriptores asociados al IRFI y al IVP, se ha empleado una escala entre 0 y 1 para facilitar su entendimiento. Estos permiten identificar qué descriptores ó indicadores tienen la mayor incidencia o importancia relativa, y a cual se debe priorizar la atención y medidas de mitigación y prevención para reducir el riesgo por inundaciones.

En lo que corresponde al IRFI, los valores de los descriptores más relevantes son: D_{RF1} = Territorio afectado, con el 0.1232; D_{RF2} = Población afectada con el 0.2227; D_{RF3} = Viviendas afectadas, con el 0.462; D_{RF5} = Heridos/Enfermos con el 0.497; D_{RF7} = Daño en sector primario, con el 0.523 y D_{RF9} = Daño ambiental, con el 0.500 (figura 2). A este respecto, los descriptores no superan el valor de 0.50, lo que indica que el riesgo físico es de Bajo a Medio. Entendiéndose, que ante un evento extremo de precipitaciones que lleguen alcanzar los 50cm de anegamiento se verá afectado un 12.3% de territorio municipal, la población afectada superará el 20%, el daño potencial en viviendas superará el 46%, el daño en la agricultura y la ganadería superará el 50% de territorio ocupado para esta actividad, mientras que el daño ambiental se presentará en la mitad de territorio.

Para el IVP, en su categoría de exposición y susceptibilidad física (IVPES), los descriptores que tienen mayor importancia relativa corresponden a: D_{ES1} = Densidad poblacional, con el 0.750; D_{ES2} = Densidad agrícola y ganadera, con el 0.858; D_{ES6} = Población con dependencia física, con el 0.623 y D_{ES9} = Viviendas pobres o con algún nivel de hacinamiento, con el 0.715 (figura 3a). Como se puede observar, los valores de los descriptores son superiores al 0.50, lo indica que la exposición y susceptibilidad física en el municipio de Media a Alta. Por otra parte, la alta densidad poblacional y el gran número de viviendas pobres o con un nivel de hacinamiento, son dos indicadores que indiscutiblemente inciden en la valoración de la vulnerabilidad. Su alto valor indica un gran número de personas expuestas al peligro.

Para la categoría de fragilidad socioeconómica (IVPES), los descriptores que tienen mayor importancia relativa son: D_{FS3} = Rezago social, con el 0.750; D_{FS4} = Seguridad social, con el 0.632 y D_{FS7} = Dependencia socioeconómica, con el 0.913 (figura 3b). Se observa que los valores obtenidos en estos descriptores son de Medio a Alto e incluso Muy Alto. El valor de que se tiene en el descriptor Dependencia Socioeconómica, muestra que existe un gran número de individuos que dependen de la población económica activa. Es claro que las condiciones sociales y económicas de la población modifican e incrementan la vulnerabilidad.

Finalmente, para la categoría de falta de resiliencia (IVPFR), se obtuvo que los descriptores más relevantes son: D_{FR5} = Capacidad de divulgación de información, con el 0.920; D_{FR6} = Índice de desarrollo municipal, con el 0.518; D_{FR7} = Índice de percepción del riesgo por inundaciones, con el 0.750 y D_{FR8} = Índice de operatividad en emergencias, con el 0.750 (figura 3c). Se observa que la mayoría de estos descriptores, su valor supera el 0.50, lo indica que se está en una capacidad Media a Alta de respuesta ante eventos de emergencia.

Tabla 1. Descriptores que integran el Índice de Riesgo por Inundaciones (IRI_x), a escala municipal.

Índices	Descriptores	
<i>IRFI</i> Índice de riesgo físico por inundaciones.	W_{RF_1}	D_{RF_1} = Territorio afectado.
	W_{RF_2}	D_{RF_2} = Población afectada.
	W_{RF_3}	D_{RF_3} = Viviendas afectadas.
	W_{RF_4}	D_{RF_4} = Muertos.
	W_{RF_5}	D_{RF_5} = Heridos/Enfermos.
	W_{RF_6}	D_{RF_6} = Daño en infraestructura pública urbana.
	W_{RF_7}	D_{RF_7} = Daño en sector primario.
	W_{RF_8}	D_{RF_8} = Daño en sector secundario.
	W_{RF_9}	D_{RF_9} = Daño ambiental.
<i>IVP_{ES}</i> Índice de vulnerabilidad prevalente por exposición y susceptibilidad física.	W_{ES_1}	D_{ES_1} = Densidad poblacional.
	W_{ES_2}	D_{ES_2} = Densidad agrícola y ganadera.
	W_{ES_3}	D_{ES_3} = Crecimiento poblacional.
	W_{ES_4}	D_{ES_4} = Dispersión poblacional.
	W_{ES_5}	D_{ES_5} = Población indígena.
	W_{ES_6}	D_{ES_6} = Población con dependencia física.
	W_{ES_7}	D_{ES_7} = Población en viviendas pobres o con algún nivel de hacinamiento.
	W_{ES_8}	D_{ES_8} = Población en sector primario.
	W_{ES_9}	D_{ES_9} = Viviendas pobres o con algún nivel de hacinamiento.
<i>IVP_{FS}</i> Índice de vulnerabilidad prevalente por fragilidad socioeconómica.	W_{FS_1}	D_{FS_1} = Marginación poblacional.
	W_{FS_2}	D_{FS_2} = Migración poblacional.
	W_{FS_3}	D_{FS_3} = Rezago social.
	W_{FS_4}	D_{FS_4} = Seguridad social.
	W_{FS_5}	D_{FS_5} = Desempleo abierto.
	W_{FS_6}	D_{FS_6} = Ingreso poblacional.
	W_{FS_7}	D_{FS_7} = Dependencia socioeconómica
	W_{FS_8}	D_{FS_8} = Déficit de vivienda.
	W_{FS_9}	D_{FS_9} = Dependencia del crecimiento económico del sector primario.
<i>IVP_{FR}</i> Índice de vulnerabilidad prevalente por falta de resiliencia.	W_{FR_1}	D_{FR_1} = Cobertura de servicios médicos.
	W_{FR_2}	D_{FR_2} = Cobertura de servicios hospitalarios.
	W_{FR_3}	D_{FR_3} = Cobertura de servicios de auxilio.
	W_{FR_4}	D_{FR_4} = Capacidad de albergue.
	W_{FR_5}	D_{FR_5} = Capacidad de divulgación de información.
	W_{FR_6}	D_{FR_6} = Índice de desarrollo municipal.
	W_{FR_7}	D_{FR_7} = Índice de percepción del riesgo por inundaciones.
	W_{FR_8}	D_{FR_8} = Índice de operatividad en emergencias.

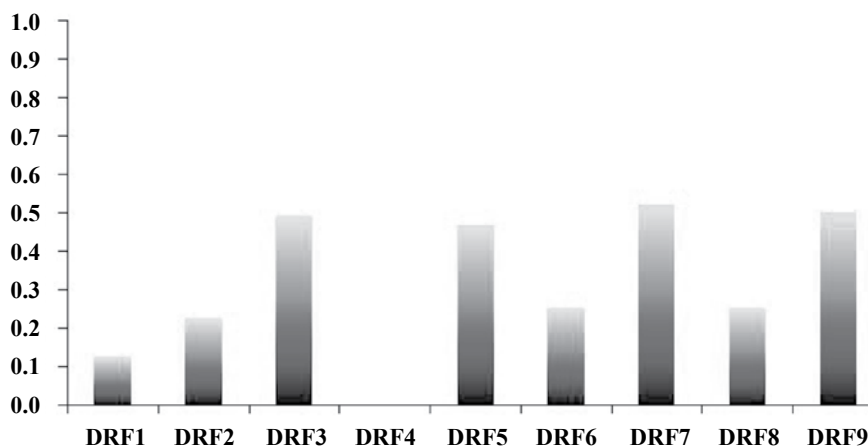


Figura 2. Descriptores del Índice de Riesgo Físico por Inundaciones. Escenario de daños potenciales por inundaciones, nivel de anegamiento mayor a 50 cm. Municipio de Pueblo Viejo, Veracruz.

Una vez acreditados los valores de los descriptores, se obtuvieron: el IRFI y el IVP, en sus tres categorías, para finalmente estimar el IRI. La figura 4, muestra los valores que se obtuvieron para estos índices. El gráfico, logra desplegar una visión relativa del nivel de riesgo por inundación que se tiene en el municipio estudiado. En la escala de 0 a 1, y considerando que 1 representa un nivel alto de riesgo, el municipio se encuentra en un nivel Medio de riesgo 0.450, en lo que corresponde al IRI. Por otro lado, y en lo que corresponde al IRFI y al IVP, estos registran valores de 0.305 y 0.475, respectivamente, y por abajo del nivel Medio. Cabe mencionar, la importancia que reviste el IVP, para la estimación del IRI: las categorías de vulnerabilidad por exposición y susceptibilidad física (IVPES) y falta de resiliencia (IVPFR) se encuentran en un nivel Medio, 0.526 y 0.542, respectivamente. La vulnerabilidad por fragilidad socioeconómica (IVPFS) alcanza un nivel abajo del Medio, 0.358, lo que hace que el IRI, se eleve aunque el IRFI sea bajo. Finalmente, se observa que el valor en el nivel de riesgo, está claramente determinado tanto por amenaza como por la vulnerabilidad.

DISCUSIÓN

El riesgo por inundaciones año tras año es cada vez más innegable en muchas regiones del mundo. Es evidente que el cambio climático está afectando la función y la operación de la infraestructura existente a la atención de los recursos hidrológicos y su manejo. En México, este riesgo es una realidad en casi todo el territorio nacional y particularmente en los municipios costeros. Ante este hecho y la importancia que reviste el cambio climático ante el aumento del riesgo en algunas regiones costeras, es relevante analizar los territorios expuesto para caracterizarlos y definir estrategias de acción para su manejo.

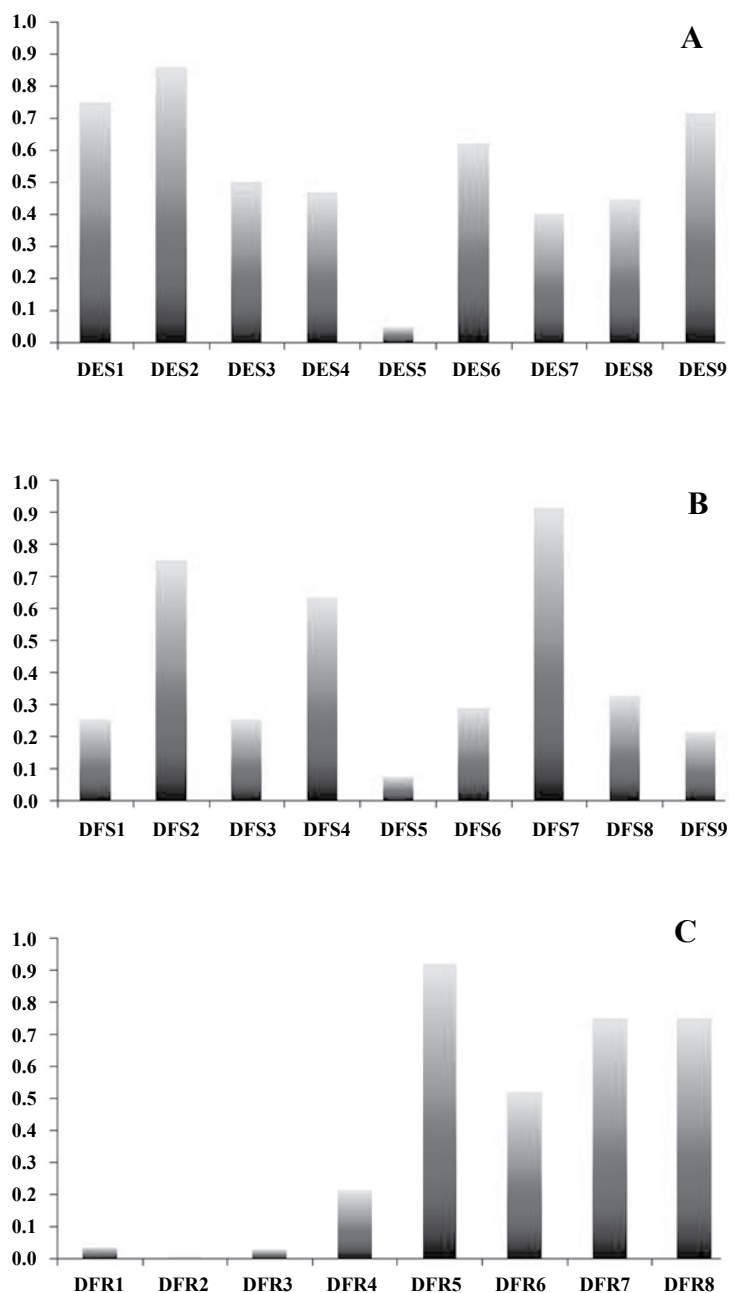


Figura 3. Descriptores del Índice de Vulnerabilidad Prevaliente en sus tres categorías. A) Descriptores del índice de vulnerabilidad prevaleciente por exposición y susceptibilidad física. Estar expuesto y ser susceptible. B) Descriptores del índice de vulnerabilidad prevaleciente por fragilidad socioeconómica. Predisposición a ser afectado. C) Descriptores del índice de vulnerabilidad prevaleciente por falta de resiliencia. No tener capacidad.

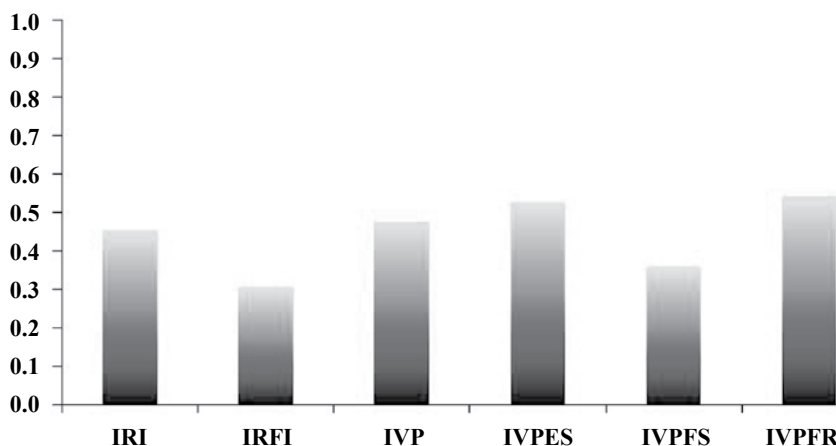


Figura 4. Nivel de riesgo alcanzado en el municipio de Pueblo Viejo, Veracruz.

Conocer el nivel de anegamiento que puede alcanzarse en un territorio a causa de eventos hidrológicos extremos, las características económicas, sociales y de cultura de la población ante los riesgos y la capacidad de respuesta de las autoridades gestoras, entre otros, son aspectos que fructifican en una mejor aplicación de las estrategias de su manejo. Al evaluar el riesgo mediante el análisis conjunto de información heterogénea, se logra integrar un índice plenario, transparente, representativo y robusto, de fácil comprensión por parte de los responsables de formular políticas públicas urbanas, y, que puede aplicarse de manera continua. Asimismo, se considera que la presentación de los resultados en forma de indicadores facilita el entendimiento del riesgo por parte de los responsables de su gestión, además, permite que se tenga una línea base del grado o nivel del riesgo. Además, de que puede permitir hacer comparaciones entre otros territorios también expuestos.

Para el territorio estudiado, municipio de Pueblo Viejo, Veracruz; esta evaluación ha sido de gran ayuda y ha permitido tener una primera lectura de los factores que inciden directamente en el nivel de riesgo, no sólo desde el punto de vista del daño físico potencial, sino desde una perspectiva todavía más amplia, que incluye variables económicas, sociales e institucionales. La posibilidad de desagregar los factores del riesgo en sus componentes, ha facilitado la identificación de las influencias que determinan el porqué un valor relativo es mayor o menor en cada caso.

Finalmente, este método, puede ser utilizado para reorientar la toma de decisiones en la gestión del riesgo y su efectividad y en la estructuración de medidas de adaptación de la población ante el cambio climático. La identificación de los espacios críticos que pueden ser especialmente problemáticos, en caso de eventos extraordinarios, cada vez más frecuentes, suscitados por el aumento de las precipitaciones; debe permitir la conformación de planes integrales y participativos para el manejo del riesgo por inundaciones, no sólo en los territorios directamente

expuestos a eventos hidrometeorológicos, sino también en aquellos afectados por los secuelas de estos.

Partiendo de la premisa, de que el riesgo por inundaciones no sólo es producido por la naturaleza sino que también puede ser respaldado y construido por la sociedad, se deben concentrar esfuerzos en el análisis de este, como también en desarrollar metodologías que permitan enfrentarlos, mitigarlos, o evitarlos, lo cual se impone como prioridad ante el cambio climático. Este objetivo justifica por sí solo cualquier esfuerzo de investigación. Conocer mejor los peligros y los riesgos ambientales, entendiéndolos como conceptos complementarios y no equivalentes, representa un verdadero progreso, tanto para el conocimiento científico como para el beneficio de la especie humana.

CONCLUSIONES

El resultado obtenido en la aplicación de la metodología propuesta refleja la situación o el grado de riesgo en el municipio de Pueblo Viejo. Es importante mencionar que la vulnerabilidad/capacidad de la población, en su categoría de fragilidad socioeconómica ayudó en gran medida a que éste no fuera Alto. Ya que, en lo que se refiere a la vulnerabilidad por exposición y susceptibilidad física el nivel alcanzado quedo plenamente definido por el alto grado de exposición de la población, traducido en una gran cantidad de viviendas y población afectada.

En lo que respecta, a la falta de resiliencia, entendida como la capacidad de respuesta de la autoridades y capacidad de actuación de la población entre otras cosas se identifico, que a pesar de que la población conoce acerca del peligro por inundaciones en su localidad e identifica su recurrencia en el territorio, así como las zonas de riesgo, no saben a quién acudir en caso de que ocurra un desastre. Aún más, se ha podido observar dos situaciones: la innegable disociación de los grupos de población, lo cual es indicado por la falta capacidad de actuaciones coordinadas para logra el bien común; y por otra parte, la falta de operatividad de las autoridades para manejar el riesgo y que no haber podido concientizar a la población del riesgo latente en que viven. Asimismo, se observo que las labores del organismo encargado de la protección civil son totalmente reactivas, ya que fundamentalmente se actúa en situaciones de emergencia y no se tienen planes de mitigación y reducción del riesgo. Además, el organismo encargado de dar respuesta a emergencias enfrenta varias situaciones en primer lugar, la evidente falta de recursos, tanto económicos como materiales y el reducido número de personal con que cuenta; y en segundo lugar, al continuo movimiento del personal que no ayuda a la continuidad de proyectos encaminados a la mitigación y reducción del riesgo.

Finalmente, la elaboración de Planes y Programas Integrales Participativos para el Manejo del Riesgo por Inundaciones se presenta como una alternativa para incrementar de manera indirecta la capacidad de adaptación de la población al cambio climático que se presenta. Estos planes y programas deben superar el manejo compartimentado tradicional e integrarse en fases organizadas y concatenadas, en donde las actividades que se lleven a cabo en cada fase, tengan una repercusión positiva en lo que sucede en la otra fase.

SUGERENCIAS Y RECOMENDACIONES

Aplicar la metodología propuesta a otros municipios para comparar resultados. Realizar un nuevo análisis de los componentes principales de cada índice, tanto para el *Índice de Riesgo Físico* como para el *Índice de Vulnerabilidad Prevaliente*, con el objetivo de identificar nuevos posibles indicadores a tener en cuenta en la metodología; e incluir un análisis de correlación entre indicadores que permita, si se considera conveniente, eliminar indicadores altamente correlacionados que pueden interpretarse como diferentes formas del mismo aspecto. Finalmente, la metodología de valoración del riesgo de inundación propuesta requiere de un enfoque multidisciplinaria que toma en cuenta las pérdidas humanas y económicas y los aspectos sociales, organizacionales e institucionales relacionados con el nivel de desarrollo de la comunidad, lo que quizás la haga complicado para aquellos no se encuentran familiarizados con el manejo conjunto de disciplinas.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se realizó gracias al apoyo de la Unidad de Protección Civil del municipio de Pueblo Viejo y a la Subdirección de Protección Civil del Gobierno del estado de Veracruz. Agradezco también al Prof. Martín Pérez San Martín, historiador del municipio, por su ayuda y aporte valioso de material informativo para la realización de este trabajo, y al Sr. Jorge Flores Rivera, Director de la Unidad de Protección Civil del municipio de Pueblo Viejo, por su apoyo y ayuda en la obtención de datos de campo. Especial agradecimiento a los colaboradores Lizbeth y Lucio, quienes participaron en la alimentación y manejo de las bases de datos.

LITERATURA CITADA

- Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu y J.P. Palutikof (eds.), 2008: Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210 p.
- Blaikie, P., T. Cannon, I. Davis, y B. Wisner, 1996. Vulnerabilidad, el entorno social de los desastres. Red de estudios sociales de prevención de desastres en América Latina. La Red, ITDG. Bogotá, Colombia.
- Cardona, O. D., 2001. Holistic Approach to Seismic Risk Estimation. Natural Hazards Review. ASCE, Washington DC.
- Cardona, O. D., 2005. Indicadores de Riesgo de Desastre y Gestión de Riesgos: Informe resumido. BID/IDEA Programa de Indicadores para la Gestión de Riesgos. Universidad Nacional de Colombia, Manizales. Disponible en <http://idea.unalmz.edu.co>
- Carreño, M. I., 2007. Técnicas innovadoras para la evaluación del riesgo sísmico y su gestión en centros urbanos: Acciones ex ante y ex post. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. España.
- CENAPRED, 2001. Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México. Secretaría de Gobernación. Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, 225 p.

- CEPAL, 2003. Manual para la evaluación del impacto socioeconómico y ambiental de los Desastres. Comisión Económica para la América Latina y el Caribe (CEPAL) y el Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (El Banco Mundial). 95 p.
- Clark, C., y K. Keipi, 2000. Indicators Program for Disasters Risk Management. Technical Cooperation Profile, Inter-American Development Bank, IADB, August 2000 Washington DC
- Díez, H. A., y F. J. Pujadas, 2002. Mapas de inundaciones. p. 41-73. En: F.J. Ayala-Carcedo y L. Olcina Cantos (coord.). Riesgos Naturales. Editorial Ariel, S. A. Barcelona, España.
- EIRD/ONU, 2007. Disaster Risk Reduction: 2007 Global Overview, Global Platform for Disaster Risk Reduction. United Nations Organization-International for Disaster Reduction. DRR experts/practitioners. 98 p.
- Herzer, H., 1998. Construcción del riesgo, desastre y gestión ambiental urbana (Perspectivas en debate). International Conference. Research Community for the Habitat Agenda. Linking research and policy for the sustainability of human settlements. Forum of Researchers on Human Settlements. Geneva, July 6-8, 1998.
- IFRC, 1999: Vulnerability and Capacity Assessment. International Federation of the Red Cross and Red Crescent Societies.
- INEGI, 2005a. Aspectos geográficos de Veracruz. Fisiografía [en línea]. Sistemas Nacionales Estadístico y de Información Geográfica. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Disponible en <http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/vrz/fisiografia2.cfm>.
- INEGI, 2005b. XXII Censo General de Población y Vivienda 2005. Veracruz. Resultados definitivos. Datos por localidad (integración territorial). SCINCE Sistema para la Consulta de Información Censal 2005. Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática. Aguascalientes, Ags, México.
- IPCC, 2007: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático IPCC, Ginebra, Suiza, 104 p.
- Lavell A., y E. Franco, 1996. Estado, sociedad y gestión de los desastres en América Latina. La RED-FLACSO-ITDG. Perú.
- Massure P., y C. Lutoff, 2002. Handbook on urban system exposure (USE). Assessment to natural disaster. Project RISK-UE.
- Massure, P., 2003. Variables and indicators of vulnerability and disaster risk for land-use and urban or territorial planning. IBD/IDEA Programa de Indicadores para la gestión de riesgos. Universidad Nacional de Colombia. Manizales, Colombia. Disponible en <http://idea.unalmz.edu.co>
- Mercé B., y M. Llasat, 2005. Aplicación de una herramienta SIG en el estudio de las inundaciones en Cataluña, 1901-2000. Grupo de Análisis de situaciones Meteorológicas Adversas. Departamento de Astronomía y Meteorología. Universidad de Barcelona. Disponible en www.am.ub.es/~carmeli
- Oxfam, 2007. Alarma Climática: Aumentan los desastres debidos al cambio climático. Oxfam Internacional. 31 p.
- Rashed, T., y J. Weeks, 2003. Assessing vulnerability to earthquake hazards through spatial multicriteria analysis of urban areas. *International Journal of Geographical Information Science*, 17(6): 547-576.
- Rosales, G. J., L.J. Uribe, L. G. Urbán, y S.E. Nava, 2004. Guía metodológica para elaborar atlas de peligros naturales a nivel de ciudad. Identificación y zonificación. Editores Consejo de Recursos Minerales y Secretaría de Desarrollo Social, México, 101 p.
- Saaty, T. L., 1980. The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill Book Co., N.Y.

- Salas, M. A., y M. Jiménez, 2004. Inundaciones. Serie fascículos. Centro Nacional de Prevención de desastres. CENAPRED. México. D. F. 53 p.
- Taylor, C., E. Vanmarcke, y J. Davis, 1998. Evaluating models of risk from natural hazards. *In*: H. Kunreuther, y R.J. Rorth (eds.). Paying the Price. Joseph Henry Press Washington.

Posada Vanegas G., y B.E. Vega Serratos, 2010. Evaluación de zonas inundables para la ciudad de San Francisco de Campeche, p. 607-622. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche, CETYS-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO UN ENFOQUE COSTERO Y MARINO

Habitantes y patrimonio

Evaluación de zonas inundables para la ciudad de San Francisco de Campeche

Gregorio Posada Vanegas y Beatriz Edith Vega Serratos

RESUMEN

Al presentarse un ascenso en el nivel medio del mar, aunque no ocurra un incremento en la cantidad y magnitud de los eventos meteorológicos extremos, es de esperarse un aumento en las zonas costeras sujetas a peligro de inundación. En este trabajo se cuantifica, por medio de un modelo hidrodinámico de ondas largas, para condiciones actuales y futuras (considerando el escenario más desfavorable predicho por el IPCC 2007), la inundación esperada para la ciudad de San Francisco de Campeche cuando se presenta, para ambos casos, un evento meteorológico extremo de características similares. Después de realizado el análisis se observa que las zonas con mayor probabilidad de inundación, para ambos escenarios, son aquellas que corresponden a los terrenos ganados al mar en las décadas de los cincuenta y sesenta.

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se evalúan las zonas que pueden llegar a inundarse en la ciudad de Campeche debido al efecto de un viento norte (magnitud y dirección constantes) bajo dos escenarios diferentes de nivel medio del mar, el primero para condiciones actuales (sin variación en el nivel medio del mar), el segundo considerando un aumento de +0.59 m que corresponde al escenario más desfavorable de los previstos por el IPCC (2007, tabla 1). Dentro de los alcances de este trabajo no se analizan las causas, ya sean locales o globales, que puedan producir un aumento en el nivel medio del mar asociado al cambio climático, este análisis es abordado en otros capítulos que conforman esta obra.

La evaluación de la inundación en zonas costeras se realiza por medio de la aplicación de un modelo numérico que resuelve las ecuaciones de aguas someras promediadas en la vertical, que además tiene la capacidad de simular el secado y mojado de celdas durante la evaluación de casos hidrodinámicos. Este modelo se aplicará al dominio topobatimétrico real de la ciudad de Campeche.

En la primera parte del capítulo se describirá brevemente el modelo numérico, posteriormente se detallará la zona de estudio, la malla numérica y los casos modelados, finalmente se analizarán y comentarán los resultados obtenidos.

MODELO NUMÉRICO

En este trabajo se usa el modelo propuesto por Posada (2008), el cual resuelve sobre una malla jerárquica de tipo Quadtree las ecuaciones de aguas someras promediadas en la vertical con un

Tabla 1. Proyecciones del calentamiento de la superficie libre y aumento en el nivel medio del mar para finales del siglo XXI.

Caso	Cambio de temperatura (°C en 2090-2099 respecto a 1980-1999)		Aumento en el nivel medio del mar (m en 2090-2099 respecto a 1980-1999)
	Estimación óptima	Intervalo probable	Intervalo obtenido a partir de modelos, excluidos los cambios climáticos dinámicos rápidos futuros del flujo de hielo
Concentraciones constantes en los niveles del año 2000	0.6	0.3 – 0.9	No disponible
Escenario B1	1.8	1.1 – 2.9	0.18 – 0.38
Escenario A1T	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.45
Escenario B2	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.43
Escenario A1B	2.8	1.7 – 4.4	0.21 – 0.48
Escenario A2	3.4	2.0 – 5.4	0.23 – 0.51
Escenario A1FI	4.0	2.4 – 6.4	0.26 – 0.59

método de volumen finito por medio de una aproximación numérica de tipo Godunov de segundo orden, se utiliza el solucionador de Riemman para resolver la aproximación de Roe con la cual se determinan los flujos no viscosos, la integración en el tiempo se realiza con el método de primer orden de Adams-Bashforth.

SISTEMA DE MALLADO

El modelo utiliza un sistema de mallado de tipo jerárquico, estas mallas permiten crear sistemas de celdas no estructurados que almacenan la información con una estructura similar a la de un árbol genealógico (Rogers, 2001); Las mallas son de tipo Quadtree, ya que se aplican a un dominio bidimensional, si se aplicara a un modelo tridimensional se denominarían Octree. Estas mallas son irregulares debido a que contienen celdas de diferentes tamaños en todo el dominio de cálculo, con lo cual se logra una alta definición en las zonas de interés y baja en otras partes del dominio que no son tan importantes de conocer al detalle.

Para realizar este tipo de mallado jerárquico, son necesarios dos pasos: generación inicial y regularización, los cuales se describen en Posada (2008).

ECUACIONES DE GOBIERNO

Al ser un modelo bidimensional las variables que se cuantifican para cada celda del dominio de cálculo son: la superficie libre (un valor positivo indica una posición por encima del nivel de referencia, que para este trabajo es el nivel medio del mar), y las velocidades promediadas en la vertical, tanto para las abscisas (eje X) como para las ordenadas (eje Y), al ser tres incógnitas se deben resolver igual número de ecuaciones, las cuales son:

Ecuación de continuidad

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(UH)}{\partial x} + \frac{\partial(VH)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

Donde:	$H=h+\eta$
	η Sobrelevación de la superficie libre respecto al nivel medio del mar, [m].
	h Profundidad del fondo respecto al nivel medio del mar, [m].
	U Velocidad media en la dirección X, [m/s].
	V Velocidad media en la dirección Y, [m/s].

Ecuación de cantidad de movimiento, dirección X

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(U^2 H)}{\partial x} + \frac{\partial(UVH)}{\partial y} = fVH - gH \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{1}{\rho_0} (\tau_{xz(\eta)} - \tau_{xz(-h)}) +$$

$$H\epsilon_h \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) + 2H \frac{\partial U}{\partial x} \frac{\partial \epsilon_h}{\partial x} + H \frac{\partial \epsilon_h}{\partial y} \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right)$$

Donde:

f = factor de Coriolis,

ϵ_h = coeficiente de viscosidad de remolino

$\tau_{xz(\eta)}$ = esfuerzo debido al viento en la dirección X,

$\tau_{xz(-h)}$ = esfuerzo debido al fondo en la dirección X.

Ecuación de cantidad de movimiento, dirección Y

$$\frac{\partial(VH)}{\partial t} + \frac{\partial(UVH)}{\partial x} + \frac{\partial(V^2 H)}{\partial y} = -fUH - gH \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{1}{\rho_0} (\tau_{xz(\eta)} - \tau_{xz(-h)}) +$$

$$H\epsilon_h \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) + 2H \frac{\partial V}{\partial y} \frac{\partial \epsilon_h}{\partial y} + H \frac{\partial \epsilon_h}{\partial x} \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right)$$

Ecuaciones complementarias

Factor de Coriolis

El factor de Coriolis se calcula con la expresión:

$$f = 2\omega \sin \Phi$$

Donde:

$\omega = 7.3 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$ (velocidad de la Tierra)

Φ latitud de la zona de estudio

Fricción de fondo

Los esfuerzos debidos a la fricción del fondo del mar se evalúan con la expresión

$$\tau_{xz(-h)} = \rho_0 C_D |\bar{V}| U \quad (4)$$

Donde:

ρ_0 es la densidad del agua de mar

C_D es el coeficiente de arrastre que es función del coeficiente de Chezy

$|\bar{V}| = \sqrt{U^2 + V^2}$, módulo de la velocidad

El coeficiente de arrastre se puede calcular con

$$C_D = \frac{g}{C^2} \quad (5)$$

Donde se calcula con la fórmula de Colebrook-White, $C = 181 \log \left(\frac{12H}{k_s} \right)$ y k_s es un parámetro que depende de la rugosidad del fondo marino, el modelo utiliza $k_s = 0.2$, como lo propone Castanedo (2000).

Esfuerzo debido al viento

Los esfuerzos debido al viento son de la forma:

$$\tau_{xz(\eta)} = C_a \rho_a W_x W \quad (6)$$

Donde: $C_a = 0.0026$, coeficiente de arrastre del viento (Falconer, 1994)
 ρ_a , densidad del aire
 W , velocidad del viento a 10 m sobre el nivel del mar
 W_x , $W \cos \theta$, componente en X del viento
 θ , ángulo de incidencia del viento respecto al eje X

Coeficiente de viscosidad de remolino

El modelo tiene la opción de considerar un valor constante o calcular uno variable con la expresión

$$\varepsilon_k = l^2 \left[\left(\frac{\partial U}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial y} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (7)$$

Donde: $l^2 = C_s \Delta x \Delta y$;
 este modelo utiliza para C_s el sugerido por Castanedo (2000) que es 0.05, pero se puede utilizar el indicado por Blumberg y Mellor de 0.1 (1987)

Inundación y secado de celdas

Para representar adecuadamente el fenómeno de inundación por marea de tormenta el modelo numérico debe permitir que las celdas del dominio se sequen o inunden según sea el caso. A continuación se detallan los tres criterios implementados para representar la inundación o secado de las celdas costeras.

Para el cálculo de las velocidades se utiliza la menor profundidad entre dos celdas vecinas. Para evaluar si una celda está seca o mojada se utiliza la profundidad y la superficie libre en el centro de esta.

Para calcular el coeficiente de fricción C de Chezy se utiliza la expresión

$$C = 18 \log \left(\frac{12H}{k_s} \right) \quad (18)$$

Donde k_s es la altura de la rugosidad del lecho marino.

Por ejemplo si $k_s = 0.03$ m, cuando H sea menor a 0.003 m el coeficiente C será 1.5, lo cual convierte a la fricción en un valor muy alto, obligando a que las velocidades del flujo sean casi equivalentes a cero.

Se implementan tres límites, para cada paso de tiempo se verifica la altura del agua H_i en cada celda del dominio y en función de su calado se realiza el secado ó mojado de la celda de la siguiente manera:

- | | |
|--------------------------|--|
| Si : $H_i < H_{seco}$: | La celda se considera seca, se anulan las velocidades y el valor de la superficie libre es igual a cero, esta celda se convierte entonces en tierra. |
| Si : $H_i > H_{inund}$: | La celda entra al dominio de cálculo, las velocidades se consideran iguales a cero y su superficie libre obtiene el valor del 10% de la superficie libre de la celda vecina. |

Los valores de los límites de inundación y secado son los siguientes:

$$\begin{aligned} H_{seco} &= 0.1 K_s \\ H_{inund} &= 0.5 K_s \end{aligned} \quad (9)$$

ZONA DE ESTUDIO

El modelo anteriormente descrito se aplicó a la bahía de la ciudad de San Francisco de Campeche con la finalidad de modelar un viento de magnitud y dirección constante, 120 km/h y 315° con respecto al norte, según Silva (2008), este viento está asociado a un periodo de retorno de 100 años (figura 1). El intervalo de modelación para cada uno de los dos casos analizados fue de 2 días, tiempo en el cual se alcanzó la estabilidad numérica en la solución.

La región modelada está comprendida entre las coordenadas 19°47'4.65'', 90°37'14.63'' y 19°52'27.79'', 90°28'46.36'', la batimetría se compuso de la información recabada por dos fuentes distintas, una campaña batimétrica realizada por el Instituto de Ingeniería de la UNAM en 2004 (figura 2); y la carta 28265 publicada por la armada de los Estados Unidos (HYCOOP, figura 3). La topografía necesaria para evaluar las zonas propensas a inundarse se obtuvo a partir de un modelo digital de terreno con resolución de 3 m por pixel (figura 4).

La resolución máxima de la celda para las mallas numéricas de los escenarios modelados es la misma, 30.4 m para la dirección X y 18.8 m para la dirección Y, este nivel se aplicó para todos los puntos ubicados entre +2.0 m y -7.0 m en la modelación de las condiciones actuales

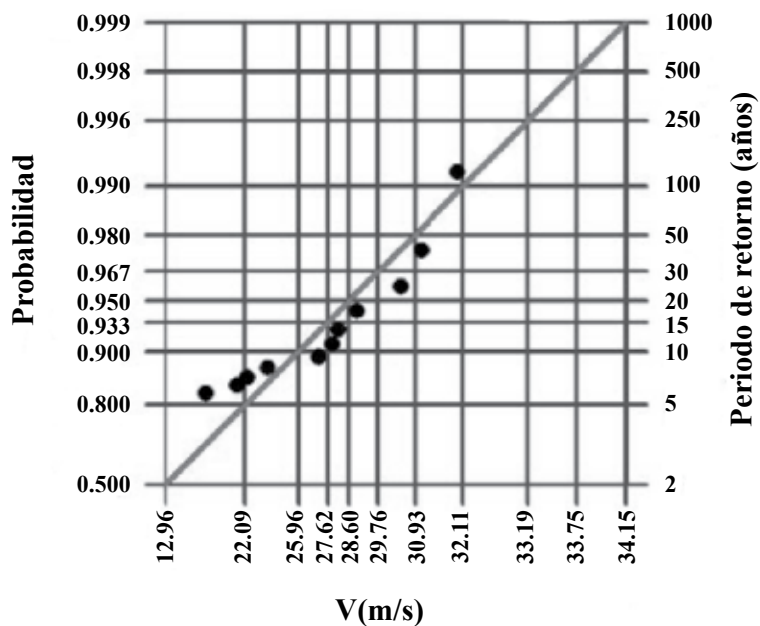


Figura 1. Régimen anual extremal de velocidades de viento sostenidos para la zona costera de San Francisco de Campeche (Ruíz *et al.*, 2008).



Figura 2. Batimetría obtenida en 2004 por el Grupo de Ingeniería de Costas y Puertos, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

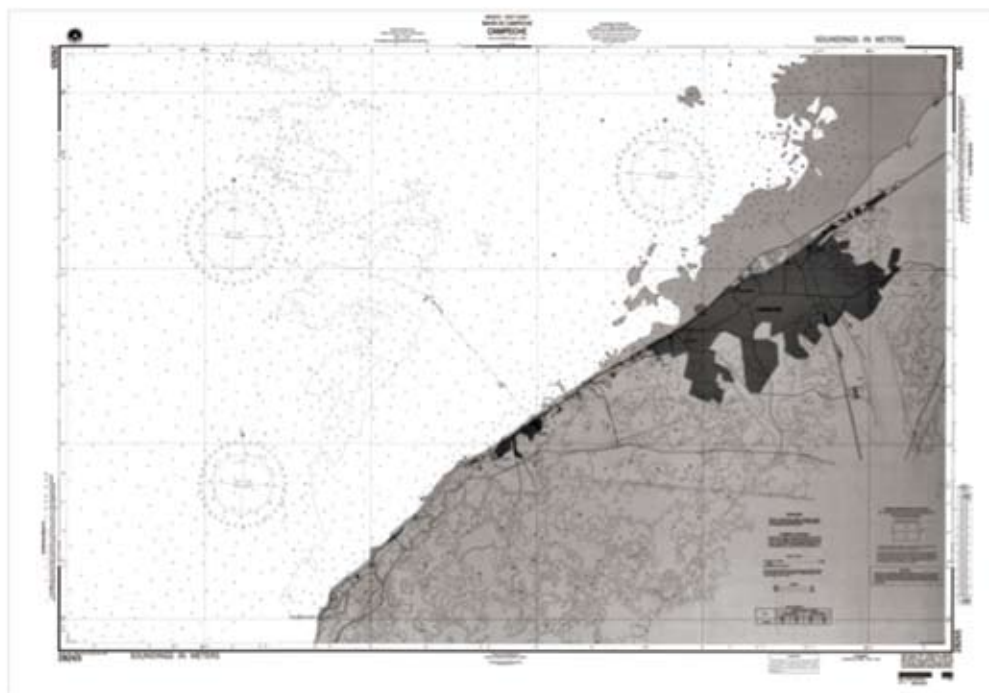


Figura 3. Carta batimétrica No 28265 de HYCOOP.



Figura 4. Modelo digital de elevaciones para San Francisco de Campeche, resolución 3m, Grupo ODI.

(caso 1); y entre 2.5 y -7.0 m para la modelación del escenario asociado con cambio climático (caso 2). Las figuras 5 y 6 representan las mallas para cada uno de los escenarios. Estas mallas están compuestas por 51 646 y 51 526 celdas, respectivamente. La línea representa la costa, se observa que salvo en la parte norte de ambas figuras, no hay desplazamiento de la costa hacia tierra adentro cuando el nivel medio del mar aumenta +0.59 m, esto debido principalmente a la protección dada por el malecón construido en la ciudad de Campeche.

El paso de tiempo utilizado fue de 1.0 s, el esfuerzo asociado al viento se incrementó paulatinamente desde 0.0 hasta su nivel máximo por medio de una función cúbica, una vez alcanzado este máximo se mantuvo constante hasta que la solución numérica fuera estable, esto es que no haya cambio en el área de inundación en un intervalo de 30 minutos.

RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los dos escenarios una vez que la solución numérica es estable. Se hace énfasis en que el único fenómeno natural modelado fue viento constante.

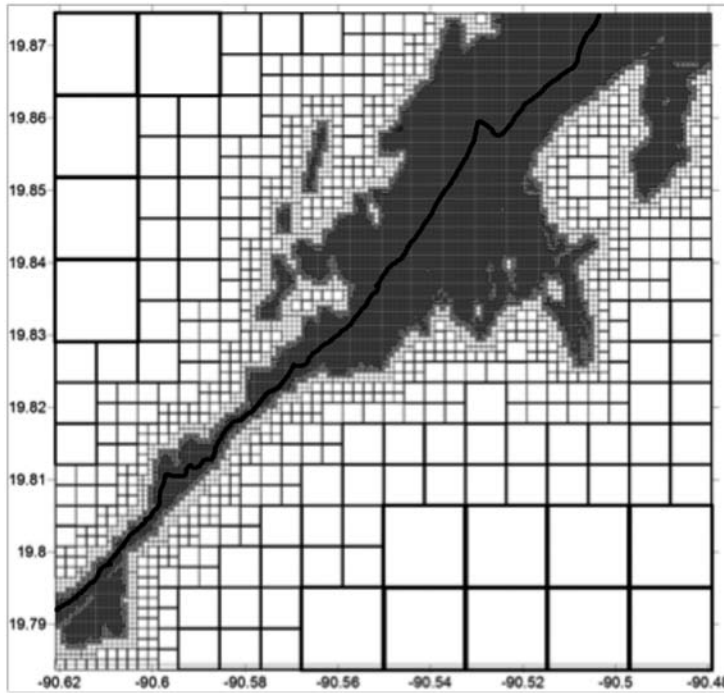


Figura 5. Malla numérica para el escenario 1, sin cambio climático.

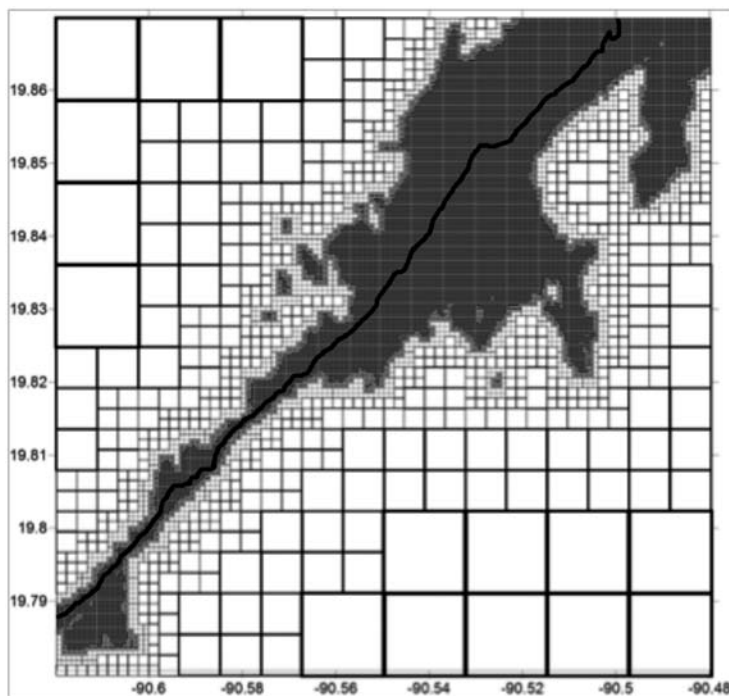


Figura 6. Malla numérica para el escenario 2, con cambio climático.

CASO 01, CONDICIÓN ACTUAL

En la figura 7 se presenta el valor de la superficie libre antes de que comience la inundación, esta situación se alcanza aproximadamente 4 horas después de que el viento ha llegado a su máximo. El valor máximo de la superficie libre es de 0.38 m. Las velocidades máximas son cercanas a 0.72 m/s y se ubican en las celdas cercanas a la costa (figura 8).

El nivel estable de inundación se alcanza cuando el viento máximo ha actuado durante 15 horas en la ciudad de Campeche, en la figura 9 se muestra el valor de superficie libre correspondiente a dicho instante, las mediciones están referidas al nivel medio del mar, la inundación real en las zonas costeras está entre 30 y 35 cm.

CASO 02, CONSIDERANDO NIVEL MÁXIMO DE AUMENTO EN EL NIVEL MEDIO DEL MAR ASOCIADO AL CAMBIO CLIMÁTICO

Se modeló el comportamiento hidrodinámico de la bahía de Campeche bajo las mismas condiciones de viento que en el caso anterior, considerando un aumento en el nivel medio del mar de 0.59 m, como el escenario de cambio climático más desfavorable.

Para este caso antes de comenzar la inundación en la ciudad de Campeche, las velocidades son similares a las estipuladas para el caso 01 (figura 8); al igual que el valor de la superficie

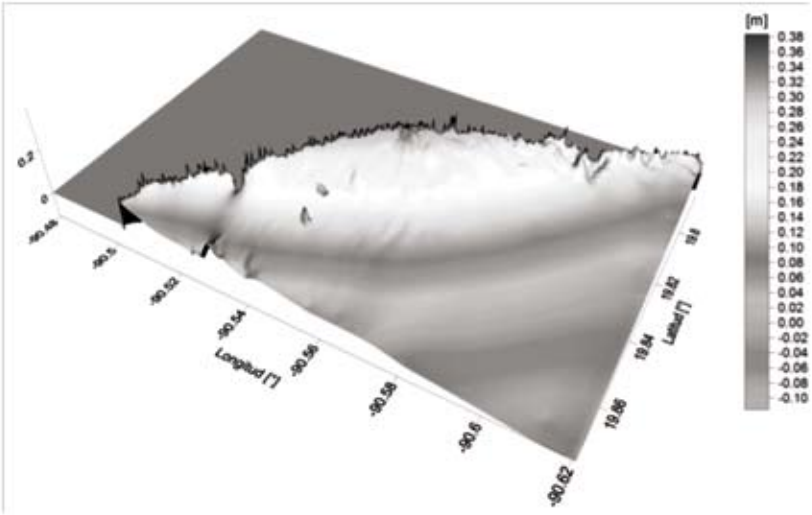


Figura 7. Niveles de superficie libre (metros) antes de comenzar la inundación.

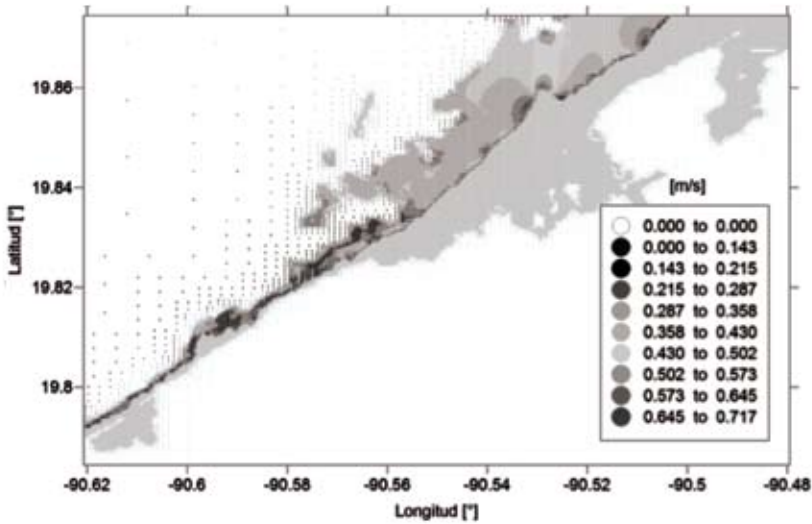


Figura 8. Valores de velocidad (m/s) antes de comenzar la inundación.

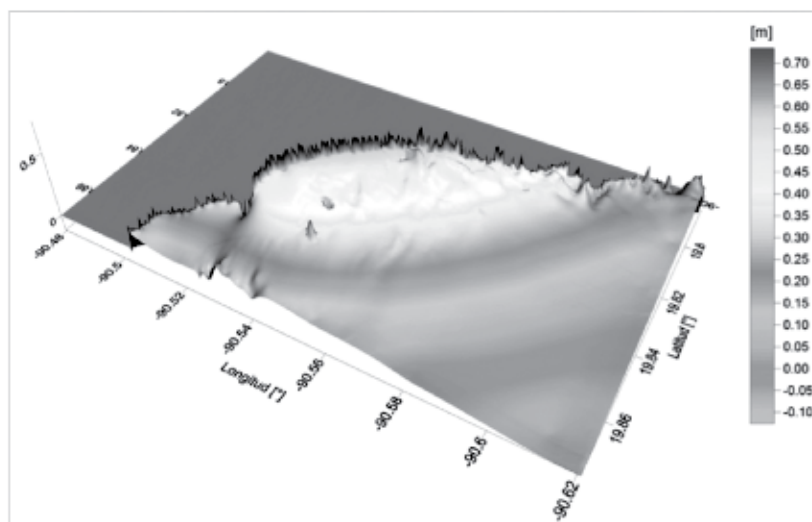


Figura 9. Niveles de superficie libre con inundación estable, caso 01.

libre del mar en el frente playero, considerando aquí que este dato está referido al nivel medio del mar de la modelación.

En las figuras 10 y 11 se presentan los valores de superficie libre y de velocidades cuando la inundación es estable, los máximos valores son cercanos a 0.60 m y 2.0 m/s para la inundación y las velocidades, respectivamente.

Con el fin de hacer una comparación entre el área inundada para el caso 01 y el caso 02, con respecto al nivel medio del mar sin cambio climático se construyó la figura 12, se aprecia la línea de costa original, y los contornos de inundación con y sin cambio climático, respectivamente. En la tabla 2 se presentan las áreas de inundación para cada uno de los casos.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Al analizar la configuración de la línea de costa con y sin cambio climático para la ciudad de San Francisco de Campeche, se concluye que con un aumento de +0.59 m en el nivel medio del mar (sin considerar el efecto del viento), solamente la parte norte del área modelada (Los Petenes) se inunda y la ciudad no resulta afectada, esto debido a que la línea de costa está compuesta por un malecón con una altura promedio de 1.5 m que funciona para condiciones normales (*e.g.* marea astronómica y viento de baja intensidad) como obra de defensa. Es importante mencionar que este aumento de +0.59 m repercutirá en un aumento de la permanencia de agua de mar debido a la marea astronómica en los manglares de la zona norte, por lo que estos sufrirán los efectos correspondientes.

Para el caso 01 comienza la inundación de la ciudad de Campeche 5 horas después de que el viento está actuando con su máxima intensidad, para el caso 02 este lapso de tiempo dismi-

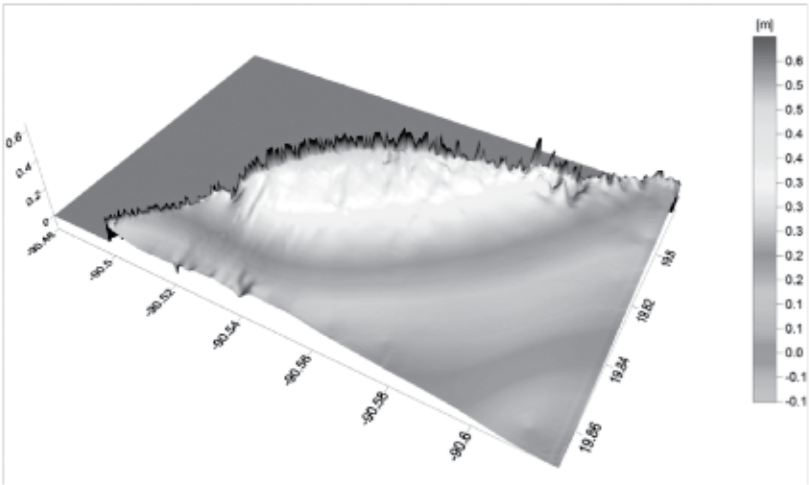


Figura 10. Niveles de superficie libre con inundación estable, caso 02

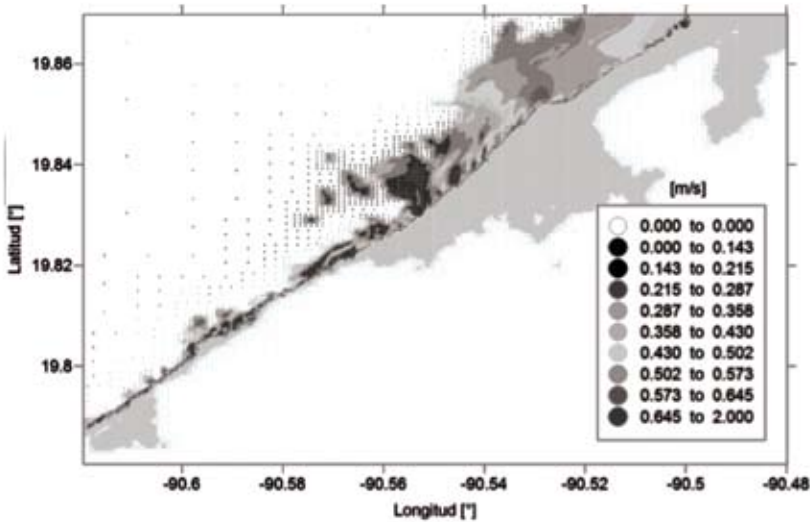


Figura 11. Valores de velocidad con inundación estable, caso 02.

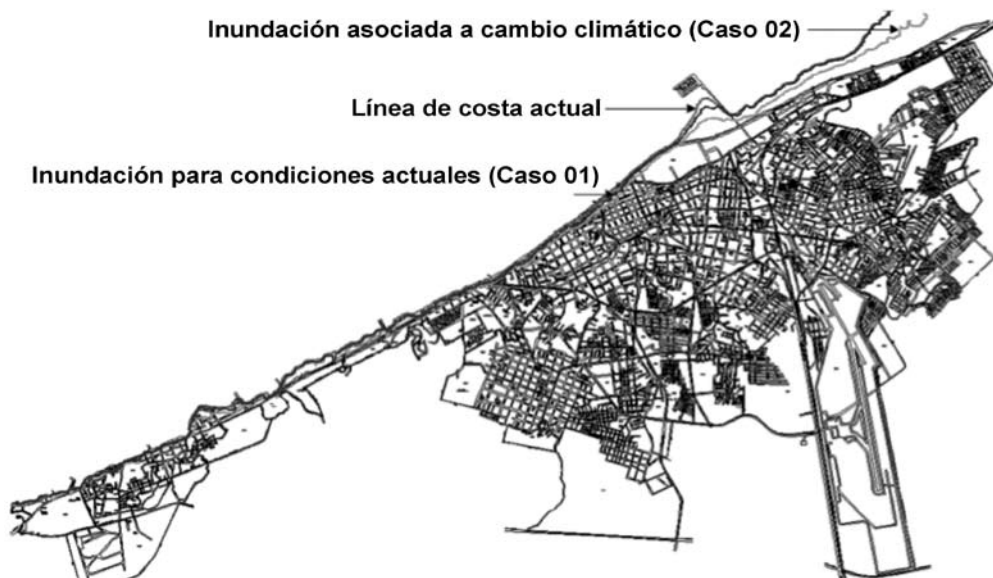


Figura 12. Comparación gráfica entre inundaciones para viento constante con y sin cambio climático.

Tabla 2. Comparación entre inundaciones asociadas a viento constante con y sin cambio climático.

Condición	Área (m ²)
Caso 01, condición actual	475 574
Caso 02, ascenso de +0.59 m asociado al cambio climático	1 575 493

nuye a 3 h, a partir del momento en que la inundación ocurre, el área que se inunda en el caso asociado a cambio climático es 3 veces superior a la que ocurriría para las condiciones actuales. Las principales áreas que se inundan son: Los Petenes, zona comercial Akim-Pech y la parte central (zona amurallada), los dos últimos son terrenos ganados al mar entre los años 50 y 60 con la construcción del primer malecón.

El viento modelado corresponde a la condición esperada para un periodo de retorno de 100 años, vientos correspondientes a periodos de retorno menores producirán niveles de inundación inferiores, el análisis extremal de viento se obtuvo para registros y modelaciones ocurridas en el periodo 1948 a 2007, por lo que debe actualizarse permanentemente para evaluar su variación conforme a la ausencia u ocurrencia del cambio climático.

La ciudad de Campeche carece de corrientes superficiales permanentes, cuando llueve su drenaje es a través de canales construidos para este fin (*e.g.* Ría de San Francisco). Para mejorar el análisis realizado en este trabajo se debe considerar la inundación producida por el desbor-

damiento del agua que llevan estos canales, ya que un nivel de marea de tormenta de +0.60 m funciona como un tapón que obliga a que el nivel del agua en los caudales aumente, ocasionando por lo tanto inundaciones en zonas alejadas de la línea costera.

AGRADECIMIENTOS

Los autores reconocen y agradecen la ayuda otorgada por la Bióloga Areli Assenett Martínez Reyes y el M.A Ramón Zetina Tapia para la elaboración de este trabajo. De manera muy especial agradecen a la Dra. Evelia Rivera Arriaga la oportunidad de ser partícipes de esta obra, así como su paciencia en otorgarnos múltiples ampliaciones del plazo para entregar este capítulo.

LITERATURA CITADA

- Blumberg, A.F., y G.L. Mellor, 1987, A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model. Three-dimensional coastal ocean models. Ed N.S. Heaps, American Geophysical Union. Washington DC.
- Castanedo, S., 2000. Desarrollo de un modelo hidrodinámico tridimensional para el estudio de la propagación de ondas largas en estuarios y zonas someras. Tesis Doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad de Cantabria.
- Falconer, R.A., 2004. An introduction to nearly-horizontal flows. p. 27-36. In: M.B. Abbott and W.A. Price (eds.). Coastal, Estuarial and Harbour Engineer's Reference Book, , Chapman & Hall, Londres.
- IPCC, 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático IPCC, Ginebra, Suiza, 104 p.
- Posada, G., R. Silva, y R. Medina, 2008. Modelo numérico tridimensional para transporte de un contaminante conservativo. *Ingeniería Hidráulica en México segunda época*, IMTA, XXIII (1): 5-19, II época.
- Ruiz, G., Mendoza, E., Silva, R., Posada, G., Pérez, D., Rivillas, G., Escalante, y E., Ruíz, F., 2008. Caracterización del régimen de oleaje y viento de 1948-2007 en el litoral mexicano. *Revista de Ingeniería del Agua*, 16(1).
- Rogers, B., 2001. Refined localised modelling of coastal flow features using adaptive quadtree grids. Tesis Doctoral., University of Oxford.
- Silva, R., *et. al.*, 2008. Atlas Oceanográfico de clima marítimo de la vertiente Atlántica mexicana. Universidad Nacional Autónoma de México.

Sosa Ferreira, A.P., 2010. Condiciones socioeconómicas y vulnerabilidad de la península de Yucatán. p. 623-638. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche, CETYS-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO UN ENFOQUE COSTERO Y MARINO

Habitantes y patrimonio

Condiciones socioeconómicas y vulnerabilidad de la península de Yucatán

Ana Pricila Sosa Ferreira

RESUMEN

La península de Yucatán constituye una de las principales áreas amenazadas por los efectos del cambio climático: el incremento en el número y fuerza de eventos meteorológicos y la posible elevación del nivel del mar (Rowley *et al.*, 2007) constituyen amenazas a sus costas. La Organización Mundial del Turismo (OMT o UNWTO), señala al Gran Caribe como una de las regiones en mayor riesgo por los efectos del cambio climático (UNEP-WMO-UNWTO, 2008). A su vez, tanto el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático, IPCC, como el Informe Stern (2006) indican que la península de Yucatán está altamente amenazada por esos efectos. Ante esto, en este apartado se revisan las características sociodemográficas de la población de la costa de la península, para aportar datos en la definición de su grado de exposición ante esas amenazas como uno de los elementos que definen su vulnerabilidad frente a los efectos del cambio climático (CC). De acuerdo a los datos presentados, existe una concentración demográfica importante con un alto crecimiento de la población en la costa de la península de Yucatán. Las comunidades costeras presentan un grado de exposición que favorece aún más el nivel de vulnerabilidad: la presencia de zonas bajas a lo largo de la costa, una creciente población costera a 30 o menos kilómetros del litoral y las condiciones sociales de marginación de la misma, son los elementos que propician un grado de vulnerabilidad de medio a alto (Salles *et al.*, 2006). Para el análisis de la vulnerabilidad de las comunidades en la costa de la península, será necesario continuar examinando otros elementos como son las capacidades sociales, institucionales e individuales para aplicar medidas de prevención y adaptación.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático implica repercusiones y responsabilidades en todas las actividades y para todas las áreas geográficas, lo que exige un análisis cuidadoso en cada tema y al mismo tiempo de forma integrada. La península de Yucatán constituye especialmente un área prioritaria a la luz de sus características sociogeográficas y el nivel de riesgo ante los posibles efectos del cambio climático. Requiere entonces de análisis desde las diversas disciplinas y sobre las distintas implicaciones. Este trabajo* realiza una revisión de las características sociodemográficas de las comunidades costeras de la Península, como un elemento importante y un primer paso para determinar el nivel de exposición de esta población ante las amenazas para ayudar a definir el nivel de riesgo. Para ello se realizó una investigación bibliográfica y documental, así como un levantamiento en campo.

Los conceptos generales que son asumidos en este texto son los siguientes:

“El cambio climático se refiere a una variación estadísticamente significativa en el estado o bien la media del clima o en de su territorio (micro-local) o temporal (estacional) de la variabilidad, que persiste por un período prolongado (normalmente, décadas o más).” El cambio climático puede deberse a procesos naturales internos o los forzamientos externos (por ejemplo, la fluctuación en la energía solar), o los cambios antropogénicos persistentes en la composición de la atmósfera o en el uso de la tierra... “La mitigación del cambio climático se refiere a los cambios tecnológicos, económicos y sociales, así como las sustituciones para reducir las emisiones”. (OMT, 2007)

“La vulnerabilidad es la probabilidad de que una comunidad, expuesta a una amenaza natural, pueda sufrir daños humanos y materiales según el grado de fragilidad de sus elementos: infraestructura, vivienda, actividades productivas, grado de organización, sistemas de alerta, grado de organización. La suma de la amenaza natural y la vulnerabilidad, determinan el riesgo”. (CEPAL-BID, 2000).

LA PENÍNSULA DE YUCATÁN: AMENAZAS Y EXPOSICIÓN

La península de Yucatán constituye un área principal amenazada por los efectos del cambio climático: el incremento en el número y fuerza de eventos meteorológicos (tormentas tropicales, huracanes y las lluvias asociadas) y la posible elevación del nivel del mar (Rowley *et al.*, 2007) constituyen amenazas a sus costas. La OMT señala al Gran Caribe como una de las regiones en mayor riesgo por los efectos del cambio climático (UNEP-WMO-UNWTO, 2008). Tanto el Panel Intergubernamental, como el Informe Stern (2006) indican que la península de Yucatán

*Este trabajo es parte de los avances del proyecto para la Red de Cambio Climático del Sureste de México, apoyado por Promep. Agradezco el apoyo de la Lic. Perla Fragosó y de la estudiante María del Mar Rosete.

está amenazada por esos efectos. Los atlas de riesgos de los estados que integran la península lo señalan de la misma manera. Ante esto, y para el interés de este trabajo, resulta importante revisar el grado de exposición de la población costera de la península de Yucatán y de las actividades económicas en el área (figura 1).

En este apartado, se revisarán las características sociodemográficas de la población de las costas de la península, para aportar datos en la definición del su grado de exposición ante las amenaza, mismas que definen su vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático (CC).

Se parte de conceptos de las instituciones internacionales (ONU, PNUD, IPCC) y nacionales (Semarnat), y que la CEPAL (CEPAL-BID, 2000) resume con claridad: Una amenaza es la probabilidad de que ocurra un evento (como fenómenos naturales), en un espacio y momento determinado, y que pueda causar daño. Por otro lado, la vulnerabilidad se refiere a la probabilidad de que, debido a la intensidad del evento y a la fragilidad de los elementos expuestos, ocurran daños a la economía, a los seres humanos y al ambiente. Los “elementos expuestos” son la infraestructura, vivienda, actividades productivas, capacidad de organización institucional y social para enfrentarlo y el desarrollo político-institucional. El riesgo es la relación entre amenaza y vulnerabilidad; está definida por las capacidades de prevención y respuesta o la ausencia de ellas (CEPAL-BID, 2000). Este trabajo se concentra en la vivienda y otras condiciones socioeconómicas, así como las actividades productivas que definen en parte el grado de exposición ante las amenazas.

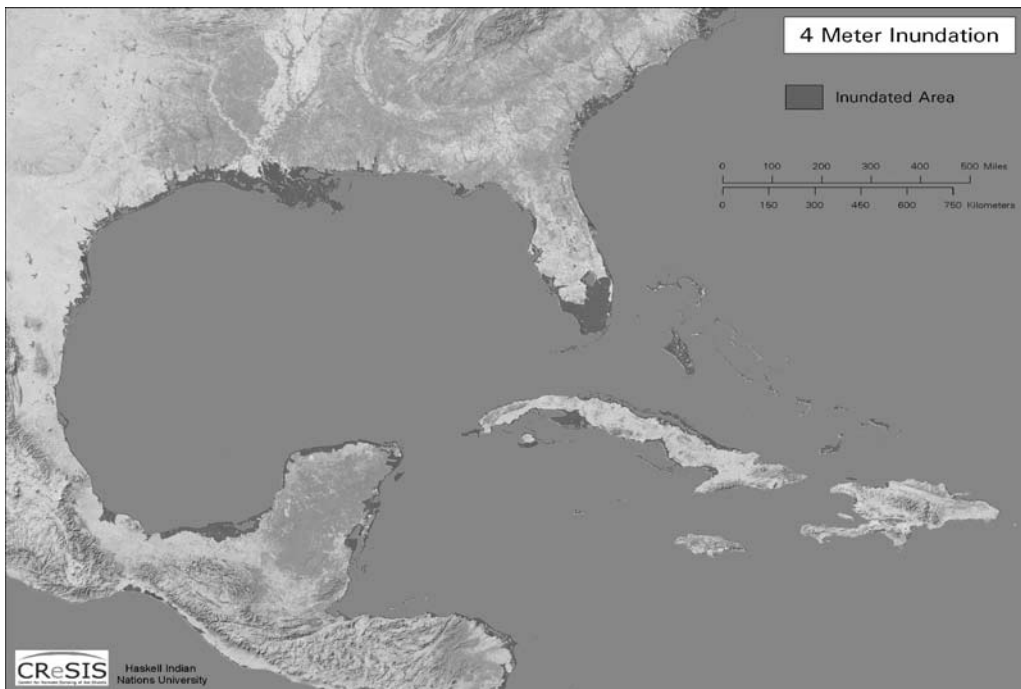


Figura 1. Afectación en el Caribe por la elevación del nivel del mar en 4 m.

Tomad de: https://www.cresis.ku.edu/data/sea-level-rise-maps?quicktabs_3=0#quicktabs-3.

La discusión respecto de la adaptación ante el cambio climático es intensa y relevante. León Diez (2009) señala que los países desarrollados cuentan con análisis y planes fundamentados y detallados al respecto, mientras que los países en desarrollo deben aún avanzar en construir sus metodologías y sus planes en este tema. El Banco Mundial también ha promovido la atención a este tema vinculado a los Objetivos del Milenio y proponiendo apoyo de los países desarrollados hacia los subdesarrollados en este tema. Desde la OCDE se trabaja para que los países cuenten con su Plan Nacional de Adaptación para el Cambio Climático. Un primer paso, sin embargo, es realizar los diagnósticos, incluyendo la revisión de las condiciones de los asentamientos humanos.

De manera idónea, las medidas de adaptación incluyen no solamente la previsión de las amenazas de fenómenos naturales que ya se observan, sino también las medidas que anticipan futuros efectos derivados del cambio climático (Semarnat, 2007a y b). Para ello, se establece el comportamiento histórico del clima, los escenarios del futuro mediano y de largo plazo y a partir de ello cuáles son las opciones de adaptación y las políticas que deben asegurarlas. Para León Diez (2009), el caso de Francia es ejemplar al establecer la siguiente propuesta conceptual para la adaptación:

- a) Un acercamiento intersectorial (agua, riesgos, salud y biodiversidad);
- b) Un acercamiento basado en visiones sectoriales (agricultura, energía e industria, transporte, construcción y turismo);
- c) Un acercamiento basado en ecosistemas (urbano, costa, montañas, bosques).

Para el análisis de las vulnerabilidad y adaptación, también existen propuestas que estudian las capacidades para aplicar medidas de adaptación; es decir, están dirigidas a evaluar las capacidades sociales, institucionales e individuales en las comunidades a ser analizadas, que hacen viable la aplicación de las medidas (Landa *et al.*, 2008). En esta línea, los elementos que permiten desarrollar esas capacidades son: la posibilidad de crear políticas nacionales e implementarlas, de generar conocimiento, de contar con un marco legal que lo facilite, existencia de espacios participativos de legislación y políticos y marco internacional. Estos elementos complementarían un marco general de análisis de la adaptación; no obstante, los alcances de este trabajo se encuentra en una fase inicial de nivel de exposición de las comunidades, de acuerdo a sus condiciones sociodemográficas, dejando los otros elementos para un avance posterior.

LA COSTA DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN

Conformada por los estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo, la costa de la península de Yucatán tiene una extensión de 1 941 kilómetros lineales y cuenta con una población de más de tres millones de habitantes. De las tres entidades federativas que abarca, Quintana Roo es la que tiene un litoral más extenso con 865.22 km. El segundo lugar lo ocupa Campeche, ubicado en la parte suroeste de la Península, con un litoral de 523 km. El estado de Yucatán, ubicado en la parte central del litoral, es el que tiene el territorio costero más reducido, pues cubre una extensión de 365 km (figura 2).



Figura 2. División estatal y municipal de la península de Yucatán.

Fuente: Laboratorio de Geografía, Universidad de Laval.

En Quintana Roo casi todos los municipios son costeros -7 de 8¹- y en Campeche lo son más de la mitad -7 de 11²-, en Yucatán únicamente 13 de los 106³ municipios están ubicados en la costa (tabla 1). Pese a que Yucatán es el estado con mayor población total, la población de los municipios costeros es mucho más grande en Campeche y Quintana Roo. En Yucatán, a excepción de tres municipios costeros entre los cuales Tizimín es el más poblado, los otros 10 cuentan con menos de 10 000 habitantes, mientras que en Quintana Roo todos sobrepasan este número: el más pequeño es Isla Mujeres con 13 315 y el más grande Benito Juárez -que incluye la ciudad de Cancún- con más de medio millón de habitantes (Doyon *et al.*, 2009).

Como se aprecia en el tabla 1, mientras que tres municipios costeros del estado de Yucatán -Dzilam de Bravo, Sinanché y Yobaín- presentan una tasa de crecimiento anual negativa, los municipios de Solidaridad y Benito Juárez en Quintana Roo tienen una tasa elevada, de las más altas a nivel nacional, lo que se relaciona con la actividad turística que constituye un factor de atracción.

¹ Lázaro Cárdenas, Benito Juárez, Isla Mujeres, Solidaridad, Cozumel, Felipe Carrillo Puerto y Othón P. Blanco.

² Calkiní, Campeche, Carmen, Champotón, Hecelchakán, Tenabo y Palizada.

³ Celestún, Hunucmá, Progreso, Dzemu, Ixil, Telchac Puerto, Sinanché, Yobaín, Dzidzantun, Dzilam de Bravo, San Felipe, Río Lagartos y Tizimín.

Tabla 1. Población de los municipios costeros de la península de Yucatán en 2005.

Fuente: Inegi, II Censo de Población y Vivienda 2005.

Municipio costero	Población total	Residentes en localidades de 2,500 y más habitantes (%)	Tasa media de crecimiento anual 2000-2005 (%)
Campeche			
Entidad	754 730	74.0	1.6
Calkiní	49 850	74.7	1.1
Campeche	238 850	90.6	1.7
Carmen	199 988	86.4	2.7
Champotón	76 116	62.7	1.3
Hecelchakán	26 973	67.3	1.4
Tenabo	9 050	76.6	1.3
Palizada	7 903	- -	1.7
Yucatán			
Entidad	1 818 948	83.0	1.6
Celestún	6 269	99.6	0.6
Dzemul	3 263	93.8	0.6
Dzidzantún	8 165	99.4	0.6
Dzilam de Bravo	2 248	0.0	-1.2
Hunucmá	28 100	91.6	1.4
Ixil	3 598	98.3	1.9
Progreso	49 454	94.2	0.2
Río Lagartos	3 272	0.0	1.2
San Felipe	1 838	0.0	0.0
Sinanché	2 972	0.0	-0.4
Telchac Puerto	1 626	0.0	0.4
Tizimín	69 553	68.1	1.4
Yobaín	2 056	0.0	-0.1
Quintana Roo			
Entidad	1 135 309	85.6	4.7
Cozumel	73 193	97.6	3.5
Felipe Carrillo P	65 373	54.3	1.4
Isla Mujeres	13 315	83.7	2.9
Othón P. Blanco	219 763	73.0	1.0
Benito Juárez	572 973	96.4	5.6
Lázaro Cárdenas	22 357	28.6	1.6
Solidaridad	135 589	89.3	14.2

El papel de la costa en la economía peninsular fue marginal hasta la segunda mitad del siglo xx, cuando se desarrolló el sector pesquero (sin contar las rutas comerciales que abastecían la zona). En las últimas décadas del siglo xx y la primera del xxi, actividades tales como la industria maquiladora, la petrolera y el turismo internacional dominan el panorama económico. Las dos últimas fuertemente vinculadas al litoral.

Como señala Córdoba (2009), actualmente subsiste el “grupo de explotación económica tradicional”, que comprende la explotación de los viejos recursos conocidos en la costa de la península de Yucatán, como la sal y la pesca; y un segundo grupo, que ha adquirido mayor fuerza, está centrado en una nueva forma de explotación de recursos: el petróleo y el turismo. El impacto de la explotación petrolera en la Península es aún limitado y se circunscribe a Ciudad del Carmen y sus inmediaciones (Villalobos y Rivera, 2009), mientras que el turismo ha tenido ya un impacto sociogeográfico extendido en todo el litoral.

El proceso de reconversión económica, iniciado en la década de los setenta se ha acelerado. Actualmente los tres estados que la conforman, cuya población representa el 3.59% de la federación, aportan ya el 4.20% del PIB mexicano y han logrado diferenciarse de otros estados del sur del país cuyas poblaciones permanecen en la marginalidad. En este contexto, la península de Yucatán ha recobrado cierta centralidad geoestratégica al llevar a cabo procesos de reconversión económica.

DATOS RELATIVOS AL MEDIOAMBIENTE

Respecto a sus características geofísicas, el litoral de la Península es del tipo de isla de barrera, es decir, aquél en el que la acumulación de los sedimentos ha dado lugar a la formación de una extensa isla sedimentaria, paralela a la línea de costa continental, y con lagunas costeras someras y humedales que las separen entre sí (Capurro, 2003). El gran desarrollo urbano tiene lugar en ambos ambientes, aunque predomina el de la isla de barrera por la presencia de playas directamente frente al mar. El litoral caribeño responde al mismo tipo de evolución aunque cuenta además con la presencia de una extensa barrera de arrecifes de coral. Además de constituir la principal atracción marina turística, esta barrera actúa como rompeolas y amortigua la erosión marina generada por las olas y corrientes (Ortiz y de la Lanza, 2006). El litoral quintanarroense y campechano presentan al sur las áreas de costa bajas, con el mayor riesgo de inundación ante lluvias abundantes (*e.g.* huracanes) y ante la posible elevación del nivel del mar.

Actualmente, más del 18% de la Península está catalogado como espacio natural protegido. Esta superficie, que representa 2 639 161 ha, incluye grandes extensiones interiores, como la Reserva de la Biosfera de Calakmul, pero concierne sobre todo a arrecifes coralinos y espacios insulares y litorales con frentes costeros de gran longitud (Laguna de Términos, Petenes, Ría Celestún, El Pamar, Dzilam, Ría Lagartos, Yum Balam, Sian Ka'an y Uaymil), además de los parques marinos.

Una característica muy importante del litoral de la península de Yucatán, tanto desde la perspectiva ecológica como económica, es la existencia de un sistema de lagunas y ciénagas a

lo largo de la toda la costa; en total son 13 600 ha de aguas protegidas. Las lagunas costeras tienen gran importancia en el entorno natural de la costa yucateca y para sus pobladores: por un lado –como zona de transición entre el ambiente acuático y el terrestre- estos cuerpos de agua paralelos a la costa y comunicados con el mar son de una enorme productividad gracias a los aportes de nutrientes y materia orgánica que se generan en ellos.

La seguridad, la salud, y el desarrollo económico y social en la península de Yucatán requieren incorporar en la planeación y gestión, los análisis relativos al cambio climático global (CCG) y sus efectos en el medio ambiente, especialmente en las zonas costeras (ipcc, www.ipcc.ch/). El sureste de México es la región del país con mayor vulnerabilidad a sus efectos, al menos en lo que se refiere a la posible elevación del nivel del mar; es también vulnerable ante los huracanes, tormentas e inundaciones; lo que exige una planificación del uso del territorio, el desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías y la participación informada de la sociedad. El PIDM (2009) considera que no es posible evitar los riesgos, pero si es factible reducir sus efectos si se cuenta con una buena planificación con base en información oportuna y confiable.

Por otra parte, además de la abundancia y variedad de fauna –aves y peces- que habitan las lagunas costeras, éstas se aprovechan para el turismo y la recreación, como puertos de abrigo, para la obtención de madera y tanino del manglar, para la extracción de sal y, de manera incipiente, para la acuicultura. No obstante, del mismo modo que son ecosistemas muy productivos, las lagunas costeras son también muy frágiles y vulnerables ante cualquier alteración de sus ciclos naturales.

De acuerdo a Salles *et al.* (2006), la amenaza de los fenómenos meteorológicos, en las zonas bajas del área y con una población costera importante, en condiciones sociales poco favorables, reúne los elementos para que se presente un grado de vulnerabilidad de medio a alto. Los elementos determinantes son: déficit de vivienda, condiciones débiles en su construcción, con deficiencia de servicios (agua entubada, drenaje, electricidad). La amenaza de que el área reciba tormentas tropicales o huracanes de categoría 1 o dos son bajas a medias y media a alta para recibir huracanes más fuertes (categoría 3 o 4 más). El Atlas de Riesgos (Salles *et al.*, 2009) define que los riesgos por marea de tormenta son medios y altos.

CONDICIONES SOCIOECONÓMICAS EN YUCATÁN

En 2005, de acuerdo con el II Censo de Población y Vivienda, la población total en el conjunto de los municipios costeros de Yucatán ascendía a 184 419 habitantes, una población que se ha multiplicado 4.5 veces desde 1940 (tabla 3). Tres municipios concentran al 79.8% de esta población: Tizimín (38.1), Progreso (27.1) y Hunucmá (15.4), que son, en números absolutos, también los municipios cuyas poblaciones han crecido más desde aquél año, como puede apreciarse en la tabla 3. La población restante se distribuye en los otros 10 municipios costeros, de los cuales solamente Dzinzantún y Celestún, que a pesar del rápido crecimiento de éste último en las últimas dos décadas, apenas superan el 3%.

Tabla. 2. Municipios costeros de Yucatán
Grado de marginación e indicadores socioeconómicos, 2005

	Grado de marginación %	Población analfabeta de 15 años o más %	Población sin primaria completa de 15 años o más %	Población ocupada con ingreso de hasta 2 salarios mínimos
Dzemul	Alto	16.5	43.7	77.5
Hunucmá	Alto	15.0	40.0	75.3
Ixil	Alto	11.5	36.0	78.2
Sinanché	Alto	17.2	43.8	80.1
Tizimín	Alto	18.3	45.2	75.2
Celestún	Medio	10.7	50.0	76.3
Río Lagartos	Medio	7.0	42.0	65.2
San Felipe	Medio	6.8	38.9	70.0
Telchac Puerto	Medio	11.5	38.6	71.5
Dzilam de Bravo	Medio	6.9	33.0	72.9
Yobaín	Medio	13.3	39.1	79.0
Progreso	Bajo	5.2	22.8	53.6
Dzidzantún	Bajo	9.5	31.2	63.6

Fuente: Índices de marginación (Conapo, 2005).

Una parte importante de la población de los municipios costeros de Yucatán vive en condiciones de marginación, es decir, no participa adecuadamente del acceso a bienes y servicios esenciales. De acuerdo con las estimaciones elaboradas en 2005 por el Consejo Nacional de Población (Conapo, 2005) a partir de la consideración de una serie de dimensiones socioeconómicas entre las que se encuentran educación, vivienda, ingresos y distribución de la población, solamente dos municipios de la costa yucateca (Dzidzantún y Progreso), tienen un bajo grado de marginación, mientras que seis (Celestún, Río Lagartos, San Felipe, Telchac Puerto, Dzilam de Bravo, Yobaín) tienen un grado de marginación medio y cinco un alto grado de marginación (Dzemul, Hunucmá, Ixil, Sinanché, y Tizimín). De acuerdo al Censo de 2005 (INEGI, 2006), a excepción de Tizimín y Dzidzantún, todos los municipios costeros se encuentran con algún grado de marginación.

LA COSTA DE CAMPECHE

Ubicado en la parte suroeste de la península de Yucatán, el estado de Campeche tiene un litoral de 523 km, con numerosos pantanos y ciénagas, que se amplía con la laguna de Términos en la zona interior, la cual tiene más de 60 km de longitud.

Desde el punto de vista físico, Campeche se encuentra en una posición de transición entre la selva tropical del Petén guatemalteco y la selva baja caducifolia del extremo norte de la Penín-

Tabla 3. Yucatán: grado de marginación e indicadores socioeconómicos, 2005.

Municipio %	Ocupantes en viviendas sin drenaje ni servicio sanitario %	Ocupantes en viviendas sin energía eléctrica %	Ocupantes en viviendas sin agua entubada %	Viviendas con algún nivel de hacinamiento %	Ocupantes en viviendas con piso de tierra
Dzemul	24.0	0.6	3.5	50.4	1.1
Hunucmá	33.2	1.0	22.6	63.9	2.5
Ixil	46.2	1.9	8.2	62.5	2.0
Sinanché	4.3	1.3	3.0	51.5	3.9
Tizimín	5.5	5.2	4.7	61.7	12.4
Celestún	3.6	4.0	1.3	59.6	8.9
Río Lagartos	1.7	2.2	2.4	58.0	1.8
San Felipe	1.9	3.5	2.6	48.1	2.0
Telchac Pto.	3.5	1.1	2.1	52.2	1.9
Dzilam de B.	5.1	1.3	2.0	55.8	1.3
Yobaín	1.9	0.9	0.8	56.3	1.2
Progreso	3.1	0.9	1.2	47.5	1.7
Dzidzantún	7.7	1.7	15.5	51.1	1.1

Fuente: Conapo, Índices de marginación 2005.

sula. Campeche forma parte de la gran laja caliza que es la península de Yucatán, su territorio es una planicie ligeramente ondulada con una suave inclinación que desciende de sur a norte, dividida en dos partes. Al sur sobresale la meseta de Zoh Laguna, que se eleva unos 300 m sobre el nivel del mar y desciende al este y al oeste por medio de bruscos escalones. Hacia el sur se une con la planicie del Petén, que es una zona de ondulaciones o bajas colinas, entre las que se encuentran grandes bajos o akanchés.

A pesar de ser el estado más grande de la península (57 924 km²), también es el menos poblado (754 730 habitantes (Conapo, 2005)). Campeche está dividido en once municipios: Calakmul, Escárcega, Hopelchén, Candelaria, Carmen, Campeche, Calkiní, Champotón, Hecelchakán, Palizada y Tenabo; los últimos siete son costeros.

Todos los ríos -excepto el Champotón- y lagunas que posee Campeche se concentran en la zona suroeste: Palizada, Chumpán, Candelaria, Mamantel, que desembocan en la laguna de Términos; además del río San Pedro, que es un brazo del Usumacinta y que desemboca en el Golfo de México. Laguna de Términos es un área inundable.

Así, a raíz del descubrimiento y explotación de los yacimientos de petróleo de Campeche, Ciudad del Carmen se convirtió en el centro administrativo de actividades de Petróleos Mexicanos en la región. La fuerte migración resultado de esta situación, provocó un crecimiento acelerado de la población y la superficie urbana: la tasa de expansión creció 0.08% a 1.7% entre 1970 y 1990 (Villalobos y Rivera, 2009).

Este proceso ha favorecido las disparidades entre las microregiones. Como señalan Villalobos y Rivera (2009), la industria petrolera por su magnitud, complejidad, dinamismo y encañamiento con el resto de la economía-, es capaz de generar, por un lado, efectos positivos multiplicadores muy significativos tanto a escala regional como nacional en el empleo, el avance tecnológico, la formación de capital humano y el desarrollo de otras actividades productivas, pero también por otro lado, acciones de tal dimensión e intensidad que afectan drásticamente el ambiente de zonas que, como las tropicales, son sistemas naturales sumamente frágiles. Al menos en el municipio del Carmen, el campo y la pesca disminuyen su importancia relativa, mientras que el sector urbano industrial crece con base en un nuevo circuito socioeconómico.

Campeche es uno de los estados del país con mayores índices de marginación; en el contexto nacional, ocupa el octavo lugar. De los once municipios del estado, cinco tienen grado de marginación alto. Como se desprende de la tabla 4, Campeche y Carmen son los municipios que concentran la mayoría de los servicios públicos y la actividad económica del estado. Por el contrario, municipios como Candelaria, Calakmul, Hopelchen, Palizada y Tenabo, tienen los promedios más bajos de escolaridad y de acceso a servicios básicos. Los municipios costeros se presentan en negritas.

Tabla 4. Campeche: grado de marginación por municipio, 2005.

Municipio	% Población analfabeta de 15 años o más	% Población sin primaria completa de 15 años o más	% Ocupantes en viviendas sin drenaje ni servicio sanitario	% Ocupantes en viviendas sin energía eléctrica	% Ocupantes en viviendas sin agua entubada	Grado de marginación y lugar estatal
Estado	10.20	26.96	9.85	4.85	11.15	
Calakmul	22.07	45.73	11.09	18.94	38.25	Alto (1)
Candelaria	17.90	44.05	13.32	25.15	18.24	Alto (2)
Hopelchén	15.86	33.93	37.63	10.14	8.73	Alto (3)
Palizada	12.21	37.16	4.78	7.75	36.39	Alto (4)
Tenabo	14.69	33.66	44.26	5.75	6.81	Alto (5)
Champotón	14.12	37.36	11.91	3.94	12.08	Medio (6)
Escárcega	14.68	37.40	7.87	5.55	4.51	Medio (7)
Calkiní	16.84	34.59	26.36	2.98	7.53	Medio (8)
Hecelchakán	14.67	30.69	25.18	7.41	8.47	Medio (9)
Carmen	6.70	21.95	3.32	2.89	20.35	Bajo (10)
Campeche	6.27	18.84	3.84	1.19	1.42	Muy bajo (11)

Fuente: Indicadores socioeconómicos (Conapo, 2005).

LA COSTA DE QUINTANA ROO

El estado de Quintana Roo, ubicado en el Mar Caribe, tiene un territorio de 50 843 km², y un extenso litoral de 865 km, el cual ha cobrado una importancia inusitada en las últimas décadas por su acelerado desarrollo turístico y por su relevancia como generador de divisas. El territorio quintanarroense presenta en conjunto un relieve casi plano, interrumpido por pequeñas colina y numerosas hondonadas con suave declive de norte a sur, con una altura media de 10 metros sobre el nivel del mar. El clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano, y presenta variaciones de temperaturas medias anuales entre los 24°C y 28°C, así como precipitaciones medias anuales entre los 700 y más de 1 500 mm.

A lo largo de buena parte del litoral del Estado, y del vecino país de Belice, se extiende la barrera de coral más grande del mundo. De igual modo, a lo largo del litoral, abundan los pastizales marinos, que favorecen la abundancia de fauna marina (Dachary *et al.*, 1992). La presencia de los manglares también resulta fundamental en la costa de Quintana Roo.

La variedad de especies vegetales es característica de las selvas del oriente de la península, se estima que en estos bosques existen de 100 a 120 especies por hectáreas. Las más abundantes son el chicozapote y el ramón, además de que se presentan condiciones óptimas para el desarrollo de la caoba, especie que tradicionalmente ha sido el eje de la economía forestal del estado.

Los municipios costeros de Quintana Roo presentan el mayor crecimiento demográfico a nivel nacional, lo que representa no solamente una presión sobre los ecosistemas costeros, sino que ha significado, desde la perspectiva social, un permanente rezago en la disponibilidad de servicios públicos, salud y educativos para esa población.

Dentro del contexto nacional, en 2005 el estado de Quintana Roo ocupó el lugar 19 en cuanto marginación se refiere, lo que significa una leve mejora con respecto al año 2000 cuando ocupó el 20° lugar, pasando de tener un grado de marginación medio a uno bajo. En algunos indicadores relacionados con los servicios básicos, el estado se encuentra en una mejor situación con respecto al promedio nacional. Así es en lo referente a ingreso, agua entubada, población sin primaria completa, analfabeta, entre otros, tal como se aprecia en la tabla 5.

CONSIDERACIONES FINALES

El fenómeno del cambio climático y sus repercusiones son temas de interés para todas las áreas geográficas y temáticas y exigen un análisis cuidadoso. La península de Yucatán constituye especialmente un área prioritaria a la luz de sus características sociogeográficas y las amenazas ante los posibles efectos del cambio climático. Requiere entonces de análisis desde las diversas perspectivas del problema.

Las comunidades costeras de la península de Yucatán presentan un grado de exposición que favorece su nivel de vulnerabilidad. La amenaza de los fenómenos meteorológicos, la presencia de zonas bajas y una población costera a 30 o menos kilómetros del litoral, en condiciones sociales poco favorables, son los elementos que propician un grado de vulnerabilidad de medio a alto (Salles *et al.*, 2006). De acuerdo a los datos presentados, existe una concentración

Tabla 5. Quintana Roo. Indicadores socioeconómicos y grado de marginación 2005, por municipio.

Entidad federativa / Municipio	% Población analfabeta de 15 años o más	% Población sin primaria completa de 15 años o más	% Ocupantes en viviendas sin drenaje ni servicio sanitario	% Ocupantes en viviendas sin energía eléctrica	% Ocupantes en viviendas sin agua entubada
Quintana Roo	6.58	19.42	5.19	2.59	4.66
Cozumel	4.02	16.76	0.44	1.00	6.15
Felipe Carrillo Puerto	18.98	34.25	38.30	6.52	4.26
Isla Mujeres	4.82	20.35	2.11	4.31	10.48
Othón P. Blanco	8.45	23.62	3.07	3.00	2.14
Benito Juárez	3.86	14.61	0.64	1.72	6.18
José María Morelos*	16.98	36.83	33.60	6.80	1.75
Lázaro Cárdenas	14.81	34.63	10.11	7.14	1.94
Solidaridad	5.85	18.71	3.59	1.93	2.91

Fuente: Indicadores marginación (Conapo, 2005).
* No es municipio costero

Tabla 5 (continuación). Quintana Roo. Indicadores socioeconómicos y grado de marginación 2005, por municipio.

Entidad federativa / Municipio	% Viviendas con algún nivel de hacinamiento	% Ocupantes en viviendas con piso de tierra	% Población en localidades con menos de 5 000 habitantes	% Población ocupada con ingreso de hasta 2 salarios mínimos	Grado de marginación
Quintana Roo	49.90	8.41	17.10	36.78	Bajo
Cozumel	51.36	1.84	2.45	31.28	Muy bajo
Felipe Carrillo Puerto	70.78	31.30	67.07	68.09	Alto
Isla Mujeres	52.83	4.26	16.28	39.37	Bajo
Othón P. Blanco	47.36	12.77	33.27	48.76	Bajo
Benito Juárez	45.02	3.39	3.57	26.01	Muy bajo
José María Morelos*	70.84	21.50	68.17	74.03	Alto
Lázaro Cárdenas	65.50	24.25	71.55	65.42	Alto
Solidaridad	57.57	5.89	10.66	30.48	Muy bajo

Fuente: Indicadores marginación (Conapo, 2005).

* No es municipio costero.

demográfica importante y un crecimiento de la población en la costa; sus condiciones en distintos niveles de marginación y en especial las condiciones de la vivienda, son elementos que incrementan su vulnerabilidad y por tanto su riesgo. A partir de esto, es necesario revisar si existen las condiciones institucionales y de comunicación para la adaptación de la población, siguiendo las pautas establecidas para ello en instancias nacionales y la estrategia y programa nacional.

La seguridad, la salud, e igualmente el desarrollo económico y social en la península de Yucatán requieren incorporar en la planeación y gestión los análisis relativos al cambio climático global (CCG) y sus efectos en el medio ambiente, especialmente en las zonas costeras (IPCC, 2007; UNEP-oxford University-WMO-UNWTO, 2008).

LITERATURA CITADA

- Capurro, L., 2003. Un gran ecosistema costero: la península de Yucatán. *Revista Avance y Perspectiva*, 22: 69-75.
- CEPAL-BID (ECLAC-IDB,) 2000. A matter of development: how to reduce vulnerability in the face to natural disasters. CEPAL-BID, México
- CONAPO, 2005. Índices de Marginación.
- Córdoba, J. 2009, Descentralización, territorio y ambiente en la Península de Yucatán: una mirada geográfica desde el enfoque de la centralidad. p. 57-78. En: J. Fraga, G. J. Villalobos, S. Doyon y A. García (eds.). Descentralización y manejo ambiental. Gobernanza costera en México, México, Plaza y Valdés. 365 p.
- Dachary, A., D. Navarro, y S. Maris, 1992. Quintana Roo: los retos del fin del siglo, México, Centro de Investigaciones de Quintana Roo.
- Doyon, S., A. Guindon, y A. Blais, 2009. La diversidad de estados y municipios en la península de Yucatán. p. 79-90. En: J. Fraga, G. J. Villalobos, S. Doyon y A. García (eds.). Descentralización y manejo ambiental. Gobernanza costera en México, México, Plaza y Valdés. 365 p.
- IPCC, 2007. Adaptation and Vulnerability – Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, University Press Cambridge, Cambridge and New York.
- Landa Magaña, N., 2008. Agua y clima: elementos para la adaptación al cambio climático, Semarnat.
- Martínez, J., A. Fernández-Bremaunt, y P. Osnaya (comp.), 2007. Cambio Climático: una visión desde México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología, México D.F., 523 p.
- León Diez, C., 2009. Adaptación al cambio climático. Segunda Reunión Ejecutiva para la evaluación de medidas a integrarse en el Plan de Acción Climática del Distrito Federal, diciembre de 2007. www.smq.df.gob.mx/celnet. Fecha de consulta, agosto de 2009.
- Ortiz Pérez, M. A. y G. de la Lanza Espino, 2006. Diferenciación del espacio costero de México: un inventario regional. Instituto de Geografía, México, UNAM. Serie Textos Universitarios No. 3
- OMT, 2007. Declaratoria de Davos a Bali: la contribución del turismo al reto del Cambio Climático. OMT.

- PIDM, 2009. Proyecto de Integración y Desarrollo de Mesoamérica. www.planpuebla-panama.org/. Mayo 26 de 2009.
- Rowley, R. J., J. C. Kostelnick, D. Braaten, X. Li, y J. Meisel, 2007. Risk of Rising Sea Level to Population and Land Area, *Eos Trans.*
- Salles Alfonso de Almeida, P., R. Silva, C. Sara, y G. Posadas, 2006. Atlas de Riesgo Oceanográfico. Quintana Roo. México, Conacyt, UNAM. UQRO.
- Semarnat, 2007a. Comisión Intersectorial de Cambio Climático (2007), Estrategia Nacional de Cambio Climático.
- Semarnat, 2007b. Comisión Intersecretarial de Cambio Climático: Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012.
- Stern, N., 2006. *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge University Press, Cambridge.
- UNEP-Oxford University-WMO-UNWTO, 2008. *Climate Change Adaptation and Mitigation in the Tourism Sector. Frameworks, Tools and Practices*. Madrid, Spain.
- UNEP-WMO-UNOMT, 2008. *Climate Change and tourism: responding to global challenges*. Madrid, Spain.
- UNWTO, 2003. *Climate Change and Tourism: Proceedings of the First International Conference on Climate Change and Tourism*, Djerba, Tunisia, 9–11 April 2003. <http://www.unwto.org/sustainable/climate/brochure.htm>.
- Villalobos, G. j., y E. Rivera Arriaga, 2009. La actividad petrolera en Campeche: situación, retos y oportunidades. p. 161-178. En: J. Fraga, G. J. Villalobos, S. Doyon y A. García (eds.). *Descentralización y manejo ambiental. Gobernanza costera en México*, México, Plaza y Valdés. 365 p.

Barba Meinecke, H., B. Díaz Fuentes, y P. Luna Erreguerena, 2010. El patrimonio arqueológico en costas y mares de México ante el cambio climático. p. 639-654. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche, CETYS-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO UN ENFOQUE COSTERO Y MARINO

Habitantes y patrimonio

El patrimonio arqueológico en costas y mares de México ante el cambio climático

Helena Barba Meinecke, Belynda Díaz Fuentes y Pilar Luna Erreguerena

RESUMEN

Hasta ahora, ha sido poco abordada la forma en que los efectos previsibles del cambio climático global impactarán sobre el patrimonio cultural, tanto tangible como intangible. En este trabajo se realiza un análisis sobre las zonas más vulnerables ante dichos efectos y se proponen acciones para empezar a generar conocimiento especializado sobre este tema desde la perspectiva del Instituto Nacional de Antropología e Historia.

INTRODUCCIÓN

Desde el último cuarto del siglo pasado, el cambio climático global (CCG) ha sido un tema debatido ampliamente en todos los foros relacionados con el medio ambiente. La preocupación de la clase científica ha generado una amplia gama de estudios al respecto, mismos que han servido como base para generar escenarios que van desde los más optimistas hasta los más catastróficos, todos concurriendo en cinco efectos principales:

- Incremento de la temperatura media global.
- Elevación de la temperatura en los océanos.
- Desaparición de glaciares.
- Aumento del nivel promedio del mar.
- Intensificación y mayor frecuencia de fenómenos climatológicos extremos.

La concurrencia de uno o más de los anteriores afectarán de forma negativa los servicios ambientales que proveen los ecosistemas, la disponibilidad de agua y en general a las poblaciones.

También es cierto que los expertos coinciden en que los próximos diez años serán cruciales para instrumentar acciones con miras a disminuir la emisión de gases de efecto invernadero, que permitirán postergar y atenuar las temibles consecuencias esperadas.

Frente a esta situación, México, como muchos otros países, ha comenzado a tomar medidas para enfrentar este fenómeno. De acuerdo con el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012, las acciones se encaminarán en dos sentidos: para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y para impulsar medidas de adaptación (Presidencia de la República, 2007).

Los efectos de este cambio global se dejarán sentir en todos los ámbitos sociales e implicarán modificaciones –de superficiales a radicales– en los estilos de vida de la humanidad. En este sentido, en la esfera de lo social existe una diversidad de aspectos que se verán directamente afectados, entre ellos, el patrimonio cultural.

Nuestro país cuenta con una amplia herencia de patrimonio cultural producto de una larga y profunda historia generada durante siglos. La preocupación por la preservación de este patrimonio en el contexto de un fenómeno que potencialmente desencadenará alteraciones serias en la forma de interacción entre los grupos sociales, hacia el interior y con el medio ambiente, pudiera parecer vana e intrascendente, sin embargo, cuando comprendemos el papel que juega éste dentro de la sociedad, entendemos su importancia y alcances.

EL PATRIMONIO CULTURAL

El patrimonio cultural puede ser definido como “... ese acervo de elementos culturales –tangibles unos, intangibles los otros– que una sociedad determinada considera suyos y de los que echa mano para enfrentar sus problemas... para formular e intentar realizar sus aspiraciones y sus proyectos; para imaginar, gozar y expresarse.” (Bonfil, 1993)

Según Lumbreras, el patrimonio cultural de cada pueblo está integrado por “*un cúmulo muy grande de objetos, que van desde los instrumentos directos de trabajo... hasta los recursos estrictamente mentales que les permiten explicar y reproducir su existencia a nivel de conciencia*” (Lumbreras, 1994). En esta definición quedan incluidas no solamente las manifestaciones de las culturas antiguas, sino también todas las expresiones, materiales e inmateriales, de los pueblos vivos. (García, 1993)

De acuerdo con este autor, el patrimonio sustenta la identidad de los pueblos y bajo esta premisa, advierte sobre los riesgos que implica su pérdida: “*genera el desconcierto social, político y económico*” (Lumbreras, 1994), poniéndolos en peligro de extinción. En este caso, los riesgos que se refieren son de origen antropogénico, ejemplificados con la pérdida de lenguas originarias, costumbres, mitos, leyendas, tradiciones, que se alteran por la intromisión de agentes externos como los medios de comunicación masiva, los grupos religiosos y las culturas extranjeras.

Los efectos del cambio climático afectarán (lentamente y a largo plazo) las estructuras sociales, muchas de ellas consideradas dentro del patrimonio intangible: formas de organización, de subsistencia, de percepción sobre el entorno y apropiación de éste. Es un proceso en el que no podremos intervenir y que será necesario para asegurar la convivencia grupal, además de que estas transformaciones están implícitas en la dinámica social.

Por otro lado, el patrimonio cultural tangible es un recurso que al igual que los naturales, recae en la categoría de “no renovable”, susceptible a sufrir daños, e incluso desaparecer por los efectos negativos del CCG.

En nuestro país, la preservación de este patrimonio cultural es competencia del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH). Desde 1939, año de su creación, éste ha cumplido con los objetivos de investigar, proteger, conservar, restaurar y difundir el patrimonio cultural, arqueológico, histórico, artístico y paleontológico de la nación (DOF, 1998).



Figura 1. Indígena en San Cristóbal de las Casas, Chiapas. © Helena Barba.



Figura 2. Foto de uno de los 119 cráneos sumergidos en el Cenote Calaveras, Quintana Roo © Archivo SAS/ INAH. Jerónimo Avilés.

Las formas en las que se presentan estos bienes, muebles e inmuebles, son tan diversas como la imaginación del hombre: pinturas, esculturas, objetos de uso cotidiano, herramientas, documentos, restos fósiles de fauna pleistocénica, huesos humanos de los primeros pobladores del continente, evidencias materiales de culturas prehispánicas (desde fragmentos de cerámica hasta enormes pirámides), vestigios de medios de transporte acuático, instrumentos de navegación y armas, por mencionar sólo algunos.

Al parejo de esta amplia gama de materiales se encuentra la dimensión del espacio donde este patrimonio se alberga: museos, bodegas, instituciones de investigación, bosques, desiertos, selvas e incluso sumergido en lagos, ríos, cenotes, cuevas inundadas y océanos. Un gran porcentaje de los kilómetros que conforman la geografía de nuestro país está cubierto por una u otra manifestación de nuestra herencia cultural.

Dada la magnitud de nuestro objeto de estudio, apenas esbozado en las líneas precedentes, en este trabajo realizaremos un primer acercamiento a la identificación de los sitios arqueológicos que, consideramos, podrían sufrir de manera más directa los impactos adversos previsibles del cambio climático global. Dividiremos el análisis en dos secciones correspondientes a terrestres y acuáticos, ambos ámbitos de competencia del INAH.

Finalmente haremos una revisión de las acciones que el Instituto tiene en marcha en materia de prevención de desastres y algunas propuestas que, desde el punto de vista de las autoras, deben empezar a ejecutarse para estar preparados para dichos impactos.

SITIOS ARQUEOLÓGICOS COSTEROS

En la actualidad, los sitios arqueológicos que se tienen ubicados a nivel nacional suman más de 200 mil. Éstos van desde fogatas y concentraciones de materiales en campamentos de cazadores/recolectores, hasta las grandes zonas como Teotihuacán y Chichén Itzá. De este universo, se tienen abiertos al público casi 200, además de cerca de un centenar de museos.

Asentados a lo largo de la franja litoral de 14 de los 17 estados¹ que colindan con los principales mares que rodean nuestra nación (Océano Pacífico, Golfo de México, Mar Caribe y Mar de Cortés), se han ubicado por lo menos 34 sitios y 16 zonas arqueológicas² (Z.A.). Cabe mencionar que este conteo se realizó sobre asentamientos que han sido, si no estudiados a fondo, por lo menos caracterizados, aunque de antemano se sabe que el número real es mucho mayor (tabla 1).

Además de los anteriores, se identifican por lo menos siete sitios sobre islas, algunas de las cuales fueron modificadas en tiempos prehispánicos o incluso construidas de manera artifi-

¹ No se localizaron referencias para sitios ubicados en la costa de Baja California, Jalisco y Michoacán.

² Zonas arqueológicas se les llama a los sitios que han sido investigados y fueron abiertos al público, por lo que cuentan con un mínimo de infraestructura de servicios. En contraparte, los sitios pueden haber o no sido estudiados, están contabilizados en el Atlas Arqueológico Nacional pero no están abiertos al público; aunque algunos de ellos son de facto visitados, no cuentan con facilidades para el turismo.

Tabla 1. Relación de sitios y zonas arqueológicas ubicadas en la costa.

Nombre del Sitio	Ubicación	Nombre del Sitio	Ubicación
El Batequi	Baja California Sur	Z.A. Xelha	Quintana Roo
San Joaquín	Baja California Sur	Z.A. Tulum	Quintana Roo
Champutón	Campeche	Z.A. Muyil	Quintana Roo
Tixchel	Campeche	Guasave	Sinaloa
Xicalanco	Campeche	Chametla	Sinaloa
Playa del tesoro	Colima	El Calón	Sinaloa
Morett	Colima	Guaymas	Sonora
Región del Soconusco	Chiapas	Z.A. Comalcalco	Tabasco
Zacatula	Guerrero	Región del Río Bari	Tabasco
Coyuca de Benítez	Guerrero	Z.A. La Venta	Tabasco
Palma Sola	Guerrero	Z.A. Las Flores	Tamaulipas
Puerto Marqués	Guerrero	Tancol	Tamaulipas
Amapa	Nayarit	Pavón	Tamaulipas
San Mateo	Oaxaca	Chachalacas	Veracruz
Santa Ma. del Mar	Oaxaca	El Trapiche	Veracruz
Huatulco	Oaxaca	Z.A. Tres Zapotes	Veracruz
Tututepec	Oaxaca	Los Tuxtlas	Veracruz
Río Viejo	Oaxaca	Z.A. Quiahuitlan	Veracruz
Z.A. Guiengola	Oaxaca	La Mojarra	Veracruz
Z.A. El Meco	Quintana Roo	Tabuco	Veracruz
Ecab	Quintana Roo	Z.A. Cempoala	Veracruz
Z.A. El Rey	Quintana Roo	Emal	Yucatán
Z.A. Xcaret	Quintana Roo	El Cuyo	Yucatán
Akumal	Quintana Roo	Z.A. Xcambó	Yucatán
Z.A. Oxtancah	Quintana Roo	Z.A. Dzibilchaltún	Yucatán



Figura 3. Pirámide del Adivino, Uxmal, Yucatán © Helena Barba.

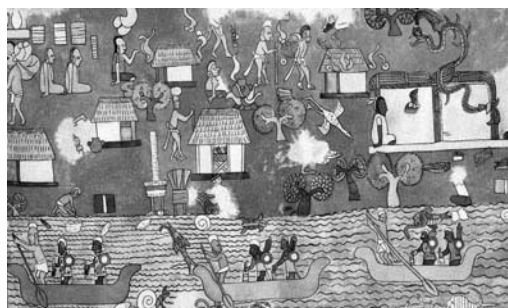


Figura 4. Mural del Templo de los Guerreros, Chichén Itzá.

cial. Esta última particularidad ha ocasionado que por lo menos en la Jaina (Campeche) no se permita el acceso al público en general, puesto que no se ha determinado la capacidad de carga de la isla.

Los sitios insulares son de gran relevancia histórica. En el caso de la península de Yucatán, está ampliamente documentada su función como infraestructura de apoyo para la navegación prehispánica y su papel como enclaves dentro de las amplias redes de comercio de cabotaje que existieron durante el período Clásico (300 al 900 d.C.) (tabla 2).

Los denominados concheros son formaciones características de culturas antiguas con gran aprovechamiento de los moluscos que les ofrecían lagunas y mares circundantes. Las valvas que se desechaban, en muchos casos eran reutilizadas como materiales de construcción, creando montículos con diferentes funciones, muy recurrentes en áreas como laguna de Términos en Campeche y la costa de Sinaloa.

Tanto estos últimos como los sitios asentados sobre islas deben ser considerados como particularmente frágiles ante cualquier cambio en las condiciones medio ambientales que los rodean.

Tabla 2. Relación de sitios insulares.

Sitio insular	Ubicación
Jaina	Costa de Campeche
Isla Tiburón	Costa de Sonora
Z.A. Isla Mujeres	Costa de Quintana Roo
Z.A. San Gervasio	Costa de Quintana Roo
Isla de Sacrificios	Costa de Veracruz
Isla Cerritos	Costa de Yucatán
Isla Piedras	Costa de Yucatán



Figura 5. Sitio Zapotal, Ciudad del Carmen, Campeche © Archivo SAS/INAH. Jerónimo Avilés.



Figura 6. Daños en estructuras de la Z.A. Becán, Campeche. © Archivo Centro INAH Campeche. Diana Arano.

Riesgos de los sitios costeros e insulares frente a los efectos del cambio climático

Existe una serie de efectos que debemos esperar sobre sitios patrimoniales costeros y marinos, los cuales deben considerarse para tomar medidas preventivas:

Afectación a los sitios insulares y concheros. El aumento del nivel del mar y la erosión costera son amenazas severas que ponen en riesgo la conservación de las islas y las estructuras prehispánicas que pueden estar erigidas sobre ellas, así como sobre los endebles concheros.

Afectación a sitios costeros. Vistas desde dos aspectos: sobre las edificaciones y sobre sus componentes decorativos.

- Daños materiales ocasionados por la intensificación y multiplicación de los huracanes sobre sitios ubicados en zonas costeras y sobre aquellos que están en tierra firme pero sobre las trayectorias de paso de estos meteoros.
- Afectación a pinturas murales, frescos, estucos y toda la gama de elementos de ornato por los incrementos de temperatura ambiental.

Afectaciones a bienes culturales. La mayor probabilidad de inundaciones pone en jaque la conservación de colecciones arqueológicas, históricas, documentales, artísticas y etnográficas, entre otras, que se resguardan en edificios históricos, museos, bodegas, etcétera.

Si bien el análisis de las características generales de los sitios nos permite hacer algunas inferencias, su vulnerabilidad ante el efecto de los impactos negativos previsible del cambio climático debe establecerse tomando en cuenta una serie de variables ponderables que nos permitan acercarnos a una jerarquización estandarizada y real de los que presentan mayor riesgo. Entre ellas podemos mencionar:

- Características arquitectónicas (presencia o no de edificaciones permanentes, materiales de construcción, estado de conservación, resistencia histórica a fenómenos meteorológicos, etc.).
- Distancia de la costa.
- Existencia de caminos permanentes para comenzar trabajos de restauración.
- Altura sobre el nivel del mar.

Teniendo elementos de juicio normalizados para la mayor parte de los espacios de interés, podremos proponer acciones preventivas o, si aplican, de adaptación ante los cambios esperados.

Al margen de lo anterior, es tarea de los antropólogos y de todas aquellas especialidades



Figura 7. Arquitectura vernácula del área maya en San Felipe, Yucatán. © Archivo SAS/INAH. Flor de María Curiel.

que estudian las sociedades, considerar también las afectaciones posibles sobre los grupos socioculturales que habitan en las costas, como: cambios en las formas de subsistencia, modificación y pérdida de la arquitectura vernácula, cambios en las costumbres, etcétera.

SITIOS ARQUEOLÓGICOS SUBACUÁTICOS

Nuestro país también es rico en cuanto a las huellas que el hombre ha dejado a través de la historia. Bajo nuestros mares, ríos, lagunas, manantiales, cenotes y aquellas cuevas ahora inundadas pero que hace miles de años albergaron a grupos humanos, se esconden restos materiales que provienen desde los inicios del poblamiento de América y los tiempos prehispánicos, pasando por la conquista, la independencia, la época republicana y la industrial, hasta el presente.

Todos estos vestigios han podido estudiarse gracias a la arqueología subacuática, ciencia de reciente desarrollo que en México ha seguido un paso estable y sólido a través de proyectos que han contado con el apoyo de instituciones y especialistas nacionales y extranjeros, llevando a cabo investigaciones en aguas continentales, costeras y profundas, en estas últimas con sistemas de prospección remota.

La preocupación por la preservación de este patrimonio ha llevado a la creación de diversos consejos internacionales enfocados en este tema. En 1991, el Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS) creó el Comité Internacional para la Protección del Patrimonio Cultural Subacuático (ICUCH), del cual México es miembro desde 1992. Un paso importante en esta lucha fue la aprobación, en 1996, de la Carta Internacional del ICOMOS sobre la Protección y la Gestión del Patrimonio Cultural Subacuático.

Esta Carta resultó sumamente inspiradora para los expertos gubernamentales de varios países –entre ellos México– que se reunieron entre 1998 y 2001 en la sede de la Organización de Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) en París para elaborar el texto de lo que sería la Convención sobre la Protección del Patrimonio Cultural Subacuático, la cual fue aprobada en noviembre de 2001 y entró en vigor en enero de 2009. México fue el octavo país en ratificarla, en julio de 2006.

Dicha Convención define el patrimonio cultural subacuático como “... *todos los rastros de existencia humana que tengan un carácter cultural, histórico o arqueológico, que hayan estado bajo el agua, parcial o totalmente, de forma periódica o continua, por lo menos durante 100 años, tales como: i) los sitios, estructuras, edificios, objetos y restos humanos, junto con su contexto arqueológico y natural; ii) los buques, aeronaves, otros medios de transporte o cualquier parte de ellos, su cargamento u otro contenido, junto con su contexto arqueológico y natural; y iii) los objetos de carácter prehistórico...*” (UNESCO, 2001)

En México este patrimonio está representado por sitios tan variados como: la laguna de la Media Luna en San Luis Potosí (600-900 a.D.); la cueva de Naharon (14,500 a.P.) y el cenote Calaveras (600-900 d.C.); en Quintana Roo; las lagunas del Sol y de la Luna en el cráter del Nevado de Toluca (Posclásico 900-1521), y los naufragios conocidos como: sitio Pilar (siglo XVI) en la Sonda de Campeche; 40 Cañones (siglo XVIII) en Banco Chinchorro, Quintana Roo; El



Figura 8. Ancla del Pecio Boris, Banco Chinchorro, Quintana Roo. © Archivo SAS/INAH. Jerónimo Avilés.



Figura 9. Ánforas registradas en 1979 en un naufragio de la época Helénica en la costa suroeste de Turquía © Archivo SAS/INAH. Pilar Luna E.

Pesquero (siglo XVIII) en Champotón, Campeche; el buque de guerra U.S. *Somers* (siglo XIX) en Veracruz, y el vapor Lolá (siglo XIX) en las aguas costeras de Campeche, por mencionar algunos de los más representativos.

Cabe destacar que, además de su importancia histórica, estos lugares desempeñan un valioso rol ambiental. A través de los años, distintos organismos se adhieren a las superficies metálicas y de madera, dando pie a la formación de arrecifes artificiales. Estos ecosistemas son relevantes para la reproducción de diversas especies marinas y, en muchos casos, también impactan de forma positiva a la pesca, pues algunas de dichas especies son aprovechadas comercialmente. Estos sitios son el mejor ejemplo de la simbiosis que llega a existir entre el patrimonio natural y el cultural.

Dentro de las 200 millas náuticas que corresponden a las aguas de jurisdicción nacional, las zonas que han sido estudiadas con mayor intensidad han sido el litoral y sonda del estado de Campeche, y Banco Chinchorro, frente a las costas de Mahahual, en Quintana Roo.

En la Sonda de Campeche, durante las dos primeras campañas de mar del Proyecto Inventario y Diagnóstico de Recursos Culturales Sumergidos en el Golfo de México, realizadas en 1997 y 1998 por la Subdirección de Arqueología Subacuática (SAS) del INAH, se identificaron 29 sitios. Derivado del análisis de sus materiales diagnósticos se concluyó que dos corresponden al siglo XVI, dos más se ubican entre el XVI y el siguiente siglo, uno está correlacionado al siglo XVII, dos están señalados entre los siglos XVII y XVIII, dos más se fecharon para el XIX, siete entre éste y principios del XX y trece para este último.



Figura 10. Especies asociadas al sitio Magnífico, Holbox, Quintana Roo © Archivo SAS/INAH. Flor de María Curiel

Por su parte, la bahía de Campeche ha sido explorada de manera sistemática a partir de 2003, desde la línea de costa hasta las 40 millas náuticas, partiendo del municipio de Campeche y continuando hacia los de Champotón y Ciudad del Carmen.

En este espacio acuático se han localizado y registrado, a través de dibujo, fotografía y video, 135 sitios arqueológicos sumergidos cuyos restos materiales corresponden principalmente al siglo XX, aunque entre éstos se encuentran también tres correlacionados entre los siglos XIX y XX, seis del XIX, seis entre los siglos XVIII y XIX, y uno fechado para mediados del XVIII. A los anteriores se suman seis asentamientos costeros de la época prehispánica.

La costa de Quintana Roo ha sido también objeto de estudios de la arqueología subacuática desde finales de la década de 1980. En estas latitudes se localizó el pecio Bahía Mujeres correspondiente al siglo XVI (INAH, 1984), así como los sitios Cocos y Hanan en la porción oriente de Cozumel, fechados entre los siglos XVII y XIX. A estos trabajos se suman los efectuados en el atolón Banco Chinchorro desde 2006, en donde se han registrado 67 lugares que contienen restos materiales, ya sea naufragios completos o elementos aislados, correspondientes a los siglos XVI-XX. Asimismo, la Isla Holbox, en la punta noreste de la península, ha sido escenario de dos campañas que han derivado en la localización de once sitios que van de finales del siglo XVIII a inicios del XX. Los recientes descubrimientos en la zona de la ría Lagartos resaltan en el mapa del estado de Yucatán, área en donde se ubicaron dos buques datados entre finales del siglo XIX y principios del XX.

Por otro lado, como resultado de los trabajos realizados en el puerto de Veracruz, se han localizado por lo menos siete contextos sumergidos; posiblemente el más representativo sea el U.S. Somers, barco hundido en la llamada Guerra de 1847 cuya localización y registro *in situ* motivó un proyecto de cooperación binacional.

De la misma forma, las aguas de Baja California son escenario de una investigación conducida por la Subdirección de Arqueología Subacuática del INAH, la Universidad de Santa Clara



Figura 11. Cañón de bronce *in situ*, pieza de artillería más antigua del Hemisferio Occidental, Arrecife Cayo Nuevo, Sonda de Campeche © Archivo SAS/INAH.

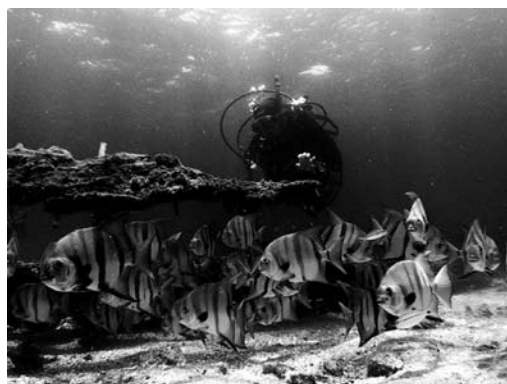


Figura 12. Pecio La Carmelita, costa de Hecelchakán, Campeche. © Archivo SAS/INAH. Eugenio Aceves.

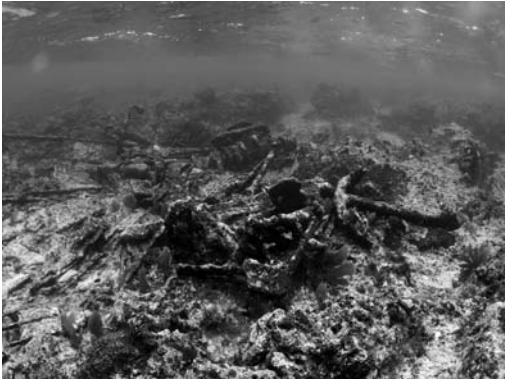


Figura 13. Foto sitio Vapor de las anclas, Banco Chinchorro, Quintana Roo © Archivo SAS/INAH. Jerónimo Avilés.

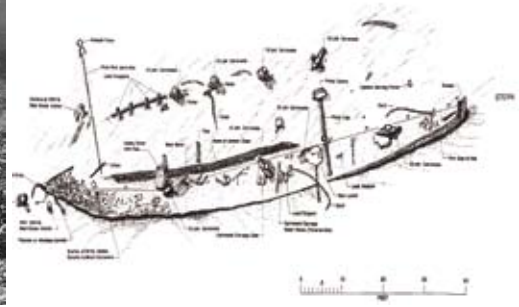


Figura 14. Imagen del mapa elaborado del US Somers. © Archivo SAS/INAH.

en California y el Museo Marítimo de San Diego (EUA), los cuales coordinan esfuerzos para localizar los restos de uno de los galeones de Manila perdido en esas aguas.

Hoy en día podemos hablar de por lo menos 253 sitios arqueológicos sumergidos registrados e integrados a sus correspondientes inventarios, y que incluyen navíos naufragados, hundimientos intencionales, carga alijada como cañones, anclas, lastre, algunas máquinas, tanques, dragas y plumas, entre otros elementos.

El resto de los litorales de los estados costeros del país aún no ha sido investigados con la intensidad que los de la península de Yucatán. Seguramente estas áreas también son ricas en recursos culturales, y su estudio futuro enriquecerá el inventario del patrimonio cultural subacuático que ya hemos iniciado.

Cabe mencionar que dentro de sus investigaciones, la arqueología subacuática mexicana ha tenido la oportunidad de encontrar evidencias del gran cambio climático acaecido a finales del Pleistoceno. En cuevas sumergidas del estado de Quintana Roo se han podido estudiar los restos de –hasta el momento– cuatro esqueletos humanos fechados en más de 10 000 años, por lo que corresponden a los primeros grupos que poblaron América. Su ubicación, en algunos casos a centenares de metros de la entrada de la cueva, sugiere que estos individuos entraron caminando, cuando las cavernas estaban secas.

De acuerdo con los investigadores, hace 13 000 años a.P. el nivel del mar en el Caribe debió encontrarse alrededor de 65 metros por debajo del nivel actual. Esto permitió que



Figura 15. Restos óseos de la mujer de Naharon *in situ*. © Archivo SAS/INAH. Jerónimo Avilés.

dichos espacios fueran aprovechados por grupos humanos de los cuales poco se conoce. El desarrollo del espeleobuceo ha permitido acceder a estas cámaras de tiempo y comenzar a develar los secretos de los primeros pobladores de nuestro país. La osamenta más antigua recuperada hasta ahora –conocida como la Mujer de Naharon– fue datada arrojando una antigüedad de $11\,670 \pm 60$ años de C14 a.P., lo que corresponde a alrededor de 14 500 años calendáricos a.P.

Estas cuevas se han constituido como una muestra de los drásticos cambios que puede experimentar nuestro planeta.

Riesgos de los sitios sumergidos frente a los efectos del cambio climático

Hasta hace poco tiempo, las amenazas identificadas como riesgosas para la preservación se centraban en las de origen antropogénico, principalmente el saqueo, llevado a cabo por las comunidades ribereñas, turistas, buzos profesionales y deportivos, espeleobuzos y grupos de cazadores de tesoros. El panorama actual nos obliga a reflexionar sobre los efectos que el CCG pueda tener sobre este patrimonio. Por el ambiente en el que se ubican, la consecuencia más temida es la incidencia de huracanes cada vez más intensos y recurrentes.

Quizás la primera vez que se evaluaron las repercusiones del paso de un fenómeno meteorológico sobre el patrimonio arqueológico sumergido fue en 2008 en Banco Chinchorro. Tras el paso del ojo del huracán Dean por el área, investigadores de la Subdirección de Arqueología Subacuática del INAH, en coordinación con la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp), valoraron los daños que el meteoro había ocasionado sobre los sitios registrados en temporadas de trabajo previas.

En un análisis comparativo de fotografías tomadas desde 2006³, se pudo constatar la fuerza y las afectaciones que un evento de esta naturaleza causa a las estructuras.



Figura 16. Sitio Hubba en 2007 a la derecha y 2008 a la izquierda: colapso de uno de los costados.

© Archivo SAS/INAH. Izq. Eugenio Aceves; der. Jerónimo Avilés.

³ Efectuado por la Arqlga. Laura Carrillo Márquez para el Informe de Actividades 2008 del Proyecto Programas Especiales de la Subdirección de Arqueología Subacuática.

A pesar de que en los dos casos que se muestran, los pecios son modernos y de metal, se aprecian claramente las alteraciones que sufren por la intensidad del viento y el oleaje que acompaña un huracán, los cuales se suman a los procesos de deterioro de los restos sumergidos en un ambiente tan agresivo como es el marino tropical.

ACCIONES DE PREVENCIÓN

Retomando lo anteriormente expuesto, es el INAH quien tiene la encomienda de conservar, y en su caso restaurar los bienes que conforman el patrimonio cultural de la nación. Si bien no existe un documento que contemple de manera expresa los efectos adversos del CCG, dentro de los planes de trabajo del Instituto se han estructurado acciones en materia de prevención de catástrofes.

En el pasado, la concurrencia de desastres naturales con daños sobre el patrimonio pusieron en alerta a las autoridades, las cuales desde hace varios años implementaron estrategias para su atención. La más destacada fue la contratación de seguros que protegen a los bienes culturales de la nación y que permiten brindar la atención adecuada para su eventual rescate o restauración.

También se cuenta con el Programa de Prevención de Desastres en Materia de Patrimonio Cultural, creado con el propósito de generar condiciones preventivas y de protección que permitan a las comunidades y al personal del INAH salvaguardar la integridad del patrimonio cultural de que son depositarios (INAH, 2003).

Entre sus objetivos más destacados se cuenta la intención de elaborar un Atlas de Riesgo, instrumento necesario para la planificación de cualquier actividad preventiva.

Dado que las acciones de prevención en los casos de la incidencia inminente de un fenómeno natural son limitadas, hasta ahora la actividad del INAH se ha enfocado en la respuesta ante los desastres. Para ello se cuenta con un procedimiento administrativo detallado de los pasos a seguir una vez que termina la contingencia y llega el momento de efectuar los diagnósticos y posterior restauración de los bienes afectados.



Figura 17. Sitio Tropic en 2007 a la derecha y las alteraciones a la izquierda: desarticulación de winche y maquinaria. © Archivo SAS/INAH. Der. Eugenio Aceves; izq. Jerónimo Avilés.

El CCG y sus efectos constituyen un tema que aún no es incluido en los programas preventivos del Instituto. Si bien muchos de los fenómenos derivados ya han sido enfrentados, existen otros, como el cambio en el nivel del mar y el aumento en la temperatura que, por ser procesos lentos, no son considerados como desastres, aunque afectarán los bienes patrimoniales.

En este sentido, valdría la pena retomar lo asentado en el Plan Nacional de Desarrollo 2007 – 2012 en su exhortación al desarrollo de capacidades preventivas y de respuesta ante dichos impactos adversos. Entre ellas se incluyen la generación de información y conocimiento sobre la vulnerabilidad de distintas regiones y sectores del país, así como de los impactos potenciales.

De igual forma, se señala que de no iniciarse un proceso de adaptación, la vulnerabilidad ante el cambio climático puede ir en aumento, por lo que resulta prioritario crear una cultura preventiva para los proyectos económicos y de desarrollo.

Menciona también que una de las tareas fundamentales en el desarrollo de capacidades de adaptación ante el cambio climático es la generación de conocimiento científico estratégico para la toma de decisiones. Por ello, es de suma importancia generar información científica junto con los estados y municipios vulnerables, enfocada al diseño de mecanismos de monitoreo de la vulnerabilidad de los diversos sectores y regiones ante el fenómeno, así como desarrollar estudios sobre la definición de umbrales de sensibilidad de sistemas socioambientales y la identificación de oportunidades que los cambios esperados pueden ofrecer.

CONCLUSIONES

El análisis sobre las amenazas que representa el cambio climático global nos mueve a reflexionar sobre los grandes retos que enfrentarán los investigadores para desarrollar estrategias de protección ante los efectos negativos que se espera impacten sobre sitios y bienes considerados patrimoniales, en particular aquellos que se ubican en la franja costera de nuestro país.

Es necesario empezar a impulsar investigaciones para evaluar los sitios terrestres y acuáticos que tienen mayor riesgo por concurrencia de trayectoria de huracanes, así como los que podrían quedar parcial o totalmente sumergidos.

Es posible que los resultados de estos estudios arrojen zonas donde el riesgo de perder evidencias culturales sea inminente, ante lo cual el INAH tendrá que implementar mecanismos para recuperar la mayor cantidad de información sobre ellos, a la usanza de los proyectos de salvamento.

Por otra parte, los proyectos de restauración tendrán que contemplar cada vez más recursos para contrarrestar los daños que los fenómenos meteorológicos ocasionen sobre las estructuras en tierra. Se requerirá también prever formas de financiamiento para la reparación de los bienes afectados que complementen lo que aporten los seguros y el Fondo Nacional de Desastres.

En suma, el cambio climático global acarreará consecuencias en muchos ámbitos de la vida que aún no se han comenzado a dimensionar. Es necesario que, además de las acciones que los gobiernos emprendan como preparación para estos efectos, las instituciones tomen conciencia

de cada una de las tareas que les competen. En el caso del patrimonio cultural, el INAH necesita trabajar de la mano con científicos de diversas especialidades y con la propia sociedad para asumir como una tarea conjunta la protección del legado cultural de los mexicanos.

LITERATURA CITADA

- Bonfil Batalla, G., 1993. Nuestro patrimonio cultural: un laberinto de significados. En: E. Florescano (comp.). El patrimonio cultural de México. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Fondo de Cultura Económica, México.
- Diario Oficial de la Federación, 1998. Artículo 2, Ley Orgánica del Instituto Nacional de Antropología e Historia, 3 de febrero de 1939. Última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de enero de 1998.
- García Canclini, N., 1993. Los usos sociales del patrimonio cultural. En: E. Florescano (comp.). El Patrimonio Cultural de México. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Fondo de Cultura Económica, México.
- INAH, 1984. Expediente: 1984. A/1/PRM(QROO) 01.23/20. Archivo Técnico de la Subdirección de Arqueología Subacuática, INAH. México.
- INAH, 2003. Programa de Prevención de Desastres en Materia de Patrimonio Cultural. Consultado en línea en: <https://paginah.inah.gob.mx/modules.php?name=Cenvirdoc&file=articleCenvirdoc&sid=735>
- Lumbreras S. L., 1994. El patrimonio cultural como concepto económico. En: J. Villafranca y R. Witter B. (coords.) Memoria del Simposio Patrimonio y Política Cultural para el siglo XXI. Colección Científica del INAH n. 296, Conaculta – INAH, México.
- Presidencia de la República, 2007. Plan Nacional de Desarrollo 2007 – 2012. Presidencia de la República. Consultado en línea en: <http://pnd.calderon.presidencia.gob.mx/sustentabilidad-ambiental/cambio-climatico.html>
- UNESCO, 2001. Convención sobre la Protección del Patrimonio Cultural Subacuático, Organización de Naciones Unidas para la Educación, la Cultura y la Ciencia, Francia.

Figueroa Beltrán C., 2010. Las adaptaciones culturales en la prehistoria del noroeste de Baja California: inferencias arqueológicas ante el cambio climático. p. 655-668. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche, CETYS-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO UN ENFOQUE COSTERO Y MARINO

Habitantes y patrimonio

Las adaptaciones culturales en la prehistoria del noroeste de Baja California: inferencias arqueológicas ante el cambio climático

Carlos Figueroa Beltrán

RESUMEN

Los sitios arqueológicos de la costa noroeste de Baja California se caracterizan por su abundancia y escasa monumentalidad, situación que los hace poco atractivos para la investigación arqueológica y altamente vulnerables ante los desarrollos de infraestructura portuaria o turística y ante los devastadores efectos colaterales del cambio climático. Los concheros no son manifestaciones monumentales pero sin embargo poseen información relevante de la relación de las comunidades prehistóricas con su medio ambiente y de cómo se han dado los cambios medioambientales a partir de la última glaciación. La escasa monumentalidad observada en la cultura material de los grupos cazadores-recolectores-pescadores es muy simple, pero esa sencillez nos habla de la complejidad de los procesos intelectuales que llevaron a esos grupos a tener un profundo conocimiento de su medio ambiente muy acorde con la sencillez tecnológica mostrada en los instrumentos de cacería, pesca y recolección. Las prácticas culturales mostradas por los grupos prehistóricos responden a las estrategias adaptativas a los cambios ambientales que se gestaron desde finales del Pleistoceno y que dieron origen a la conformación del paisaje que hoy vemos. El hábitat del Holoceno Temprano sufrió transformaciones que impactaron no sólo el tipo de vegetación y las especies animales existentes para ese entonces, sino que afectaron directamente el modo de vida indígena.

INTRODUCCIÓN

La investigación arqueológica en el corredor Eréndira-San Quintín (Baja California), ha permitido conocer la manera en que las comunidades prehistóricas se han relacionado con la zona costera desde hace milenios. También ha permitido detectar un cambio en las prácticas alimenticias como resultado de las estrategias de adaptación en respuesta a los cambios ambientales del Holoceno. Plantas, frutos y semillas de la costa llegarían a ocupar un lugar central en las prácticas alimenticias y en la elaboración de instrumental utilizado en este proceso hasta ya bien entrada la colonización europea. Lo confirma la existencia de instrumentos de molienda y despulpadores de agave que marcan el fin de dos prácticas intensivas de apropiación alimenticia previa: la de recolección de moluscos en la costa y de la cacería de especies mayores en las zonas lacustres del interior peninsular. Los sitios arqueológicos comunmente conocidos como concheros son algo más que una simple acumulación de conchas; son la evidencia de los procesos adaptativos de los grupos humanos que durante milenios han sobrevivido en los desiertos costeros del noroeste de Baja California, por lo que es importante reconocerlos como parte de nuestro legado patrimonial que debe ser estudiado, conservado y usado como insumo en los programas de desarrollo económico y educativos en beneficio de las comunidades rurales de Baja California.

EL CAMBIO CLIMÁTICO Y SU EFECTO EN EL MEDIO AMBIENTE

EL FINAL DEL PLEISTOCENO

El final de la última glaciación marca el inicio de una nueva configuración de la línea de costa en el continente americano. El impacto provocado por el aumento en la temperatura y el subsecuente deshielo de los casquetes polares da lugar a un incremento en el nivel del mar que deja sumergidos posibles restos de migraciones humanas pleistocénicas que hubieran tomado la ruta costera desde Asia propuesta por Fladmark (1978). Si estos grupos hubieran encontrado refugio en las cavidades rocosas de la zonas costeras del Pacífico norteamericano hace 30 000 años, los contextos arqueológicos estarían sumergidos en el mar (figura 1). Sin embargo, la península de Baja California experimentó levantamientos tectónicos que mantuvieron la línea de costa casi en su totalidad tal como actualmente la vemos (Br-



Figura 1. Mortero sumergido.

yan, 1999). Esta condición permite suponer que la península es el lugar ideal para los estudios arqueológicos y paleoambientales enfocados al proceso de cambio climático y al poblamiento del continente americano. Lo confirman los proyectos arqueológicos llevados a cabo en Laguna Chapala, Eréndira, Isla de Cedros e Isla del Espíritu Santo, donde se han encontrado una gran variedad de evidencias arqueológicas y los fechamientos más antiguos de la Península.

LAS ADAPTACIONES AMBIENTALES EN EL HOLOCENO TEMPRANO (11 000-7 000 A.P.)

Por más del 99% de su transcurrir histórico, los seres humanos han sido cazadores-recolectores, por lo que las prácticas de caza y recolección se podrían considerar como el modo de vida básico de la especie humana (Yesner, 1980). Esto resalta la importancia de comprender las adaptaciones ambientales de las sociedades de cazadores-recolectores-pescadores ante cualquier intento de análisis sobre el proceso de evolución cultural.

En el Holoceno temprano, las prácticas alimenticias de los grupos costeros del noroeste del Pacífico se enfocaban primordialmente a la recolección de moluscos y en menor grado a la pesca y a la cacería de mamíferos marinos como la nutria y el lobo (Gruhn y Bryan, 2004). Para ello, utilizaban artefactos de piedra poco elaborados como lascas y esquirlas líticas para desprender y abrir los bivalvos del intermareal rocoso, proceso donde algunas conchas pudieron haber sido utilizadas como herramientas. A pesar de que se han encontrado en contexto arqueológico algunos elementos de hueso que componen el anzuelo de pesca, no parece que la pesca como práctica intensiva haya cubierto de manera importante las necesidades alimenticias de los grupos indígenas antes del 5 000 a.p. cuando el nivel de mar sube algunos metros de su nivel actual permitiendo el desarrollo de sistemas estuarinos en las desembocaduras de los ríos como en La Bocana, al norte de Eréndira (Davis, 1999) en la costa noroeste de Baja California. En contraste, en el interior peninsular y en la región del Lago Cahuilla, la tecnología lítica parece haber alcanzado su nivel de excelsitud durante el Holoceno temprano. Las puntas de dardo y lanza, cuchillos, raspadores y otros artefactos de posible uso ritual caracterizan el instrumental de caza y destazamiento de la fauna mayor. Las prácticas, entendidas como aquellos eventos que representan la estrategias de reproducción social, se centraron en los contextos lacustres, en la cacería del venado bura, el borrego cimarrón, el berrendo, el caballo y otros animales menores como el conejo y la liebre. Esta actividad proveía el alimento, el vestido y parte del instrumental utilizado para la manufactura de herramientas líticas, como lo es el asta de venado. Así lo confirman los artefactos encontrados en las antiguas playas de la laguna Chapala descritos por Arnold (1984) en sus exploraciones, además de Davis (2003) y Gruhn y Bryan (1999) en sus excavaciones; artefactos líticos como cuchillos, tajadores, raspadores y puntas retocadas por presión.

A medida que el temperatura se incrementaba al transcurrir del Holoceno, la vegetación esclerófito avanzaba hacia el interior de la Península y los bosques de coníferas se desplaza-

ban hacia niveles hipsográficos mayores hasta convertirse en bosques *relictus* en las partes altas como en la Sierra Blanca, al pie del Valle de Guadalupe.

Esos cambios ambientales trajeron una eventual desecación de los sistemas lagunares, hace aproximadamente 7 000 años, hábitats donde los cazadores habían desarrollado sus prácticas durante milenios (Davis, 2003).

LA ARQUEOLOGÍA DEL PACIFICO NORTE

ÁREA DE ESTUDIO

La región se localiza en Provincia fisiográfica denominada Provincia de la Península de Baja California y en el límite sur de la Provincia Florística de Baja California, con la mayor parte de su espacio conformado por una llanura costera con lomeríos (figura 2). El corredor costero Eréndira-San Quintín se localiza en el municipio de Ensenada (Baja California), partiendo del norte desde la comunidad de Eréndira hasta la zona de Valle Tranquilo en su extremo sur entre los 31° 13' 10.4" y 30° 09' 45" de latitud norte y de 116° 21' 03" y 115° 47' 19" de longitud oeste.



Figura 2. Corredor costero Eréndira-San Quintín.

LOS SITIOS ARQUEOLÓGICOS EN EL CORREDOR ERÉNDIRA-SAN QUINTÍN

Para este análisis, se parte de la premisa de que el registro arqueológico es el resultado material de prácticas sociales (además de los procesos de alteración post-deposicional) de individuos entendidos como sujetos históricos activos con objetivos propios, que toman decisiones y actúan de acuerdo a ellas, en un marco de condiciones tanto objetivas como subjetivas que los limitan (y no los determinan) y que son características de un lugar y una época (Shennan, 1993). Por ello el objeto principal de este trabajo será la construcción de conjuntos específicos de prácticas, sus continuidades y cambios.

Erendira

Las excavaciones arqueológicas en el Abrigo de los Escorpiones documentan la evolución de las prácticas de los grupos costeros desde aproximadamente el 9 000 a.p. (figura 3). La acumulación de material en el refugio, que alcanza la profundidad máxima de 8 metros, muestra la existencia de grupos con un nivel tecnológico relativamente simple expresado a través de artefactos líticos, de hueso y concha. Los gruesos raspadores, las lascas reutilizadas y los machacadores predominaron en las fases más tempranas de ocupación, mientras que las puntas de proyectil están hechas por percusión, a diferencia de aquellas de laguna Chapala, donde se observa el uso de la técnica de presión, lo cual marca una diferencia tecnológica importante entre las prácticas alimenticias de los cazadores intensivos y las de los cazadores-recolectores-pescadores. La secuencia estratigráfica del abrigo muestra que las orientaciones a la recolección de mariscos y en menor grado a la cacería de mamíferos marinos y a la pesca de litoral. En los niveles más superficiales, aparecen las manos y los morteros como indicación de una reorientación al uso de plantas en su práctica alimenticia (Gruhn y Bryan, 2000, 2001, 2002, 2004).

Colonet

Punta Colonet es una gran plataforma formada por dos mesas y un cabo que remata en un cantil rocoso con una marcada pendiente que topa en el Océano Pacífico y que sobresale de manera importante en la geografía costera de esta región (figura 4).

La mayor parte de la superficie terrestre se compone de roca sedimentaria (areniscas y conglomerados) y sólo la zona de Cabo Colonet presenta basaltos, que es la fuente principal utilizada en la prehistoria para la manufactura de herramientas.

A diferencia de Abrigo de los Escorpiones, donde la naturaleza de refugio permitió una ocupación constante durante varios milenios, los sitios de Colonet presentan una distribución en el paisaje con características de asentamientos semipermanentes, resultado de una alta movilidad, típica de los grupos de cazadores-recolectores-pescadores de los desiertos costeros (Figueroa, 2007).

Los conceptos de movilidad usados en el estudio de estos grupos coinciden en que es universal, variable y multidimensional. Binford (1980) fue el pionero en el análisis conceptual de la



Figura 3. Sitio de abrigo.



Figura 4. Bahía Colonet.

idea de movilidad. Este autor marca clara diferencia entre movilidad residencial y movilidad logística, ambas asociadas directamente tanto a la disponibilidad de recursos como a las prácticas de los grupos en la prehistoria.

La *movilidad residencial* es aquella que efectúa toda una banda o grupo local de un campamento a otro, mientras que la *movilidad logística* la efectúan sólo un grupo de individuos desde el campamento residencial. Binford, agregó posteriormente a estos conceptos el de *movilidad territorial o de largo plazo*, con el cual se incorpora la noción de movimientos cíclicos de un grupo a través de una serie de territorios.

San Quintín

Esta región situada a 60 km al sur de Colonet, fue estudiada durante cuatro temporadas de campo desde 1995 por el Dr. Jerry Moore de la Universidad Estatal de California. Después de registrar la cantidad de 290 sitios, Moore (2001) encontró que la mayoría de los sitios constituyeron campamentos habitacionales, indicado por las evidencias de las prácticas de preparación y consumo de moluscos, metates y fogones para tatemar agave así como la producción de herramientas líticas, respaldada por los hallazgos de materiales encontrados cerca de los sitios, principalmente núcleos y lascas de basalto.

En sus conclusiones, el investigador plantea a manera de hipótesis “el modelo de adaptación transhumante transpeninsular” para explicar por qué aparecen conchas de moluscos provenientes del Mar de Cortés y obsidiana de yacimientos ubicados entre la sierra de San Pedro Mártir y el Mar de Cortés.

LOS CONTEXTOS ARQUEOLÓGICOS Y LAS PRÁCTICAS CULTURALES DE LOS GRUPOS COSTEROS EN EL CORREDOR ERÉNDIRA- SAN QUINTÍN

LA RECOLECCIÓN DE MOLUSCOS

El planteamiento que aquí se hace con respecto a los sitios dispersos en el paisaje costero de esta región, exceptuando al refugio de Eréndira en su fase del Holoceno inicial es que pertenecen al modelo de movilidad residencial. Los contextos arqueológicos en superficie, aunque limitados en información, aportan elementos de análisis cuando se entrecruzan con la información paleoambiental, de las fuentes etnohistóricas y con el estudio de las prácticas culturales de las sociedades del pasado.

En superficie, casi todos los sitios muestran a la recolección de moluscos como una práctica alimenticia fundamental de los grupos que habitaron la región costera del noroeste. Su continuidad cronológica durante milenios hace suponer que los moluscos de playas arenosas y del intermareal rocoso fueron aprovechados en prácticas de consumo estacionales, durante la época del año en que los bivalbos llegaban a la adultés (figura 5).

Esta práctica supone un conocimiento ancestral de los ciclos reproductivos de las diferentes especies costeras. Para el Abrigo de los Escorpiones en Eréndira y para los sitios de Colonet, en la parte de la mesa y hacia el sur de ésta, la abundancia de conchas propias del ambiente arenoso como las almejas nos hacen suponer que estos contextos provienen cuando menos del Holoceno medio ya que en la actualidad, después del aumento en el nivel del mar, no existen playas arenosas, como sí las hubo en el Holoceno temprano o medio. Existe también abundancia de conchas de *mytilus*, *fissurella*, *lottia* y *collisella* provenientes del intermareal rocoso, seguramente de la zona baja del cantil del Cabo y de otras zonas que quedaron igualmente sumergidas por el avance pospleistocénico del mar.

Las herramientas utilizadas para llevar a cabo esta práctica son principalmente lascas por reducción de núcleo que se elaboraron en talleres de evento “singular”, práctica prehistórica definida por Binford (1980) como “tecnología expedita” en donde las herramientas se elaboraban “al momento” de existir una necesidad dada, especialmente la relacionada a la práctica estacional de la recolección de moluscos, en el desprendimiento de las almejas de las rocas o para abrir sus conchas. Así, los cambios en la tecnología lítica dependían directamente del tipo de molusco



Figura 5. Conchas de moluscos.

al que se accedía. Aquellos que requerían un mayor esfuerzo tecnológico para desprenderlos de las rocas como el *mytilus* (mejillón) debían tener largos y firmes filos a diferencia del instrumental usado para extraer de la playa arenosa a la *tivela* (pismo). Los cuchillos y las puntas fueron instrumentos utilizados para la cacería y para destazar mamíferos marinos como los lobos, las focas y las nutrias.

Por su parte, las fuentes etnohistóricas refieren también la existencia de recursos alimenticios aprovechados por los indígenas de esta región. El padre Serra por ejemplo, realiza la descripción de San Telmo, muy cerca de Colonet:

“...este paraje es espaciosísimo y tendrá más de una legua de hermosísimo pasto, y entre él algunos tablones de tulares manando en agua; y al fin de él, en donde paramos, tiene una poza de agua clara, dulce y excelente que tendrá de largo como 150 varas (aunque otros le echan más) y de ancho no bajarán de 20, y tan profunda que por los lados y su remate, desde el primer paso, no se halla pie.” Más adelante continúa: “...En dicha poza han cogido nuestros neófitos algunas tortugas” (Lazcano, 2002).

EL APROVECHAMIENTO DE PLANTAS

La tatema del agave

Esta práctica representó en Colonet, de igual manera como lo indican los resultados de Moore en San Quintín, una alternativa de alimentación importante en las comunidades prehistóricas desde el Holoceno medio, particularmente cuando el cambio climático había generado un sustancial aumento en el nivel del mar, dejando sumergidas antiguas zonas del internareal rocoso, donde abundaban los moluscos como el *Mytilus californianus*. En consecuencia, tuvo que darse un cambio en las prácticas culturales, como una reacción adaptativa al cambio climático, situación que permitió un mayor aprovechamiento del uso de las plantas, especialmente del agave. En la zona de San Quintín se han localizado en superficie algunos hornos para la tatema de este vegetal (figura 6) y mucha de la tecnología expedita, especialmente cuchillos y raspadores que fueron utilizados para cortar las pencas y el corazón para la preparación de este alimento (figura 7). Otra práctica importante asociada al agave es el proceso de despulpamiento de las pencas para la elaboración de cordelería con las fibras resultantes. Las fibras eran la base de fabricación de muchos objetos de uso doméstico en estas comunidades como las sandalias y las bolsas, además de cordeles para anzuelos y redes de pescar, instrumental esencial para las prácticas de pesca (figura 8).

Los primeros europeos que llegaron a la península dan cuenta de este recurso. El padre Miguel del Barco (1988) menciona que:

“...entre todas las plantas de la California, la del mezcal es la que más útil y proficua a sus naturales. Las demás proveen de sustento a lo sumo una temporada de dos o tres meses: el mezcal la mayor parte del año. Las otras no dan su fruto todos los años sino que muchos,



Figura 6. Horno de agave.

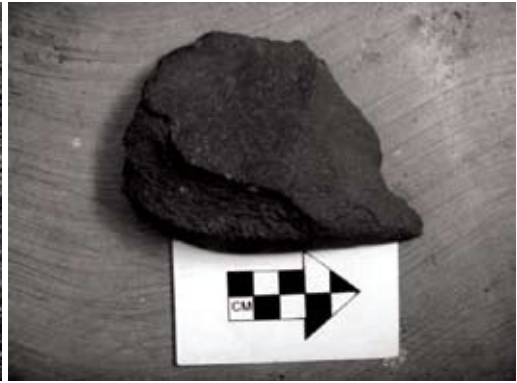


Figura 7. Cuchillo.

o en los más, nada o poco fructifican; pero los mezcales constantemente todos los años, sin interrupción, suministran a los indios el alimento necesario. De suerte que, exceptuando los playanos, que toman del mar su principal sustento, los demás no pudieran vivir si no hubiera mezcal, si no tuvieran el recurso que, después de cristianos, han tenido las misiones, si bien éstas por lo regular no pueden sustentar a todos”.



Figura 8. Sandalias.

Más adelante, relata

“Y en tales ocasiones caminan agobiadas, bajando no sólo la cabeza sino inclinando también los hombros y la espalda, para que sobre ésta descansen algo del peso de la carga y la cabeza pueda resistir, y forcejar mejor contra el mismo peso. Demás del uañí, lleva cada una un cuchillo belduque. Y a falta de machete (de que algunas pocas, más acomodadas, ya usan), para cortar el tronco de mezcal, tienen una pequeña tabla de madera dura, ancha, de tres a cuatro dedos, y larga de dos a tres palmos, a modo de un pedazo de hoja de espada ancha, pero sin punta aguda y, en lugar de ella, adelgazan por aquella parte la tablita, para que por allí corte el mezcal”.

Una referencia directa al uso del agave en Colonet lo proporciona la relación de Juan Páez acerca de la llegada del navegante Juan Rodríguez Cabrillo a Colonet:

“Estando en este cabo de San Martín fueron en tierra por agua y hallaron una laguna pequeña de agua dulce donde tomaron agua. Y en esta aguada vinieron los indios en número de 40 con sus arcos y flechas, no se pudieron entender con ellos, venían desnudos, traían maguay asado para comer y pescado” (Lazcano, 2007).

Muy posiblemente, y en concordancia con varios autores que han investigado la región de Colonet-San Quintín en la época anterior al contacto europeo, la preparación del mezcal llegó a ser la práctica alimenticia primaria de estas comunidades.

La molienda de semillas

El cambio climático orientó el aprovechamiento integral de las plantas; de esta manera se observan en superficie variados artefactos manufacturados para la molienda, especialmente de semillas. En los asentamientos prehistóricos de Colonet se han conservado varios morteros y abundantes manos usados en la molienda. La utilización de este recurso en tiempos posteriores a las prácticas intensivas de recolección de moluscos y de cacería sugiere, al igual que en Eréndira y San Quintín, una adaptación cultural al medio ambiente del Holoceno medio, cuando arriva la vegetación semiárida del desierto costero. Poco a poco, las prácticas alimenticias fueron centrándose en los ciclos reproductores de las plantas y de sus frutos y los grupos o bandas adoptaron el “forrajeo” como forma de organización económica a partir del Holoceno tardío hace aproximadamente 4 000 años. Las especies vegetales utilizadas en las prácticas alimenticias en la prehistoria y que aún sobreviven en la actualidad son entre otras, la jojoba, la manzanita y la chía. También algunas semillas de frutos como la biznaga o la pitahaya fueron molidas y hechas harinas que sirvieron de base para la elaboración de atoles y bebidas. La tabla 1 presenta el análisis bromatológico por especie vegetal hecho para el grupo Kolew, cuyas bandas aprovechaban los ciclos estacionales de estas especies al igual que de los moluscos en el Holoceno tardío para bajar a la costa del Pacífico, entre San Quintín y Colonet (Lucero, 1995).

Tabla 1. Resultados del análisis bromatológico por especie utilizados por los grupos indígenas prehispánicos de Baja California (tomada de Lucero, 1995).

Nombre común	Proteína	Carbohidratos	Lípidos	Fibra	Minerales	Calorías
Mescal						
a)asado	3.89	12.65	1.8	77.31	4.35	36.82
b)fresco	5.4	15.85	1.89	72.33	4.79	100.97
Jojoba	29.13	2.56	39.14	27.14	2.03	489.26
Chía	10.98	6.16	35.12	40.44	7.30	384.64
Pitaya Agria	21.38	13.74	9.42	61.37	3.42	225.26
Biznaga						
a)pulpa	8.83	4.90	2.08	54.76	29.43	73.64
b)semilla	19.82	3.77	19.71	52.93	3.77	271.75

LECCIONES APRENDIDAS: EL CAMBIO CLIMÁTICO, EL PATRIMONIO CULTURAL COSTERO Y EL DESARROLLO SUSTENTABLE

El cambio climático ha sido una constante en la historia humana. En la costa noroeste de Baja California, las prácticas culturales de los grupos prehistóricos se dieron como una reacción al aumento del nivel del mar y al avance de la vegetación desértica. Las bandas de cazadores-recolectores-pescadores pudieron bajo ese esquema de cambio medioambiental desarrollar estrategias para el aprovechamiento de plantas y animales que no eran importantes en otras épocas; así lo constatan los artefactos arqueológicos dejados por aquellos primeros habitantes de la península de Baja California. Pero el cambio climático con el ininterrumpido avance de la desertificación ha sido un factor altamente limitante para el desarrollo de las comunidades que hoy viven en esta región. Los ríos que antiguamente eran fuentes perennes de agua, se encuentran secos y los acueductos se han agotado o se han contaminado por el agua de mar. El conocimiento de las adaptaciones prehistóricas al cambio climático debe dejarnos varias lecciones, entre ellas que debemos echar mano de estrategias adaptativas para abatir la pobreza y mejorar el nivel de vida de las comunidades de las zonas áridas. En este sentido, el trabajo arqueológico debe representar no sólo una aportación al conocimiento científico y a la conservación del patrimonio cultural, sino también servir como insumo básico para atender las necesidades de desarrollo sustentable de las comunidades rurales, generalmente olvidadas de los programas sociales y con graves carencias de infraestructura y servicios. En este contexto el patrimonio cultural tangible que se rescata de la investigación arqueológica debe ser aprovechado como insumo en el diseño de programas de manejo ecoturísticos, y en la creación de museos comunitarios que permitan a las comunidades actuales un mayor nivel organizativo y educativo a partir del conocimiento de las prácticas culturales de las comunidades del pasado y del manejo del patrimonio que les pertenece.

Los museos comunitarios han fundado un modelo de participación activa de las comunidades en tareas como la investigación, conservación y difusión del patrimonio cultural. En nuestro país el museo comunitario ha jugado un papel importante principalmente en las comunidades indígenas del sur del país como catalizador de la capacidad organizativa y educativa de las comunidades automotivadas que ven en el museo comunitario no sólo el recinto que alberga objetos del pasado sino también un espejo donde la comunidad puede mirarse como generador y portador de cultura y asumir una actitud activa frente al presente y, por supuesto, al futuro (Bedolla, 1995). Las plantas que dieron alimento y abrigo a muchas generaciones de individuos durante la prehistoria se encuentran aún en el paisaje rural de esta región costera, pero sin uso alguno; olvidadas e ignoradas. Es tiempo de aprender del pasado.

SUGERENCIAS Y RECOMENDACIONES

La fase de prospección arqueológica en superficie que se realizó en el corredor costero Eréndira-San Quintín ha aportado información relevante acerca de las prácticas culturales de las comunidades prehistóricas de la región del Pacífico norte que se dieron como consecuencia del cambio climático generado con el fin del Pleistoceno; sin embargo, el estudio no ha concluido. La siguiente etapa de la investigación será la excavación intensiva y extensiva de sitios donde exista mayor probabilidad de encontrar ocupaciones largas e información que nos permita reconstruir la evolución ambiental de esta región. Paralelamente, es necesario encontrar la secuencia estratigráfica que nos permita conocer con mayor precisión el desarrollo histórico de las prácticas domésticas y de aquellas relacionadas con su cosmovisión, como las prácticas funerarias, los rituales de iniciación y las creencias religiosas. Más allá de esto, persiste el reto de poder entender más profundamente cómo se entrelazan sincrónicamente el conjunto de prácticas culturales que tomaron lugar en épocas marcadas por severos cambios ambientales derivados del aumento en la temperatura del planeta. Importante será también hacer uso del conocimiento al que nos da acceso la investigación arqueológica para que las comunidades conozcan y entonces valoren el pasado como una vía que les permita el desarrollo sustentable a través del manejo de su propio patrimonio y del aprovechamiento de los recursos que permitieron la sobrevivencia de aquellas comunidades ante el cambio climático. Un camino para lograr esto es la apropiación del patrimonio a través del museo comunitario, donde podrán converger historia, identidad y desarrollo.

LITERATURA CITADA

- Arnold, B., 1984. Early man in Baja California-evidence and interpretation. *Pacific Coast Archaeological Society Quarterly*, 20(1): 27-36.
- Bedolla, A. G., 1995. Museos comunitarios: una experiencia social. *Revista México en el Tiempo*, 1(6): 49-56.
- Binford, L.R., 1980. Willow smoke and dog's tails: hunter-gatherer settlement systems and archaeological site formation. *American Antiquity*, 45 (1): 4-20.
- Bryan, A., 1999. El poblamiento originario. p. 41-67. En: Historia General de America Latina. Vol. I, UNESCO.
- Davis, L., 1999. Resultados de las investigaciones arqueológicas en el sitio de La Bocana, Baja California Norte. Memorias del II Encuentro Binacional: Balances y Perspectivas de la Antropología e Historia de Baja California. INAH. 31 p.
- Davis, L., 2003. Geoarchaeology and geochronology of pluvial Lake Chapala, Baja California, Mexico. *Geoarchaeology: An International Journal*, 18(2): 19 p.
- Del Barco, M., 1988. Historia Natural y Crónica de la Antigua California. Estudio preliminar, notas y apéndices de Miguel León-Portilla. UNAM-IIIH. 482 p.
- Figuroa, C., 2007. Arqueología de superficie en Colonet: interpretaciones preliminares. Memorias del congreso Balances y Perspectivas de la Antropología en Baja California. INAH-Conaculta. 18 p.

- Fladmark, K. R., 1978. The feasibility of the northwest coast as a migration route for early man. p. 119-128. *In*: A. Bryan (ed.). Early man in America from a Circum-Pacific Perspective. University of Alberta. Department of Anthropology Occasional Papers No.1, Edmonton.
- Gruhn R., y A. Bryan, 1999. Results of the 1997 excavations at the Abrigo Paredon Laguna Chapala, Baja California, Mexico. Informe INAH. 31 p.
- Gruhn, R., y A: Bryan, 2000. Informes técnicos temporada 2000 de excavación en Abrigo de los Escorpiones, Eréndira, B.C.
- Gruhn, R., y A: Bryan, 2001. Informes técnicos temporada 2000 de excavación en Abrigo de los Escorpiones, Eréndira, B.C.
- Gruhn, R., y A: Bryan, 2002. Informes técnicos temporada 2000 de excavación en Abrigo de los Escorpiones, Eréndira, B.C.
- Gruhn R., y A. Bryan, 2004. Informe sumario de la temporada cuarta de excavaciones en el Abrigo de los Escorpiones, Baja California. Informe Técnico. INAH. 11 p.
- Lazcano, C., 2002. Diario de Fray Junípero Serra. Colección Ensenada (5).119 p.
- Lazcano, C., 2007. Mas Allá de la Antigua California. La navegación de Juan Rodríguez Cabrillo 1542-1543, Col. Navegantes (5). 111 p.
- Lucero, J. E., 1995. Determinación de la calidad nutricional de la flora utilizada como alimento por el grupo étnico Kolew de Arroyo de León, B.C. Tesis de Licenciatura. UABC-Fac. de Ciencias. 97 p.
- Moore, D. J., 2001. Proyecto arqueológico San Quintín-El Rosario adaptaciones indígenas en el norte de Baja California durante 7 000 años. Informe Final INAH. 143 p.
- Shennan, S., 1993. After social evolution: a new archaeological agenda? p. 53-70. *In*: Yefee y Sherrat (comps.). Archaeological Theory: Who Sets the Agenda? Cambridge University Press.
- Yesner, D., 1980. Maritime hunter-gatherers: ecology and prehistory. *Current Anthropology*, 21(6): 727-50.

Seingier G., I. Espejel, J.L. Fermán, y O. Delgado, 2010. Vulnerabilidad de las poblaciones costeras ante la peligrosidad natural, enfoque estatal y municipal. p. 669-688. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche, CETYS-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO UN ENFOQUE COSTERO Y MARINO

Habitantes y patrimonio

Vulnerabilidad de las poblaciones costeras ante la peligrosidad natural, enfoque estatal y municipal

Georges Seingier, Ileana Espejel, José Luis Fermán y Oscar Delgado

RESUMEN

En este capítulo se calcula un índice de vulnerabilidad de los estados de la costa mexicana, el cual, al relacionarlo con la peligrosidad natural de las planicies costeras, representa un índice de riesgo costero. La peligrosidad consideró dos conceptos: peligrosidad física, la cual se midió sumando la longitud de la línea de costa, el número de cuerpos de agua marinas interiores (bahías y lagunas), la proporción de la planicie en el municipio y la peligrosidad climática que se basó en la frecuencia de los eventos meteorológicos. Se incluyeron tres tipos de vulnerabilidad socioambiental: la vulnerabilidad demográfica, dada por el número de habitantes y la densidad por km² en la planicie, la vulnerabilidad socioeconómica que considera el promedio del índice de marginación de las localidades en la franja costera y la vulnerabilidad que les da el haber perdido vegetación natural en la franja costera cuya función, como servicio ambiental, es la protección de la costa. Los estados costeros con un índice de riesgo costero alto son Tamaulipas, Quintana Roo (cuya peligrosidad es mayor que la vulnerabilidad), Veracruz y Baja California (cuya vulnerabilidad es mayor que la peligrosidad). Le siguen con riesgo medio Tabasco, Campeche, Michoacán, Sinaloa, Baja California Sur y Guerrero. Los 7 estados restantes presentaron riesgo costero bajo. Se presentan también los datos municipales y se hace un análisis del papel que juega el crecimiento poblacional proyectado al 2030 en el índice de riesgo. A pesar de las pérdidas ocasionadas por ejemplo en Cancún por el huracán Wilma o en el sureste debido al huracán Stan, se insiste en desarrollar las costas con modelos idénticos de construcción tanto de nuevas y largas ciudades turístico-residenciales

con frente de mar y enormes puertos de carga en ciudades industriales. Por lo tanto, no se proyecta un escenario futuro diferente, de hecho será peor, ya que aumentará la población vulnerable a los efectos del cambio climático la cual vivirá en sitios peligrosos por lo que habrá más municipios con mayores índices de riesgo costero.

INTRODUCCIÓN

Según el Reporte del Banco Mundial 2010 (World Bank, 2009), los impactos físicos del cambio climático, como los son la elevación del nivel medio del mar, la intensidad y frecuencia de huracanes y el recrudecimiento de sequías, amenazan las vidas y la seguridad de millones de personas en el mundo en vías de desarrollo. Para reducir la vulnerabilidad a estos impactos, todos los países necesitarán adaptarse estratégicamente a las condiciones cambiantes del ambiente. Según esta fuente, con un metro que se eleve el nivel del mar, ahora considerado en nuestro tiempo de vida, aumentarán los problemas ya existentes en abastecimiento de alimentos y desaparición de ecosistemas costeros (los cuales amortiguan tormentas en las ciudades costeras y favorecen la producción pesquera).

El cambio climático es un reto más que enfrentan los países en desarrollo, el cual, de no atenderse pronto, revertirá las ganancias que hasta ahora se han logrado con el desarrollo económico de dichos países. Aunque México se ha sumado a los esfuerzos de un desarrollo que incorpora cuestiones de clima en cuanto a políticas y estrategias (Semarnat, 2007a), en la práctica se siguen desarrollando grandes proyectos costeros (principalmente centros residenciales, turísticos y puertos) que no parecen prevenir los efectos de un clima cambiante.

Para poder imaginar lo que le sucederá a la población mexicana que vive en las costas, en escenarios de elevamiento de mar y cambios en el clima, primero debemos visualizar el estado actual de la costa ya que este escenario refleja las consecuencias del crecimiento poblacional costero.

Por eso, en este capítulo, se toma de la OCDE un modelo para medir el desarrollo sustentable y lo aplicamos a las costas mexicanas. El esquema calcula la vulnerabilidad de la población humana, la peligrosidad de la costa mexicana y el riesgo a efectos de cambio climático. Quizás reduccionista, porque no considera todas las posibles variables ni interacciones de un sistema complejo, como lo es la costa mexicana, el modelo que se presenta es una especie de caricatura que refleja los puntos donde la población de mexicanos es más vulnerable porque viven en zonas naturalmente peligrosas. El aumento de la población en municipios costeros con peligrosidad costera es relativamente nuevo, ya que la historia del desarrollo costero de México es muy reciente (Gutiérrez de MacGregor y González Sánchez, 1999; León, 2004) aunque muy concentrado en ciertas ciudades costeras.

La definición oficial de costa mexicana corresponde a los municipios con frente de mar y a aquellos en planicies costeras con presencia de vegetación de humedales (segundo y tercer orden) (Semarnat, 2007b). En este caso se eligió hacer los cálculos para 169 municipios que tienen frente de mar o laguna costera (Seingier *et al.*, 2009), los cuales, para una mejor interpretación, se agruparon por estados, sin perder las particularidades municipales.

Para entender los conceptos de vulnerabilidad y riesgo utilizados en este capítulo, asociados a peligros naturales desde el punto de vista de la geología (Cardona, 1993; Cendrero, 1997; Romero y Maskrey, 1993, UNDRR, 1979; Varnes, 1984; Wilches-Chaux, 1993), se hacen las siguientes aclaraciones: se entiende por riesgo costero al encuentro en un territorio naturalmente peligroso (por sus características físicas como son presencia continua de huracanes, de suelos inundables, de costas erosionables, de incendios naturales, etc.) de una población humana que es vulnerable porque está marginada, (porque no tiene la mínima infraestructura urbana, es pobre, vive en lugares densamente poblados, etc.). Así por ejemplo, un municipio con más riesgo costero será aquel que tenga una costa larga, que posea una gran proporción de planicie costera, que haya frecuente presencia de huracanes y esté habitada por una densa población marginada. Se podría hablar de vulnerabilidad socioambiental cuando además dicha población vive en donde se ha eliminado o transformado la vegetación natural con la consecuente pérdida de protección natural que este hecho conlleva.

Este trabajo considera que con –o sin cambio climático– y a partir de los datos retrospectivos de los censos e inventarios forestales, se pueden construir modelos que midan el aumento de la vulnerabilidad socioambiental en los estados con características más peligrosas, proporcionar un aproximado que permita visualizar los efectos del riesgo de inundación, por ejemplo, en los municipios y estados que conforman al México costero.

Hasta ahora, se ha explorado poco la relación de la población costera de los municipios mexicanos con un grado de riesgo regional y local ante escenarios de cambio climático (Seingier *et al.*, 2009, y Martínez *et al.*, 2006). Por eso, el objetivo de este capítulo es presentar algunas implicaciones que pudiera tener el aumento del riesgo costero tomando en cuenta a ciertos indicadores de las bases de datos oficiales mexicanas (básicamente los censos y conteos poblacionales y los inventarios forestales de INEGI), para que pueda dárseles seguimiento automáticamente cada cinco o diez años.

Para esto, se analizan los municipios agrupados en estados, según indicadores de peligrosidad (física), vulnerabilidad (socioambiental) y que sumados reflejan el riesgo a sufrir las consecuencias que conllevarían los eventos climáticos cambiantes.

ESTADO DEL ARTE

El cambio climático global, como consecuencia de cambios naturales y antropogénicos, es una de las amenazas ambientales más serias a las que el hombre se ha enfrentado, y éste se manifiesta en los aumentos observados del promedio mundial de la temperatura del aire y del océano, el deshielo generalizado de nieves y hielos, y el aumento del nivel del mar (IPCC, 2007).

El calentamiento global durante los pasados 100 años ha ocasionado una expansión térmica del agua oceánica y un influjo neto de agua por el deshielo de los glaciares. Los registros más recientes de cambios del nivel del mar consisten de datos altimétricos de los satélites TOPEX/Poseidon y Jason (Nerem y Mitchum, 2001). Para un periodo de 10 años, entre 1993 y 2003,

los datos de altimetría de satélite muestran que la razón de elevación del nivel del mar fue 3.1 +/- 0.7 mm/año (Cazenave y Nerem, 2004; Leuliette, *et al.*, 2004).

La elevación del nivel del mar es una amenaza particularmente importante porque 10% de la población mundial (634 millones de personas) habitan las zonas costeras con elevaciones entre los 0 y 10 m por arriba del nivel medio del mar, de las cuales 360 millones se encuentran en zonas urbanas.

México tiene una importante cantidad de áreas costeras con elevación entre 0 y 10 m sobre el nivel del mar, que le colocan en el octavo lugar en el contexto mundial (McGranahan, *et al.*, 2007). Se puede suponer que más del 50% de los aproximadamente 16.4 millones de habitantes que habitan en los municipios costeros (INEGI, 2006), al igual que su infraestructura se encuentran ocupando espacios físicos en dicha cota, además de las estructuras naturales, como las lagunas costeras y las estructuras sedimentarias tipo dunas, estarán expuestas a ser inundadas ante una elevación del nivel del mar, condición que aumenta la vulnerabilidad de estas áreas costeras a las inundaciones causadas por los surgimientos de tormenta, los tsunamis y condiciones de marea astronómica extrema. Conforme sube el nivel del mar, los efectos asociados a tormentas de una intensidad dada podrán llegar a alcanzar cotas de nivel más altos sobre el continente, extendiendo más las áreas de inundación.

Es importante señalar que buena parte de los problemas asociados con el aumento en el nivel del mar representan los efectos acumulados de procesos que han empezado desde hace décadas, quizás siglos, y que estos efectos pueden estar relacionados con otros efectos naturales y antropogénicos, tales como la reducción o inhibición de suministro de sedimentos a las costas. Además de la posible influencia de estos factores, la elevación del nivel del mar puede considerarse como el mayor agente que ha causado erosión de las costas (Leatherman *et al.*, 2000; Cooper y Pilkey, 2004). Los datos obtenidos con instrumentos para registrar la marea sugieren que a partir de 1993 la razón de aumento del nivel del mar se ha incrementado a 3 mm/año (Church y White, 2006), que sugiere que la situación puede acelerar procesos que han estado presentes por siglos, como inundaciones de los primeros metros de costa, erosión en las playas, intrusión salina y pérdida de cuerpos protegidos (Bird, 1993; Leatherman, 2001).

Además del incremento de las inundaciones e impactos de tormenta en las comunidades costeras de las regiones bajas, la aceleración en el aumento en el nivel del mar afectará de manera dramática las playas de arena y las costas con islas de barrera. Estos impactos están más allá de la inundación ocasionada por la elevación del agua oceánica, e implica la pérdida permanente o casi permanente de las playas de arena. Los análisis de los balances de sedimentos muestran que la zona cercana a la playa y los deltas de marea, entre otros elementos, pueden funcionar como reservas sedimentarias (Komar, 1998). El proceso de erosión en escala de periodos largos de tiempo que se presentan en algunas playas pueden verse afectadas por la aceleración en el cambio en el nivel del mar, lo cual puede llevar al deterioro de la costas que tienen entre sus componentes las barreras de arena tipo isla, las cuales protegen zonas de alta productividad e importancia ecológica, al igual que protegen la parte continental al embate directo de tormentas y erosión.

Otro de los retos que plantea la elevación del nivel del mar es el impacto social y económico que representa para las áreas costeras (Nicholls y Leatherman, 1996; Gornitz, *et al.*, 2002). El reto, por lo tanto depende de la capacidad de disponer de información sobre los efectos sociales y económicos que representa la aceleración observada en esta elevación del nivel medio del mar. En México la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) realizó un esfuerzo de integrar la información disponible para emitir un primer diagnóstico de las posibles afectaciones a las que está expuesto el país ante la variabilidad climática y el calentamiento global (Semarnat-INE, 2006), sin embargo, este esfuerzo no abordó el daño potencial que representa un aumento en el nivel del mar a los espacios costeros del territorio nacional que contemple información conjunta de la vulnerabilidad de la población establecida en la costa y la peligrosidad costera.

El análisis del presente trabajo se hizo con una base de datos municipal pero agrupándolos en sus respectivos estados. En este apartado describiremos los resultados de analizar la costa mexicana según los indicadores explicados en la tabla 1.

ÍNDICE DE RIESGO COSTERO (IRC)

El resultado de la combinación de peligrosidad costera con la vulnerabilidad socioambiental proporciona información que permite identificar los estados costeros (figura 1) y los municipios costeros (figura 2) con más riesgos ante eventos de cambio climático. Es decir, el estado con más riesgo costero es aquel que tiene una costa larga, tiene una gran proporción de planicie costera, que sufre de una frecuente presencia de eventos meteorológicos y está habitado por

Tabla 1. Indicadores utilizados para ejemplificar el riesgo costero en México.

RIESGO (IRC)= Σ (IPC, IVC)	
Índice de Peligrosidad Costera (IPC)	
$IPC = \Sigma(SIPF, SIPC)$; $SIPF = \Sigma(l, p, a)$; $SIPC = (em)$	
Subíndice de Peligrosidad física (SIPF)	
Indicador: Longitud de la línea de costa municipal (km)(l)	
Indicador: porcentaje del área municipal en la planicie (%) (p)	
Indicador: Número de aguas marinas interiores (#) (a)	
Subíndice de Peligrosidad climatológica (SIPC)	
Indicador: Frecuencia de eventos meteorológicos (%) (em)	
Índice de Vulnerabilidad Socioambiental Costera (IVSC)	
$IVSC = \Sigma(pob, dpob, mar, st)$	
Indicador: Población en la planicie costera en 2005 (pob)	
Indicador: Densidad poblacional en la planicie (habitantes por km ²) (dpob)	
Indicador: Marginación por localidad promedio en la planicie (mar)	
Indicador: Porcentaje de suelo transformado en una franja de 2km (%) (st)	

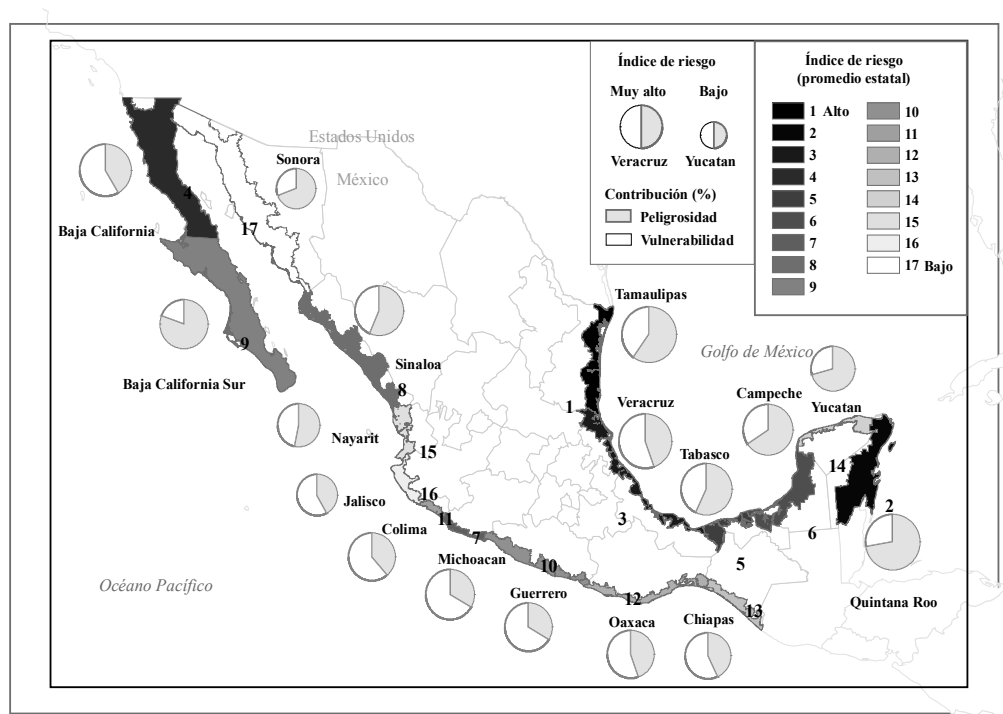


Figura 1. Promedios estatales de los índices municipales de riesgo: contribución de la peligrosidad y de la vulnerabilidad al índice de riesgo.

una densa población marginada, además que ha eliminado o transformado la vegetación natural costera.

Los estados con un índice de riesgo costero alto (figuras 1 y 2) son Tamaulipas y Quintana Roo, cuya peligrosidad es mayor que la vulnerabilidad, y Veracruz y Baja California, cuya vulnerabilidad es apenas mayor que la peligrosidad. Le siguen con riesgo medio Tabasco, Campeche, Sinaloa, Baja California Sur, Michoacán y Guerrero donde a excepción de los dos últimos, la peligrosidad supera a la vulnerabilidad. El resto de los estados tienen riesgo costero bajo; en los estados del Pacífico sur, la vulnerabilidad supera a la peligrosidad. En general en la figura 1 es notorio que los estados del Golfo de México y Caribe y los del noroeste de México, con excepción de Baja California, la peligrosidad supera a la vulnerabilidad socioambiental costera. Es decir, que en estos estados las variables físicas prevalecen en su aportación al índice de riesgo, y esto es claro porque en ellos hay más costas (noroeste de México) o más huracanes y tormentas tropicales (Golfo de México –con la excepción de Veracruz– y Caribe). En cambio en los estados pequeños del Pacífico sur, de costas de menor longitud, y Veracruz con muchas bahías y lagunas, y con poblaciones más marginadas y densamente poblados, la vulnerabilidad domina sobre la peligrosidad natural de sus costas.

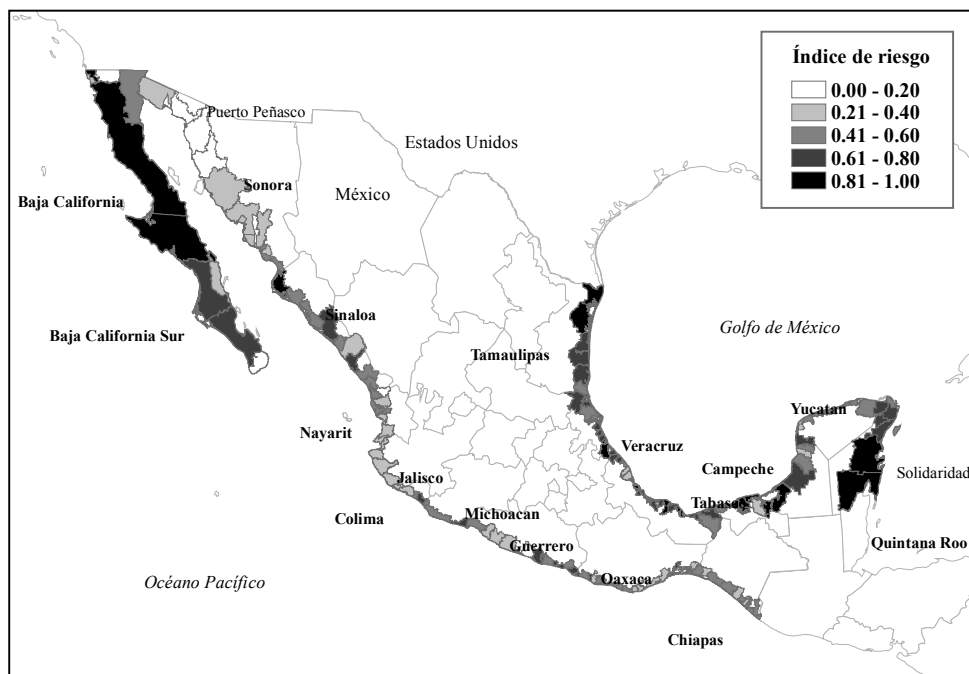


Figura 2. Índices municipales de riesgo.

La aplicación del índice en la construcción de una costa mexicana sustentable propiciaría la atención a disminuir la vulnerabilidad de los estados costeros del Pacífico sur y Veracruz y a limitar el crecimiento de desarrollos turísticos y portuarios en los estados del Golfo de México y Baja California, ya que esto conlleva a aumentar el riesgo donde ya es alto el IRC. Diferenciar entre vulnerabilidad y peligrosidad es importante en la planeación, ya que la vulnerabilidad puede manejarse: depende totalmente de voluntades políticas y acciones netamente humanas, con tomadores de decisiones nacionales y algunas de ellas con soluciones en cortos y medianos plazos; mientras que la peligrosidad natural costera de un estado o municipio es algo que debe asumirse como limitante para el desarrollo sustentable de las costas. En estos estados es importante aplicar medidas adaptativas al cambio climático que permitan evitar el aumento del riesgo ya provocado y usarse como ejemplo de lo que no conviene repetir.

Sin embargo, en otra escala más fina, cada estado tiene su propia diversidad, no todos los municipios de un estado con IRC alto tienen todos sus municipios con un IRC igualmente alto. En la figura 3, es importante visualizar que casi la mitad (54%) de los municipios están debajo de la media y casi la otra mitad (46%) arriba de la media del IRC, lo que quiere decir, es que estamos a medio camino y es el momento de decidir si queremos aumentar el riesgo costero nacional, o reconsiderar y mejor aunar esfuerzos para revertirlo.

Ocho de los 17 estados tienen aproximadamente la mitad de municipios con IR abajo del promedio y la otra mitad con IR arriba de la media (0.53), destacan Jalisco y Sonora sin un solo municipio arriba del IR promedio. Preocupante es que Tamaulipas y Veracruz, que tienen la mayoría de municipios con IRC arriba de la media (89% y 71% respectivamente), en ambos estados hay proyectos de crecimiento de sus puertos y desarrollos turísticos y habitacionales en las costas que seguramente incrementarán el riesgo costero estatal (Pérez Villegas y Arrascal, 2000).

Es interesante notar que hay municipios con altísimo riesgo costero en los estados de Veracruz y Quintana Roo, donde se siguen promoviendo los proyectos portuarios y desarrollos inmobiliarios turísticos; pero también en los estados con riesgo costero medio como Sinaloa, Campeche y Baja California Sur. De ser los desarrollos como los conocemos hasta ahora (Cancún, Los Cabos), estos estados pasaran a acompañar la lista de estados de IRC alto en un futuro cercano.

Cabe mencionar los municipios con valores extremos. Seis de ellos: Ahome en Sinaloa, Felipe Carrillo Puerto en Quintana Roo, Ciudad del Carmen en Campeche, Boca del Río en Veracruz, Mulegé en Baja California Sur y Tijuana en Baja California, tienen el IR más alto (de 9 a 1). Los municipios con menor IR (menor de 3), son Pitiquito en Sonora, San Miguel del Puerto en Oaxaca, Acaponeta en Nayarit, Los Cabos en Baja California Sur, Cabo Corrientes en Jalisco, San Ignacio en Baja California Sur, Playas de Rosarito en Baja California,

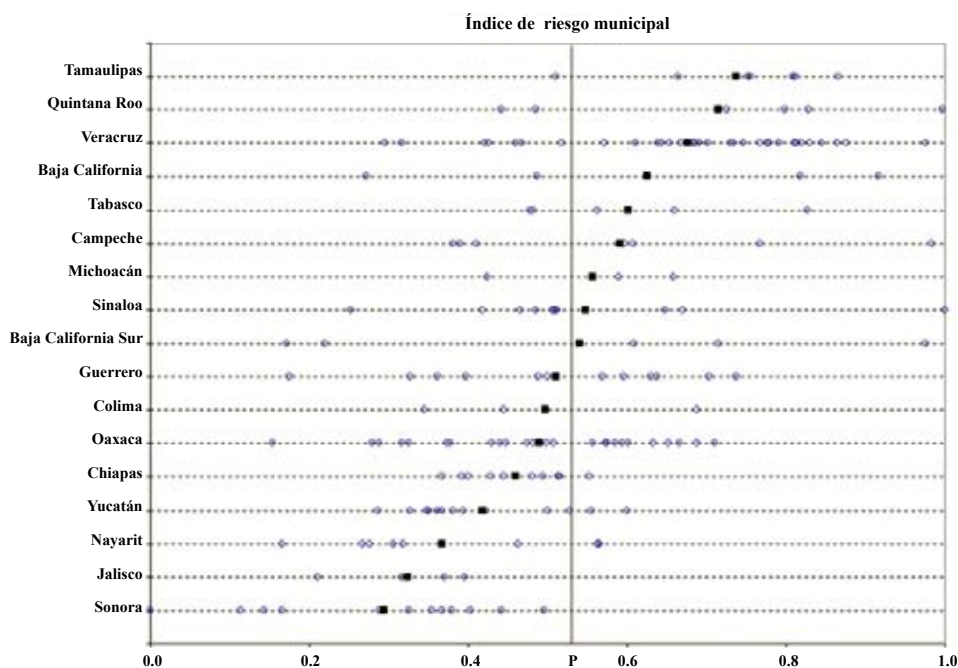


Figura 3. Datos de los 169 municipios costeros agrupados en los 17 estados. El punto negro es el promedio estatal del índice de riesgo y la línea marca el promedio de 0.53 de IR municipal..

Actopan en Veracruz y Dzizantún en Yucatán. Cada uno de ellos tienen un IRC alto o bajo por diferentes razones que serán explicadas cuando se hable de los indicadores de peligrosidad y vulnerabilidad.

El desglose y explicación de los subíndices con sus respectivos indicadores se explica a continuación.

ÍNDICE DE PELIGROSIDAD COSTERA (IPC)

Un estado o municipio puede ser considerado peligroso ante los efectos de cambio climático cuando tiene la mayor proporción de costa del país, la mayoría de las lagunas y bahías (AMI) de México, una gran proporción de planicie costera y que proporcionalmente ha sido golpeado por más eventos hidrometeorológicos extremos de cualquier intensidad en los últimos 150 años (NOAA, 2005). Por lo tanto, si no tiene la mayor proporción de costa, ni la mayoría de AMI, una gran proporción de planicie costera y con buena proporción de eventos, no es peligroso.

El resultado muestra que Quintana Roo, Baja California Sur, Tamaulipas y Campeche son los estados que muestran mayor peligrosidad; aunque Tabasco, Yucatán, Sinaloa y Veracruz tienen peligrosidad arriba de la media nacional ($IP=0.35$). En cambio, los estados del Pacífico sur son los menos peligrosos ante los efectos del cambio climático, se espera que los proyectos de Nayarit (Litibú, El Capomo y La Peña), de Sinaloa (Escuinapa-Teacapan) de Jalisco cerca de Chamela y de Puerto Peñasco (Sonora), que tienen IPC bajo, el desarrollo de los proyectos turísticos se lleve a cabo de manera que no aumenten la vulnerabilidad socioambiental de sus municipios donde se realizarán.

Menos aceptables nos parecen los proyectos en los municipios más peligrosos ante eventos de cambio climático como son los de Felipe Carrillo Puerto en Quintana Roo que es donde está creciendo el proyecto de Riviera Maya y en Mulegé que es donde hay proyectos enormes de segundas residencias para extranjeros (corredor Loreto-Puerto Escondido).

SUBÍNDICE DE PELIGROSIDAD FÍSICA (SIPF)

Se eligieron indicadores de peligrosidad basados en características físicas de la costa. Estos tres indicadores representan elementos ecosistémicos que han sido utilizados para zonificar áreas costeras y marinas (Escofet, 2004; Espejel y Bermúdez, 2009; Ortiz y Méndez, 1999). Así, en nuestros términos, el estado más peligroso físicamente hablando, es aquel que tiene más costa, más proporción de planicie costera, más lagunas, esteros y bahías.

Indicador: Longitud de la línea de costa (km)(I)

Consideramos que el estado flanqueado por mayor longitud de costa¹ es, obviamente, el más costero. Así Baja California Sur es el estado más costero del país. La mayoría de los estados mexicanos tienen una costa de tamaño medio (entre 1 100 y 2 300 km) pero los estados del

Pacífico Sur, y Tabasco y Yucatán tienen una línea de costa corta (inferior a 600 km). Los municipios con costa más larga (de más de 1 000 km) son: Mulegé (Baja California Sur) con 1 831 km, Ensenada (Baja California) con 1 606 km, Comondú (Baja California Sur) con 1 247 km y Ciudad del Carmen (Campeche) con 1 099 km; los municipios con costa más corta (menos de 2 km) son Martínez de la Torre (Veracruz) con 1.8 km, San Pedro Huilotepec (Oaxaca) con 0.5 km, Villa Comaltitlán (Chiapas) con 0.3 km y Tampico (Tamaulipas) con 0.2 km.

Indicador: porcentaje del área municipal en la planicie (p)

Este indicador nos parece que reflejaría la susceptibilidad de un municipio costero a las inundaciones que pudieran ocurrir al haber más lluvias, o al elevarse el nivel del mar. Hay cinco grupos de estados cuyos extremos son los estados de la península de Yucatán y Tabasco donde toda la costa es una planicie, en parte los estados de Veracruz y Tamaulipas, y en el extremo contrario los estados montañosos de la península de Baja California, Michoacán, Jalisco y Guerrero. Noventa y seis municipios tienen del 90 al 100% de su superficie en la planicie (Medellín en Veracruz es el más plano de todos) y sólo diez tienen menos del 25% de su superficie plana (San Miguel del puerto en Oaxaca es el municipio con menor superficie en la planicie: 12%).

Indicador: Número de aguas marinas interiores por estado (a)

Las aguas marinas interiores fueron elegidas por Escofet (2004) y Espejel y Bermúdez (2009) como un elemento para la regionalización de las costas mexicanas, porque incluyen bahías y lagunas lo que aumenta la superficie marina en contacto con la terrestre. En la lógica del subíndice SIPC esto necesariamente aumenta la peligrosidad de un municipio ante eventos de cambio climático porque en parte, aumentan la superficie terrestre en contacto con el mar, pero también porque en estos cuerpos de agua suceden los procesos costeros más importantes, como es su función como reservorio del caudal de los ríos (el cual aumenta con las lluvias inundando las planicies costeras y acarrea los sedimentos que alimentan las playas arenosas circunvecinas). Este indicador clasifica a los estados en cuatro grupos, cuyos extremos son Veracruz y Baja California Sur con más de 35 cuerpos de agua costeros mientras que Michoacán y Colima tienen diez veces menos entradas de mar (lagunas, esteros, bahías o caletas) o AMI. Los municipios con más AMI son Ensenada, Baja California con 22 y Mulegé, Baja California Sur con 16, le sigue La Paz, Baja California Sur con 9 y luego son 20 municipios abarcando entre 3 y 5 AMI, 113 municipios tienen una o dos y 33 no tienen AMI.

¹ La línea de costa sigue siendo un rasgo fuertemente dependiente de la escala cartográfica (Espejel, 2004; Beer, 1996), cabe mencionar que los datos de longitud de costa fueron calculados a partir de cartografía a escala 1:2500,000 del INEGI, por lo que los datos resultarían superiores a valores que suelen manejarse a nivel nacional por considerar una escala más chica.

SUBÍNDICE DE PELIGROSIDAD CLIMATOLÓGICA (SIPC)

Está compuesto por un sólo indicador pero que es el más utilizado por su evidencia para representar los cambios climáticos en la costa.

Indicador: Frecuencia de eventos meteorológicos (em)

Se refiere al número de veces que un municipio ha sido golpeado por un evento hidrometeorológico en los últimos 150 años (de acuerdo a la base de datos de la NOAA (2005); se consideraron ocho categorías desde baja presión tropical hasta huracán categoría 5, y se ponderaron por las categorías. Resultan tres grupos donde Quintana Roo prevalece como el más afectado con cerca de 1 200 eventos de todo tipo. En el sur del país y Baja California Sur el rango es medio mientras que Chiapas y Baja California son los menos afectados.

Los cinco municipios más afectados con más de 200 eventos son: Othón P. Blanco y Felipe Carrillo Puerto (Quintana Roo), Ahome (Sinaloa), Soto La Marina y San Fernando (Tamaulipas). Diez municipios del Golfo de México y Caribe y dos de Baja California Sur han tenido entre 100 y 195, 22 municipios entre 50 y 99, y solo 15 municipios que no han tenido un sólo evento en la historia registrada o muy pocos (Lerdo de Tejada, Agua Dulce, Pajapan y Puerto de Veracruz (Veracruz); Empalme (Sonora), Santiago Tapextla y Santa María Xadani (Oaxaca); Acaponeta (Nayarit); Benito Juárez (Guerrero), Villa Comaltitlán, Tonalá, Tapachula, Suchiate, Huixtla y Mazatán (Chiapas).

ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SOCIOAMBIENTAL COSTERA (IVSC)

Los estados más vulnerables por su densidad poblacional, marginación y que viven en sitios con costas desprotegidas por haber perdido su vegetación natural costera, son Michoacán, Veracruz, Baja California y Guerrero, aunque Colima, Tamaulipas, Oaxaca y Chiapas están arriba del promedio del IVSC (0.32).

Indicador: Población en el 2005 en la planicie (pob)

Este indicador es con el que podemos medir el efecto “humano” del cambio climático y hacer escenarios del IRC.

Tijuana, Baja California, es el municipio con más población (1 341 842) y le sigue Mexicali, Baja California (855 946) pero las ciudades de estos dos municipios no tienen una gran proporción de su población viviendo junto al mar. En Tijuana, una colonia de toda la población (Playas de Tijuana) es la que realmente aportaría a la vulnerabilidad costera. Le siguen Culiacán en Sinaloa (789 782), Acapulco de Juárez en Guerrero (679 603), Benito Juárez en Quintana Roo (573 316) y Veracruz, Veracruz (511 074) que realmente si son municipios con ciudades costeras. Municipios de 300 a menos de 500 000 habitantes son Matamoros y Tampico (Tamaulipas), Mazatlán y Ahome (Sinaloa), Ensenada (Baja California) y Cajeme (Sonora). Veinticinco municipios tienen entre 100 y 300 000 habitantes, 103 municipios son

de entre 10 000 y 100 000 habitantes y 29 son de menos de 10 000; los menos habitados son San Felipe y Telchac Puerto (Yucatán) con 1 867 y 1 626 respectivamente y San Miguel del Puerto (Oaxaca) con 1 621 habitantes.

Indicador: Densidad poblacional en la planicie (habitantes por km²) (dpob)

Este indicador refleja la vulnerabilidad social en la franja costera y es junto con el anterior que pueden hacerse las proyecciones y los escenarios futuros que interesan en este capítulo. Al analizarlo encontramos que hay tres grupos de estados vulnerables por su densidad poblacional en la planicie (la media de los estados costeros es de 46 habitantes por km² y de 52 la nacional). Guerrero y Colima con el rango alto de 161 y 172 habitantes por km² respectivamente, la mayoría son estados de entre 50 y 125 hab/km² y sólo cinco estados tienen una vulnerabilidad poblacional baja de menos de 30 hab/km² (BCS, Yucatán, Sonora, Campeche, Quintana Roo, Nayarit).

Los municipio más densamente poblados son: Tijuana en Baja California (4 226 hab/km²), Ciudad Madero en Tamaulipas con (4 169 hab/km²), Boca del Río en Veracruz con 3 672.23 hab/km², Tampico (Tamaulipas) con 2 620 hab/km² y Veracruz (Veracruz) con 2 113 hab/km². Coatzacoalcos (Veracruz), Acapulco de Juárez (Guerrero), Puerto Vallarta (Jalisco), Salina Cruz (Oaxaca) y Tapachula (Chiapas), son municipios con ciudades importantes, tienen entre 430 y 970 hab/km². Treinta y seis municipios tienen densidades menores de 20 habitantes por km²: los que sólo tienen de 2 a 4 hab/km² son: San Felipe (Yucatán), Soto La Marina (Tamaulipas), Palizada (Campeche), Caborca (Sonora), Mulegé (Baja California Sur) y Pitiqito en Sonora.

Indicador: Marginación por localidad promedio en la franja estatal (m)

El indicador de vulnerabilidad social que representa la pobreza indica que sólo los estados de la península de Baja California tienen un nivel de marginación medio, el resto caen en el rango de marginación alto, siendo Oaxaca, Guerrero, Michoacán y Chiapas los estados que tienen las poblaciones más vulnerables por su marginación. Los municipios más marginados son: San Felipe, Yucatán; Santo Domingo Armenta, Santiago Tapextla, Santa María Xadani, San Miguel del Puerto, San Mateo del Mar, Santiago Pinotepa Nacional y Santa María Tonameca en Oaxaca; Mecayapan y Pajapan, Veracruz; Cuajinicuilapa, Azoyú, Copala San Marcos y Florencio Villarreal, Guerrero y Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo.

Indicador: Porcentaje de suelo transformado en una franja de 2 km (INF 2000) (st)

La vulnerabilidad ambiental que ha sido ocasionada por haber eliminado en la franja de 2 km ecosistemas y tipos de vegetación claves para la protección costera, se reflejó en cinco grupos: cinco estados del sur de México (Veracruz, Michoacán, Colima, Tabasco y Guerrero) han transformado más del 50% de la franja costera, Nayarit y Chiapas han transformado la tercera

parte de su costa, Jalisco, Oaxaca, Campeche, Tamaulipas, Sinaloa y Baja California entre el 20 y 25% de la costa ha sido transformada y solo cuatro estados (Baja California Sur, Sonora, Yucatán, y Quintana Roo) sólo han transformado menos del 10% de su superficie ya que los proyectos de desarrollo estaban muy concentrada en una ciudad o puerto como sería el caso de la península de California y Quintana Roo (con datos del 2000, antes de los proyectos de ampliación del corredor de Los Cabos y de la Riviera Maya, respectivamente, o más recientemente de Puerto Peñasco en Sonora). Hay 11 municipios que han perdido casi el 100% de su vegetación natural: Mecayapan, Papantla, Nautla, San Andrés Tuxtla, Tatahuicapan de Juárez, Cazonas, Agua Dulce, Catemaco y Pajapan en Veracruz y Coahuayana en Michoacán y San Pedro Huilotepec en Oaxaca. Son 24 municipios que han transformado su suelo del 60 al 89% (la mitad de Veracruz). Otros 18 municipios solo tienen de la mitad al 70% de su vegetación original. Se contabilizaron 25 municipios como los que, a esta escala del trabajo y en la comparación con los otros municipios costeros del país, solo han transformado el 1% o menos de su vegetación, los que se reportan con menores pérdidas son Ixil, Hunucmá, Tantina (Veracruz); Bécum y San Ignacio Río Muerto (Sonora); Santo Domingo Zanatepec (Oaxaca); Rosamorada (Nayarit); Tenabo, Palizada, Hecelchakán y Calkiní en Campeche.

LECCIONES APRENDIDAS

Para responder las preguntas ¿Cuáles serán los efectos y su extensión en las poblaciones costeras mexicanas ante el cambio climático?, ¿Cuáles son las poblaciones costeras con mayor riesgo ahora y que tendría que pasar para que aumente la vulnerabilidad ante el cambio climático en México?, y ¿Cuáles son las proyecciones poblacionales en las regiones con mayor peligrosidad ante efectos del cambio climático? es necesario analizar los datos de crecimiento poblacional proyectado para el 2030 (Partida Bush, 2008), de donde seleccionamos los municipios de las costas mexicanas, y relacionarlo al índice de vulnerabilidad socioambiental.

Gutiérrez-MacGregor y González Sánchez (1999) muestran que la rapidez de crecimiento de la población urbana en las costas ha sido mayor que la total urbana del país y que en las planicies costeras hay 27 ciudades muy grandes y grandes (de 500 mil a menos de un millón y 100 mil a menos 500 mil habitantes respectivamente) y aunque no todas se ubican frente al mar (Seingier *et al*, 2009), en efecto ejercen una presión sobre el territorio costero al aumentar la demanda por casas de veraneo, áreas de recreación en playas o, si son industriales o fronterizas, los puertos juegan un papel importante en el crecimiento poblacional.

Muy impresionante es el crecimiento de las ciudades pequeñas y muy pequeñas (15 mil a menos de 50 mil y 10 mil a menos de 15 mil habitantes respectivamente). Según estos autores, en 1900 se registraron tan sólo nueve localidades de ambos tipos con una población total de 166 915 habitantes y en 1995 ya había 134 ciudades pequeñas y muy pequeñas donde habitaban más de dos millones y medio de habitantes. Entre 1970 y 1995 casi se duplicó tanto la población como el número de ciudades muy pequeñas y pequeñas en las planicies costeras del país.

La tendencia continúa pero no es igual para todos los municipios ya que algunos han decrecido, resultando de la emigración a las ciudades y a Estados Unidos. Según Delgado *et al.* (en prep.), entre 1990 y 2005, 19 municipios costeros mostraron un crecimiento superior al 50% pero 44 muestran un decrecimiento. De estos últimos, en 13 municipios, el decrecimiento fue superior al 10%. Sobresalen situaciones particulares, como el estado de Veracruz, con un decrecimiento poblacional en 19 de sus 29 municipios costeros y cinco de ellos superiores al 10%. Otro caso es Nayarit, en donde cinco de sus siete municipios presentan decrecimiento y Guerrero, con un municipio que decreció en más del 50% de su población. En contraste, se tiene el municipio de Los Cabos (BCS), el cual se encuentra dentro de los cinco estados con mayor índice de riesgo costero, cuyo porcentaje de población aumentó en más de un 250% y el de Benito Juárez en Quintana Roo, con el 200%. Se tienen municipios en otros estados como Santa María Huatulco (Oaxaca), con un crecimiento de 162% y Bahía Banderas (Nayarit), con 110%, cuyo porcentaje en su crecimiento poblacional adquiere relevancia social y económica pero dado los proyectos de desarrollo turístico y nuevas zonas habitacionales, también son focos rojos para atender la planeación para enfrentar el cambio climático.

El crecimiento poblacional costero se torna relevante cuando vemos las cifras que se proyectan para México en el 2030 (Partida Bush, 2008). En el 2005 se contaron 103 946 866 habitantes y se proyecta un crecimiento de 16% para el 2030 para alcanzar una población de aproximadamente 120 928 975 habitantes. Se calcula, que el porcentaje de población en los estados costeros pasará de 35% (en 2005) a 39% en 25 años. Sin embargo, el incremento poblacional de los municipios costeros con respecto a toda la República Mexicana se proyecta en más del doble (pasa de 16% de la población total mexicana a 39%).

Si comparamos la población de los municipios costeros del 2005 con las proyecciones de población para 2030 (Partida Bush, 2008) encontramos tres estados con alto crecimiento: el número de habitantes de los municipios costeros de Quintana Roo se duplicará antes del 2030, mientras que los de Baja California y Baja California Sur casi doblarán su población (121.78 y 68% respectivamente de crecimiento en 2030 con respecto a 2005). Por el otro lado tenemos cuatro estados donde sucede un decrecimiento poblacional. Se proyecta haber perdido en 2030 un habitante de cuatro que vivían en los municipios costeros de Guerrero en 2005. Para Michoacán, Chiapas y Nayarit también se proyecta un decrecimiento con respecto a 2005 de 24, 20 y 12% de la población respectivamente (tabla 2).

Este decrecimiento de los municipios costeros sigue el mismo patrón que la población estatal para los cuatro estados del noroeste, para Colima, Tamaulipas, Veracruz y Quintana Roo, sin embargo vemos algunos casos que se destacan por ser diferentes: Chiapas pierde 20% de su población costera mientras que su estado crece 23%; Nayarit pierde 12% de su población costera mientras que su estado crece 3%; en Guerrero y Oaxaca el decrecimiento poblacional es el doble en los municipios costeros que en todo el estado. Las costas de Jalisco atraen la población, más que su estado en general (35 contra 15% de crecimiento entre 2005 y 2030). Si bien en 2005 la población de los municipios costeros era el 35% de la población de los estados costeros, se proyecta que aumentará en 2030 al 39%).

En la tabla 3 se pueden ver las cifras proyectadas para el 2030 para los municipios con más IRC y menos IRC. Los estados con mayor crecimiento son aquellos que han apostado en el desarrollo de nuevas ciudades costeras cuyo sector es principalmente el turístico y quizás en el futuro habría que considerar también las ciudades que crecen por el sector industrial portuario (Veracruz, Cd. Madero, Manzanillo, y nuevos puertos proyectados como Colonet en Baja California).

Destaca el proyecto de la Riviera Maya, en los municipios de Felipe Carrillo Puerto, uno de los que resultan con mayor IRC, pero que su población está decreciendo; de la misma manera, Boca del Río en Veracruz proyecta un crecimiento basado en construcciones junto al mar, a pesar de haber sufrido inundaciones que hacen más vulnerable a su población. Tijuana tiene uno los porcentajes de crecimiento mayores (93%) no lo discutimos porque la mayor parte de su población no vive junto al mar, pero aun así, las sequías conllevaran incendios y las fuertes lluvias (aunque suceden muy escasas veces) serán torrenciales y los arroyos, donde vive gran parte de la población, seguirán siendo un problema (Bocco *et al.*, 1993). El ejemplo más reciente es Tabasco y el municipio de Centla, uno de los que tienen IRC más elevado y mayor crecimiento proyectado para el 2030 (14%).

Tabla 2. Población (2005, 2030) en los estados costeros
y en los municipios costero en base a proyecciones de Partida Bush (2008).

Estado	Municipios costeros			Estados costeros		
	2005	2030	TC %	2005	2030	TC %
BCS	509 524	831 837	63	509 524	831 837	63
Sonora	1 740 576	2 096 175	20	2 413 074	2 841 311	18
Yucatan	184 288	218 346	18	1 826 750	2 388 286	31
Quintana Roo	1 097 426	2 421 695	121	1 130 652	2 450 833	117
Nayarit	407 203	357 766	-12	958 587	986 329	3
Campeche	611 840	830 938	36	758 987	967 262	27
Jalisco	312 760	422 937	35	6 782 676	7 787 954	15
Tamaulipas	1 237 322	1 481 485	20	3 035 926	3 824 091	26
Oaxaca	579 491	621 517	7	3 553 231	3 397 575	-4
Baja California	2 732 007	4 869 968	78	2 822 478	5 074 986	80
Tabasco	734 783	742 489	1	2 006 277	2 164 863	8
Sinaloa	2 219 973	2 261 494	2	2 632 273	2 608 651	-1
Chiapas	648 414	518 086	-20	4 312 067	5 290 229	23
Colima	262 120	335 461	28	569 727	733 205	29
Michoacan	199 562	150 784	-24	4 016 934	3 533 061	-12
Guerrero	1 159 512	861 179	-26	3 154 988	2 883 660	-9
Veracruz	2 197 521	2 256 588	3	7 201 126	7 362 776	2
Total:	16 834 322	21 278 745		47 685 277	55 126 909	

Tabla 3. Para cada estado, municipios con valores extremos del Índice de Riesgo.

Estado (numero de municipios costeros)	Municipio con IR mas alto				Municipio con IR mas bajo					
	Valor del IR	Nombre del municipio	Ciudad mas importante en el municipio (población 2005)	Población en la planicie en 2005 en el municipio	Población en la planicie en 2030	Valor del IR	Nombre del municipio	Ciudad mas importante (población 2005)	Población en la planicie en 2005	Población en la planicie en 2030
Tamaulipas (7)	0.87	Ciudad Madero	Ciudad Madero (193 045)	193 045	199 194	0.51	Altamira	Cuauhtémoc (5 496)	162 626	304 529
Quintana R. (7)	1.00	F. Carrillo Puerto	Felipe Carrillo Puerto (21 530).	65 373	62 339	0.44	Cozumel	Cozumel (71 401)	73 156	114 783
Veracruz (32)	0.98	Boca del Río	Veracruz (129 416).	141 748	150 065	0.29	Actopan	Actopan (3 898)	22 033	13 573
BC (4)	0.92	Tijuana	Tijuana (1 286 187)	1 341 842	2 585 601	0.27	Playas de Rosarito	Amp. Ejido Plan Libertador (4 938)	68 233	196 303
Tabasco (5)	0.83	Centla	Frontera (21 810)	90 946	103 879	0.48	Comalcalco	Comalcalco (39 865)	174 841	189 418
Campeche (7)	0.98	Carmen	Ciudad del Carmen (154 197).	199 897	329 729	0.38	Tenabo	Tenabo (6 934)	9 049	11 022
Michoacán (3)	0.66	Lázaro Cárdenas	Ciudad Lázaro Cárdenas (74 884)	161 626	123 339	0.42	Aquila	Aquila (1 689)	12 175	11 094
Sinaloa (10)	1.00	Ahome	Los Mochis (231 977)	390 544	487 957	0.25	San Ignacio	San Ignacio (4 591)	17 770	11 019
BCS (5)	0.98	Mulegé	Guerrero Negro (11 894).	49 765	67 764	0.17	Cabos, Los	Cabo San Lucas (56 811)	161 328	435 935
Guerrero (12)	0.74	Acapulco de Juárez	Acapulco (616 394)	679 603	522 657	0.49	Coyuca de Benítez	Bajos del Ejido (5 689)	49 575	39 558
Colima (3)	0.69	Tecomán	Tecomán (76 166)	98 068	94 304	0.35	Manzanillo	Manzanillo (110 728)	133 233	219 062
Oaxaca (25)	0.71	San Mateo del Mar	San Mateo del Mar (5 291)	12 671	25 001	0.15	San Miguel del Puerto	Barra Copalita (1 376)	1 621	1 015
Chiapas (10)	0.55	Acapetahua	Acapetahua (5 375)	24 028	15 109	0.37	Villa Comaltitlán	Villa Comaltitlán (7 972)	23 269	18 087
Yucatán (13)	0.60	Tizimin	Tizimin (44 151)	67 835	95 838	0.29	Dzidzantún	Dzidzantún (8 119)	8 167	8 564
Nayarit (8)	0.57	Tuxpan	Tuxpan (20 561)	29 182	13 833	0.17	Acaponeta	Acaponeta (18 066)	32 983	26 588
Jalisco (5)	0.40	Tomatlán	Tomatlán (7 899)	29 256	18 041	0.21	Cabo Corrientes	Yelapa (715)	2 664	2 410
Sonora (13)	0.50	Huatabampo	Huatabampo (29 276)	74 559	60 280	0.00	Pitiquito	Puerto Libertad (2 823)	3 087	2 793

Los municipios de Solidaridad y Benito Juárez en Quintana Roo tienen proyectado un crecimiento impresionante (425 y 125 respectivamente), es posible que éste no sea así dado que el proyecto Cancún está en fase de cambio, donde se estabiliza el turismo y se construye otro modelo que es para residencias de segundo hogar que generan menos calidad social (Hiernaux-Nicolas, 2005).

De los 38 municipios costeros que están decreciendo 10% son de Veracruz, uno de los estados con más IRC del país, ¿será que el IRC se revierta a favor de un estado más sustentable? Habrá que analizar qué pasa con Papantla (Veracruz) donde la proyección es decreciente (37%, el penúltimo en decrecer), y es también el segundo de los que más vegetación natural transformó (99.9%) aunque es un municipio con poca costa (11 km) ¿se recuperará la vegetación porque se fue la gente?, si se recupera, ¿disminuirá su IRC?

A pesar de que el gobierno mexicano gastó casi todos sus fondos de atención a desastres en Cancún después del huracán Wilma y otro tanto en el sureste por lo daños causados por el huracán Stan (Colmex, 2007) y recientemente en Tabasco y Veracruz, se insiste en desarrollar las costas con modelos idénticos de construcción tanto de nuevas y largas ciudades turístico-residenciales con frente de mar y enormes puertos de carga en ciudades industriales. Por lo tanto, no se proyecta un escenario futuro diferente, de hecho será peor, ya que aumentará la población vulnerable a los efectos del cambio climático la cual vivirá en sitios peligrosos por lo que habrá más municipios con mayores índices de riesgo costero.

FUTURO

La estrategia nacional para el cambio climático ya existe, de aplicarla, propiciaría que no se incrementemente el número de municipios con riesgos ante eventos de cambio climático. Sin embargo, si se consultan las páginas del sector los desarrollos programados no son diferentes de Cancún, Nuevo Vallarta, Los Cabos, etc.

Es importante que en la estructura institucional, se le dé prioridad a los municipios costeros. Muchos municipios han idealizado Cancún y promueven el desarrollo costero repitiendo los mismos errores. Parece que las lecciones que dejó Wilma en su paso por Cancún o el Stan en Chiapas y Oaxaca, no se aprendieron. Es improbable que el país sea capaz de solucionar en el futuro los problemas de cada uno de los municipios que aparecen con alto riesgo costero, sin un cambio en el paradigma de un crecimiento basado en lo económico y no en lo social y ambiental integradamente. Un mapa de riesgo costero se ha planteado como una necesidad urgente (Colmex, 2007), este capítulo hace una propuesta de riesgo costero acotada a los estados prioritarios marcando las prioridades de unos sobre otros en materia de *amenazas hidrometeorológicas y su capacidad de respuesta o adaptación al cambio*.

Es importante que la asociación de municipios costeros conozca el diagnóstico actual del país y que se construyan alianzas entre aquellos que comparten prioridades de riesgo costero y que se difundan las lecciones aprendidas.

Es urgente diseñar y actualizar los ordenamientos costeros del país ya que son el instrumento preventivo con el que cuenta México para hacer frente a los impactos previsibles del cambio climático. Un mapa de riesgo como el que aquí se presenta podría ser la base de un ordenamiento costero nacional.

Surge la necesidad de incorporar la Evaluación Ambiental Estratégica para planes y programas sectoriales, especialmente los de turismo costero, donde se visualicen escenarios específicos que consideren los efectos previsibles del cambio climático.

Si se están construyendo más municipios en riesgo costero, es importante revisar las políticas y prioridades de asignación del gasto público para enfatizar la prevención, no sólo medidas de comando y control. Es posible que al visualizar el tamaño de estos gastos se propicien más acciones preventivas que reduzcan la vulnerabilidad y disminuyan el riesgo y se generen estrategias de adaptación en los planes de desarrollo regional, estatal y municipal.

Por último, es importante aprender del error. En muchos países, además de México, se tienen cientos de lecciones aprendidas. Para esto, es de suma importancia el diseño de una estrategia de comunicación y educación para generar acciones preventivas y correctivas.

Si se mira fríamente, el mapa de riesgo costero todavía no muestra un país con una gran proporción en riesgo costero, pero es urgente cambiar los paradigmas del desarrollo costero para que no lo transformemos en uno.

LITERATURA CITADA

- Bird, E.C.F., 1993. Submerging coasts: the effects of a rising sea level on coastal environments. John Wiley & Sons, Chichester.
- Bocco, G., R. Sánchez, y H. Riemann, 1993. Evaluación del impacto de las inundaciones en Tijuana. Uso integrado de Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota. *Frontera Norte*, 10: 53-83
- Cardona, O., 1993. Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo, elementos para el ordenamiento y la planeación del desarrollo. p. 51-74. En: A. Maskrey (ed.). Los Desastres no Son Naturales, La Red de Estudios Sociales, Bogotá.
- Cazenave, A. y R.S. Nerem, 2004. Present-day sea level change: observations and causes. *Reviews of Geophysics*. 42:1-20
- Cendrero, A., 1997. Riesgos naturales e impacto ambiental. p. 23-84. En: Fundación Universidad-Empresa (ed.). La interpretación de la problemática ambiental, enfoques básicos II. Madrid.
- Church, J.A. y N.J. White, 2006. A 20th century acceleration in global sea-level rise. *Geophysical research letters*, 33:1-4.
- Colmex- Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales Programa de Estudios Avanzados en Desarrollo Sustentable y Medio Ambiente (LEAD-México), 2007. Evaluación del fondo de desastres naturales (FONDEN) en el ejercicio 2006. Reporte técnico a SEGOB. http://www.gobernacion.gob.mx/FONDENDocs/RESUMEN_EJECUTIVO_2006.pdf
- Cooper, J.A.G. y O.H. Pilkey, 2004. Sea-Level rise and shoreline retreat: time to abandon the Bruun Rule. *Global and Planetary Chang*, 43:157-171

- Delgado-González, O.E., J.A. Jiménez, I. Espejel, J.L. Ferman-Almada, A. Martínez-Díaz de León, A. Mejía-Trejo, y G. Seingier, G. (en prep.). Mexican coasts aquacultural potencial.
- Escofet, A., 2004. Aproximación conceptual y operativa para el análisis de la zona costera de México: un enfoque sistémico-paisajístico de multiescala. Tesis de doctorado. UABC. 276 p.
- Espejel, I., y R. Bermúdez, 2009. Propuesta para la regionalización de los mares mexicanos. En: A. Córdova, F. Rosete V., G. Enríquez Hernández y B. Fernández de la Torre (eds). 2006. Planeación Territorial. Ordenamiento Ecológico Marino. Visión Temática de la Regionalización. Semarnat-INE, México.
- Gornitz, V., S. Couch, y E.K. Harting, 2002. Impacts of sea level rise in the New York City metropolitan area. *Global Planet Change*, 32:61-88.
- Gutiérrez de MacGregor, M.T. y J. González Sánchez, 1999. Las costas mexicanas y su crecimiento urbano. *Investigaciones Geográficas*, 40: 110-126.
- Hiernaux-Nicolas D., 2005. La promoción inmobiliaria y el turismo residencial: el caso mexicano. *Scripta Nova. Revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, IX(194): (05). <http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-194-05.htm>
- INEGI, 2006. II Censo de Población y vivienda. Resultados definitivos 2006.
- IPCC, 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I,II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC, Ginebra, Suiza 104.
- Komar, P., 1998. Beach processes and sedimentation (second ed.). Upper Saddle River, Prentice Hall.
- Leatherman, S.P., K. Zhang, y B.C. Douglas, 2000. Sea-Level rise shown to drive coastal erosion. *EOS*, 81:55-57.
- Leatherman, S.P., 2001. Social and economic costs of sea level rise. p. 181-223. In: B.C. Douglas, M.S. Kearney, and S.P. Leatherman (eds.), Sea-Level Rise, History and Consequences: International Geophysics Series, vol. 75. Academic Press, NY.
- León C., 2004. Piezas de un rompecabezas: dimensión socioeconómica de las costas de México. p. 5-26. En: E. Rivera-Arriaga, G.J. Villalobos, I. Azuz, y F. Rosado May 8eds.). El Manejo Costero en México. México: Centro EPOMEX-Universidad Autónoma de Campeche. Semarnat. Cetys-Universidad. 654 p.
- Leuliette, E.W., R.S. Nerem, y G.T. Mitchum, 2004. Results of TOPEX/Poseidon and Jason-1 calibration to construct a continuous record of mean sea level. *Marine Geodesy*, 27(12): 79-94.
- McGranahan, G., D. Balk, y B. Anderson, 2007. The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. *Environment & Urbanization*, 19(1): 17-37.
- Martínez M.L., J.B. Gallego-Fernández, J.G. García-Franco, C. Moctezuma, y C. Jiménez, 2006. Assessment of coastal dune vulnerability to natural and anthropogenic Disturbances along the Gulf of Mexico. *Environmental Conservation*, 33(2): 109-117.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 2005. Historical North Atlantic and East-Central North Pacific Tropical Cyclone Tracks, 1851-2004. NOAA's Ocean Service, Coastal Services Center (CSC). Online: http://www.csc.noaa.gov/hurricane_tracks
- Nerem, R.S. y G.T. Mitchum, 2001. Observations of sea level change from satellite altimetry. p. 121-163. In: B.C. Douglas, M.S. Kearney and S.P. Leatherman (eds.). Sea Level Rise: History and Consequences. Academic, San Diego, Calif. .

- Nicholls, R. J. y S.P. Leatherman, 1996. Adapting to sea level rise: Relative sea-level trends to 2100 for the United States. *Coastal Management* (24): 301-324.
- Ortiz, M.A. y A.P. Méndez, 1999. Escenarios de vulnerabilidad por ascenso del nivel del mar en la costa mexicana del Golfo de México y el Mar Caribe. *Investigaciones Geográficas*, 68-81.
- Partida Bush, V., 2008. Proyecciones de la población de México, de las entidades federativas, de los municipios y de las localidades 2005-2050 (Documento Metodológico). Consejo Nacional de Población. Primera edición.
- Pérez Villegas, G., y E. Arrascal, 2000. El desarrollo turístico en Cancún, Quintana Roo y sus consecuencias sobre la cubierta vegetal. *Investigaciones Geográficas*, 43: 145.166.
- Romero, G. y A. Maskrey, 1993. Como entender los desastres naturales. p. 1-8. En: Andrew Maskrey (eds.). Los desastres no son naturales. La Red de estudios sociales. Primera edición. Bogotá.
- Seingier, G., I. Espejel, I. y J.L. Ferman, 2009. Cobertura vegetal y marginación en la costa mexicana. Investigación ambiental. *Ciencia y política pública*. [Online] 1:1.
- Semarnat-INE, 2006. Hacia una Estrategia Nacional de Acción Climática. 2006. Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. [http://www.semarnat.gob.mx/ queessemarnat/politica_ambiental/cambioclimatico/Pages/estrategia.aspx](http://www.semarnat.gob.mx/queessemarnat/politica_ambiental/cambioclimatico/Pages/estrategia.aspx)
- Semarnat, 2007a. Estrategia nacional de cambio climático. Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. Secretariado Técnico de la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático; http://www.semarnat.gob.mx/queessemarnat/politica_ambiental/cambioclimatico/Pages/estrategia.aspx
- Semarnat, 2007b. Estrategia Nacional para el Ordenamiento Ecológico del Territorio en Mares y Costas. Colección Legal. Semarnat. 33 p.
- UNDRO, 1979. Natural Disasters and Vulnerability Analysis. Report of Experts Group Meeting, Geneva, July.
- Varnes, D. J., 1984. Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. Natural Hazards 3, UNESCO Press. Paris. 64 p.
- Wilches Chaux, G., 1993. La vulnerabilidad global. p. 9-50. En: A. Maskrey (ed.). Los Desastres no Son Naturales. La Red de Estudios Sociales, Bogotá.
- World Bank, 2009. <http://econ.worldbank.org/wbsite/external/extdec/extresearch/xtwdrs/extwdr2010/0,,menupk:5287748~pagepk:64167702~pipk:64167676~theSitepk:5287741,00.htm>

Bezaury-Creel, J.E., 2010. Las áreas naturales protegidas costeras y marinas de México ante el cambio climático. p. 689-736. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual y G.J. Villalobos-Zapata (eds.). Cambio Climático en México un Enfoque Costero-Marino. Universidad Autónoma de Campeche, CETYS-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche. 944 p.

CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO UN ENFOQUE COSTERO Y MARINO

Habitantes y patrimonio

Las Áreas Naturales Protegidas costeras y marinas de México ante el cambio climático

Juan E. Bezaury-Creel

RESUMEN

Las áreas naturales protegida constituyen actualmente la principal estrategia del Estado mexicano para intentar conservar y al mismo tiempo aprovechar la megadiversidad biológica existente en el país, no obstante que su persistencia a largo plazo dependerá de la capacidad social para lograr que estos territorios continúen aportando bienes y servicios a todos los mexicanos y que en paralelo, logremos inculcar un sentido de apreciación de estos valores en la sociedad mexicana. Los retos para lograr la conservación de la biodiversidad costera y marina, derivados de la incertidumbre de los efectos que el cambio climático global provocará, tanto en la ubicación futura de los ecosistemas y hábitats en el país, como en cuanto a los nuevos patrones de distribución de las especies, necesariamente repercutirán en una nueva conceptualización más dinámica de las áreas naturales protegidas. Por lo tanto, estas áreas tendrán que ser capaces de evolucionar tanto políticamente, como social y económicamente, requiriéndose de un cambio paradigmático en cuanto a su función y en las prácticas relativas a su gestión, manejo y gobernanza. Los conceptos tradicionales sobre la propiedad pública y la privada/social en el contexto de la franja costera serán puestos a prueba como resultado de la invasión de las aguas marinas a lo largo de la costa, por lo que a corto plazo se requerirá tanto de la imposición de restricciones efectivas para evitar la inversión a lo largo de la franja costera, como de la adopción de una definición legal más clara y precisa de las aguas de propiedad nacional y de la Zona Federal Marítimo Terrestre, con respecto a la propiedad privada y social costera. Sin afán de desestimar los posibles beneficios que las áreas naturales protegidas

costeras y marinas pueden representar en la mitigación del cambio climático global, solo si somos capaces de lograr que estos espacios continúen proporcionando bienes y servicios directos a los mexicanos y que el valor de estos sea socialmente reconocido, especialmente aquellos relacionados con la adaptación ecosistémica al cambio climático para los asentamientos humanos costeros, se logrará que estas áreas sigan vigentes en el siglo XXII.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático no es algo nuevo en el planeta tierra, sino un fenómeno que se ha venido repitiéndose cíclicamente a lo largo de millones de años. Sin embargo y a diferencia de los sucesos previos, el evento de cambio climático al que inevitablemente nos enfrentaremos a lo largo del siglo XXI, será por primera vez resultado directo de las actividades humanas y no producto de procesos naturales o de sucesos catastróficos casuísticos¹.

Una amplia gama de publicaciones científicas nos indican que el cambio climático es ya una realidad ineludible y que la integridad de los ecosistemas actualmente está siendo afectada como consecuencia de este fenómeno. La capacidad de los ecosistemas de persistir ante el cambio o sea su resistencia, así como su capacidad para recuperarse de estos cambios, o lo que es lo mismo su resiliencia, se verán comprometidas tanto por la velocidad a la que se avanzará el cambio climático, como por las sinergias negativas que tendrá con otra gran variedad de presiones artificiales que en estos momentos imponemos sobre ecosistemas y especies, tales como: su fragmentación funcional, la presencia de contaminantes y de nutrientes, regímenes hidrológicos alterados, la acidificación de las aguas marinas, la presencia de especies exóticas invasoras y muchos más derivados directamente de las actividades humanas.

De acuerdo a lo planteado por Dudley (2003), los principales efectos que provocará cambio climático global sobre los ecosistemas, se reflejarán en:

- La desaparición de hábitats y ecosistemas, aspecto que puede considerarse como el efecto más nocivo del fenómeno de cambio climático. Las zonas costeras que serán inundadas por el aumento del nivel del mar representa un ejemplo de este efecto.
- Cambios catastróficos y muy probablemente definitivos en los ecosistemas, pues no obstante que la mayor parte de los hábitats y ecosistemas no desaparecerán, estos podrán presentar serios e irreversibles cambios en su estructura y funcionamiento. El aumento de la temperatura superficial de los mares tropicales del año 1998 y el extenso fenómeno de blanqueamiento de corales resultante de este fenómeno, es probablemente un ejemplo de esta situación.

¹Resulta paradójico que nuestra antropocéntrica concepción de que todo lo humano es “racional”, aparentemente evita el que podamos conceptualizar los resultados de nuestra actuación colectiva como un evento meramente casuístico. Sin embargo la lógica económica en que estamos inmersos, ineludiblemente nos ha conducido a provocar el actual evento de cambio climático - nuevamente la tragedia de los comunes planteada por Harding, pero ahora al extremo de comprometer seriamente nuestra sobrevivencia - y por lo tanto esta lógica lo convierte efectivamente en un evento netamente casuístico en términos de la evolución de la vida en el planeta tierra

- Cambios catastróficos temporales en los ecosistemas, mismos que podrán resultar ser solo eventuales, aunque resulta difícil establecer la línea entre estos y los cambios definitivos. Los impactos de las sequías cíclicas representan un ejemplo de este tipo de efecto.
- Cambios individuales en las especies y las cadenas alimenticias, los cambios rápidos en la temperatura y precipitación alteran la fenología de las especies, alterando ciclos estacionales que pueden evitar por ejemplo la sincronización entre la época de reproducción de una especie y la disponibilidad de otra especie que utiliza como alimento o refugio.

El cambio climático global también provocará el profundos cambios en los patrones de distribución de muchas especies, mismos que en términos generales pueden caracterizarse bajo los siguientes escenarios (Mohr, 2008):

- Reubicación del rango de distribución, en el caso de aquellas especies capaces migrar relativamente rápido ante el cambio climático logrando así mantener un rango de distribución de igual magnitud, migrando a lo largo de gradientes latitudinales (en México hacia el norte) o altitudinales/batimétricos (montaña arriba o hacia aguas más profundas) sobre zonas con una afectación antrópica limitada.
- Incremento del rango de distribución, para las especies que se ven favorecidas por las nuevas condiciones climáticas (en este caso para México más calientes o más secas) o especies generalistas, muchas veces especies invasoras.
- Reducción del rango de distribución de las especies con bajo potencial de migración o dispersión y/o debido a la disminución del tamaño de las áreas con condiciones climáticas propicias.
- Eliminación del rango de distribución de las especies, debido a la presencia de barreras para su migración, a la falta de capacidad de dispersión y/o a la falta de áreas con condiciones climáticas propicias. Este escenario se asocia principalmente con especies árticas, alpinas e insulares o con especies dependientes de áreas alteradas.
- Sin cambios en el rango de distribución. En este caso las especies mantienen su rango normal, cuando la magnitud del cambio climático es insuficiente para inducir una migración o como en el caso de la biota de los suelos, la cual generalmente presenta una amplia gama en cuanto a la temperatura en donde se desarrolla.

Ante el fenómeno de cambio climático, las áreas naturales protegidas costeras y marinas pueden resultar ser una herramienta eficaz para: (CRC-URI y IRG, 2009)

- El mantenimiento de hábitats arrecifales y manglares capaces de amortiguar diversos impactos costeros.
- El mantenimiento de la productividad de las pesquerías a través de la protección de comunidades coralinas, de mangles y de pastos marinos sanas.
- Funcionar como refugios y fuentes de provisión de larvas para recolonización después de los eventos de blanqueamiento coralino o debido a la modificación de los rangos de distribución de las especies.

- Proveer de espacios para la migración de los hábitats hacia tierra adentro o a lo largo de la costa derivados del aumento del nivel del mar y de la temperatura.

Nuevos retos para la conservación de la biodiversidad y de los bienes y servicios que proveen a la sociedad resultantes de los efectos del cambio climático global, se derivarán tanto de cambios en la ubicación de los ecosistemas en el territorio, como de los nuevos patrones de distribución de las diferentes especies. En este sentido las áreas naturales protegidas tendrán que ser capaces de evolucionar tanto en lo político y lo social, como hacia un manejo territorial más dinámico que el que ahora es permitido por sus límites rígidos. Esto tendrá como consecuencia un cambio de paradigma en cuanto a la conceptualización actual de su función y de las prácticas relativas a su manejo, gestión y gobernanza. Actualmente las áreas naturales protegida constituyen la principal estrategia del Estado mexicano, para intentar conservar y al mismo tiempo aprovechar la megadiversidad biológica presente en el país, sin embargo, su permanencia a largo plazo dependerá de nuestra capacidad de lograr que estos territorios continúen aportando bienes y servicios a todos los mexicanos y que en paralelo, logremos inculcar un sentido de apreciación de estos valores en la sociedad mexicana. Como todos los bienes de carácter intergeneracional (Lowry, 1998), las áreas naturales protegidas de México solo serán capaces de sobrevivir a los múltiples cuestionamientos sobre su existencia que serán planteados a lo largo del siglo XXI, si los mexicanos somos capaces de valorarlas como territorios que generan beneficios claros e importantes para la sociedad en conjunto y por ende exigir que el Estado se responsabilice de su conservación efectiva.

ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS COSTERAS Y MARINAS DE MÉXICO

Las áreas naturales protegidas costeras y marinas de México, incluyen a 93 de los 551 sitios que actualmente cuentan con un instrumento legal vigente a nivel federal, estatal o municipal (hasta 10/10/2010). Con una superficie total de 14 351 198 hectáreas, las áreas naturales protegidas costeras y marinas constituyen el 58% de la superficie total de las áreas protegidas gubernamentales existentes en el país. Solo 41 áreas naturales protegidas comprenden ecosistemas marinos abarcando una superficie de 4 930 655 hectáreas y entre todas cubriendo una superficie total de 9 420 542 hectáreas de ecosistemas costeros que representan el 4.8% de la superficie terrestre e insular de la República Mexicana (tablas 1 y 2).

Las 4 930 655 hectáreas de aguas marinas incluidas dentro de las áreas naturales protegidas federales y estatales, representan el 15% de la superficie de su mar territorial, el 20% de las aguas interiores del Golfo de California, el 0.16% de su Zona Económica Exclusiva y el 7% de su plataforma continental (tabla 3).

Tabla 1. Superficie de las áreas naturales protegidas terrestres y marinas de México.

Áreas Naturales Protegidas con instrumento jurídico vigente en México	Numero total de ANP	No. de ANP costeras y marinas	%	Superficie total (ha.)	Superficie terrestre o costera ha.	%	Superficie marina (ha.)	%
ANP federales (Bezaury <i>et al.</i> , 2009 actualizado a 10/2010)	170	66	39	21 313 137	16 489 740	77	4 823 397	23
ANP estatales (Bezaury <i>et al.</i> , 2007 actualizado a 10/2010)	282	25	9	3 419 865	3 312 606	93	107 259	7
ANP municipales (Bezaury <i>et al.</i> , 2007 actualizado a 10/2010)	99	2	2	167 463	167 463	100	0	0
Total ANP	551	93	17	24 900 464	19 969 808	270	4 930 655	30

Nota: La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp) administra adicionalmente cuatro áreas de protección de recursos naturales, correspondientes a porciones de las Cuencas de Alimentación de las Obras de Irrigación de los Distritos Nacionales de Riego decretadas el 3 de agosto de 1949 y recategorizadas el 7 de noviembre de 2002, mismas que a la fecha ya han sido delimitadas y se encuentran en proceso de ser notificadas oficialmente. En este sentido la superficie total manejada por la Conanp incluye **25 384 818** ha.

Tabla 2. Tipos de ambientes presentes en las áreas naturales protegidas costeras y marinas de México.

Ecosistema	Ambiente	Federales		Estatales		Municipales		Total	
		No. ANP	%	No. ANP	%	No. ANP	%	No. ANP	%
Marino	Marino	32	49	8	35	-	-	40	43
	Marino Profundo (Excluye aguas marinas superficiales)	1	2	-	-	-	-	1	1
Costero	Lagunas Costeras	19	29	17	74	2	100	38	41
	Vegetación Inundable	28	43	20	87	2	100	50	54
	Terrenos Costeros	55	85	18	78	1	50	74	80
	Tierras Altas	27	42	15	65	1	50	43	46
Número total de ANP		66	100	25	100	2	100	93	100

PRINCIPALES PRESIONES DERIVADAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO QUE AFECTAN LOS ECOSISTEMAS COSTEROS Y MARINOS DE MÉXICO

Los ecosistemas costeros y marinos se encuentran actualmente directa e indirectamente sujetos a una multiplicidad de presiones derivadas de las actividades humanas. Resulta evidente que el cambio climático global y los impactos directos sobre los ecosistemas costeros y marinos, entre los que destacan el incremento del nivel del mar y de su temperatura, la acidificación de las aguas marinas, así como el incremento en la frecuencia e intensidad de los fenómenos

Tabla 3. Superficie de las áreas naturales protegidas marinas por zona

Aguas Marinas Mexicanas	Superficie de las Aguas Marinas Mexicanas en ha	Superficie ANP federales	%	Superficie ANP estatales	%	Superficie total ANP en ha	%
Mar Territorial (Bezaury y Torres, 2010a)	23 300 377	3 400 106	14.59	106 668	0.5	3 506 774	15.05
Aguas Interiores del Golfo de California (Bezaury y Torres, 2010a)	4 853 742	972 785	20.04	-	0.0	972 785	20.04
Zona Económica Exclusiva (Bezaury <i>et al.</i> , 2010a)	285 337 841	450 505	0.16	591	0.0	451 096	0.16
Total	313 491 593	4 823 397	1.54	107 259	0.0	4 930 655	1.57
Sobre la Plataforma Continental (-200 m) (Bezaury y Torres, 2010b)	40 283 459	2 779 509	6.90	107 259	0.3	2 886 768	7.17
Afuera de la Plataforma Continental (+200 m) (Bezaury y Torres, 2010b)	273 207 766	2 043 888	0.75	-	0.0	2 043 888	0.75
Total	313 491 593	4 823 397	1.54	107 259	0.0	4 930 655	1.57
Aguas Interiores de la Bahía de Chetumal (Bezaury <i>et al.</i> , 2010b)	136,889	-	0.00	130,680	95.5	130,680	95.46

Notas: La superficie de las aguas marinas mexicanas, utiliza la Línea de Costa en el MGM 4.1 (INEGI, 2009a, Modificada por Bezaury y Torres 2010c) y la superficie de las áreas naturales protegidas conforme a la Línea de Costa en el MGM 1.0 (INEGI, 2005). Los totales de la superficie de las aguas marinas mexicanas utilizan el promedio de la superficie SIG

meteorológicos extremos, provocarán impactos significativos tanto sobre la integridad de estos ecosistemas, como sobre el bienestar de la población humana asentada a lo largo de las costas del planeta y sus bienes. Sin embargo y desafortunadamente, la evidencia científica resulta ser aún poco precisa en cuanto a la magnitud precisa y la localización geográfica exacta de los impactos que tendrá el cambio climático, situación que ha sido aprovechada por algunos sectores e intereses para evitar la adopción inmediata de las medidas necesarias para mitigar y adaptarse ante este ineludible cambio.

La mitigación involucra la implementación de políticas que resultan en una reducción de la emisión de los gases que producen el efecto de invernadero, o el fomento de los sumideros de estos gases (Metz *et al.*, 2007). Por otro lado, la adaptación comprende a los ajustes que se realizan sobre sistemas naturales o humanos y que se implementan como respuesta a los estímulos climáticos actuales o previstos, así como de sus efectos, para moderar los daños o aprovechar las oportunidades benéficas (IPCC, 2007).

Sin tratar de minimizar la importancia y los efectos de las alteraciones a los ecosistemas costeros y marinos derivadas de fenómenos cíclicos que a partir de los últimos 150 años hemos considerado como “naturales”. Es ineludible considerar que los impactos resultantes del crecimiento exponencial de las presiones que cotidianamente ejercemos sobre estos frágiles sistemas naturales, reducirán en un futuro cercano el valor de los bienes y servicios que estos ecosistemas brindan a la sociedad, dentro de un lapso de tiempo comprendido en términos de una generación humana (+/- 25 años). Estas presiones se derivan actualmente: de esquemas

de aprovechamientos pesqueros sobrecapitalizados, promovidos por el propio Estado y planteados primordialmente como soluciones a corto plazo a presiones sociales recurrentes; de la política turística con una visión orientada exclusivamente a buscar atraer inversión a cualquier costo, no obstante que como resultado se termine fomentando el desarrollo de proyectos turístico costeros que no son económico y socialmente viables a largo plazo para la sociedad nacional; y, de la aportación de nutrientes y contaminantes resultantes de un amplio conjunto de actividades humanas que se desarrollan a lo largo y ancho del país y que finalmente repercuten sobre la integridad de los ambientes marinos y costeros, debido a que el flujo de las aguas desemboca en los océanos, provocando su degradación paulatina, constante y persistente.

Ante esta compleja situación, las áreas naturales protegidas no necesariamente serán la herramienta más idónea para disminuir la mayor parte de los impactos derivados de las presiones externas y por lo tanto su resolución tendrá necesariamente que ser abordada a través del uso de otros instrumentos de la política pública. No obstante, siempre y cuando las áreas naturales protegidas sean manejadas adecuadamente y en cuanto seamos capaces de reducir a un mínimo los impactos directos derivados de las actividades humanas que se realizan adentro de ellas, pueden representar un importante elemento de la estrategia nacional de adaptación al cambio climático y el consecuente mantenimiento de los bienes y servicios que estas áreas proveen a la sociedad.

En México la mayor parte de los ecosistemas costeros se distribuyen en una estrecha franja a lo largo del perímetro continental y por lo tanto son ecosistemas relativamente escasos (tabla 4), si comparamos su extensión contra la mayor parte de los ecosistemas que se presentan al interior del continente o en los océanos.

Tabla 4. Escasez Relativa de los Ecosistemas Costeros en México

Ecosistemas	Superficie (ha)	% de la superficie total del País	Fuente
Arrecifes y comunidades coralinas	178 000	0.06	Spalding <i>et al.</i> , 2001
Humedales Costeros* (incluye tular, popal, vegetación halófila hidrófila y vegetación de petén)	1 468 682	0.75	INEGI, 2009b
Manglares*	770 057	0.39	Conabio, 2008
Vegetación de dunas costeras	140 706	0.07	Semarnap, 2000
Islas Marinas (continentales y oceánicas)	549 865	0.28	Conabio, 2007
Islas Interiores (en zonas costeras)	170 150	0.09	Conabio, 2007
Total	3 277 460	0.64	

Nota: Arrecifes y comunidades coralinas: % de la superficie total de las aguas marinas mexicanas, los demás ecosistemas: % de la superficie terrestre e insular de México. Total: % de la suma de las aguas marinas mexicanas mas la superficie terrestre e insular.

* INEGI (1984) indica un total de 1 567 300 ha de humedales costeros que representan el 0.8% de la superficie total del país. Semarnap en el Inventario Forestal Nacional 2000 indica un total de 2 082 584 ha para la vegetación hidrófila (incluye manglar, popal-tular y vegetación de galería), lo que representa el 1.07% de la superficie total del país (Palacio-Prieto *et al.*, 2000). La Serie IV de INEGI (2009b) indica un total de 2 414 522 ha para la vegetación hidrófila en humedales costeros, incluyendo además de lo indicado en la tabla 945 840 ha de manglar.

No obstante su relativa escasez, una función clave de los hábitats costeros provistos de vegetación para mitigar el cambio climático, es el papel que juegan como sumideros de carbono orgánico a muy largo plazo. El carbono capturado en estos hábitats es enterrado en los sedimentos provenientes de los manglares, marismas salobres y pastos marinos, por lo que permanece almacenado por milenios, a diferencia del carbono capturado por la vegetación terrestre que permanece almacenado solamente por décadas o siglos (Nellemann *et al.*, 2009). El valor de este servicio ecosistémico deberá ser considerado en los futuros mercados de carbono que se establecerán en el contexto de las negociaciones Post-Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, como un equivalente costero y marino de REDD (Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación) en función de los beneficios que de la conservación de estos hábitats marinos y costeros se obtendrá como resultado de su capacidad de mitigar emisiones de CO₂ (tabla 5).

Ante los inminentes efectos negativos que el cambio climático global provocará en las comunidades costeras y marinas mexicanas y como un componente de la estrategia de adaptación, es conveniente adoptar el principio precautorio, e incluir bajo la cobertura de algún instrumento de protección formal a la mayor parte de los ecosistemas costeros de distribución escasa. Esta estrategia, deberá contemplar tanto el régimen de áreas naturales protegidas, como la aplicación de otros instrumentos de la política ambiental y de acción social que favorezcan la aplicación de las prácticas de manejo y protección conducentes a su conservación y al mantenimiento de sus funciones ecológicas a largo plazo.

Tabla 5. Carbono almacenado anualmente en ámbitos costeros y marinos en México.

Componente	Superficie en México (ha)	Tasa media anual de enterramiento de carbono orgánico (Ton C ha ⁻¹ año ⁻¹) (Nellemann et al. 2009)	Monto anual total de carbono enterrado (Ton C año ⁻¹)	Fuente (Superficie)
Hábitats costeros con vegetación				
Manglares	770 057	1.39	1 070 379	Conabio, 2009
Marismas salobres	380 100	1.51	1 203 837	INEGI, 2009b (Vegetación halófila hidrófila)
Pastos marinos	?	0.83	?	
Otras áreas de deposición costero / marinas (para efectos comparativos)				
Esteros	?	0.5	?	
Plataforma continental	40 283 459	0.2	8 056,692	Bezaury y Torres, 2010 b

ARRECIFES CORALINOS

Los arrecifes coralinos representan ecosistemas altamente vulnerables al cambio climático global. Las principales afectaciones que se prevén sobre los arrecifes coralinos se derivan tanto de las fluctuaciones de temperatura que provocan la expulsión de las zooxantelas de los pólipos de los corales, como del fenómeno de acidificación de las aguas marinas (figura 1), el cual es producto de la absorción del CO_2 atmosférico en los océanos y cuya consecuencia es que la tasa de calcificación en los corales decrece, con efectos catastróficos para estas comunidades (Field *et al.*, 2001; Hoegh-Guldberg *et al.*, 2007).

Los esqueletos de los corales, formados de aragonita, son más solubles que la calcita, la forma dominante de carbonato de calcio, por efecto de la acidificación marina. Los corales ramificados y especialmente *Acropora* de aguas someras, importantes constructores primarios de arrecifes, se tornarán más quebradizos y más propensos a ser dañados, provocándose consecuentemente un amplio deterioro del hábitat (Veron *et al.*, 2009).

A nivel mundial el deterioro de los arrecifes coralinos se aceleró significativamente a partir de que las concentraciones de CO_2 alcanzaron las 320 ppm, situación que se ha acentuado ante la actual concentración de 387 ppm (Royal Society, 2009). En este sentido las propuestas de limitar los niveles de carbono a 450 ppm no evitarán la pérdida catastrófica de arrecifes, ya

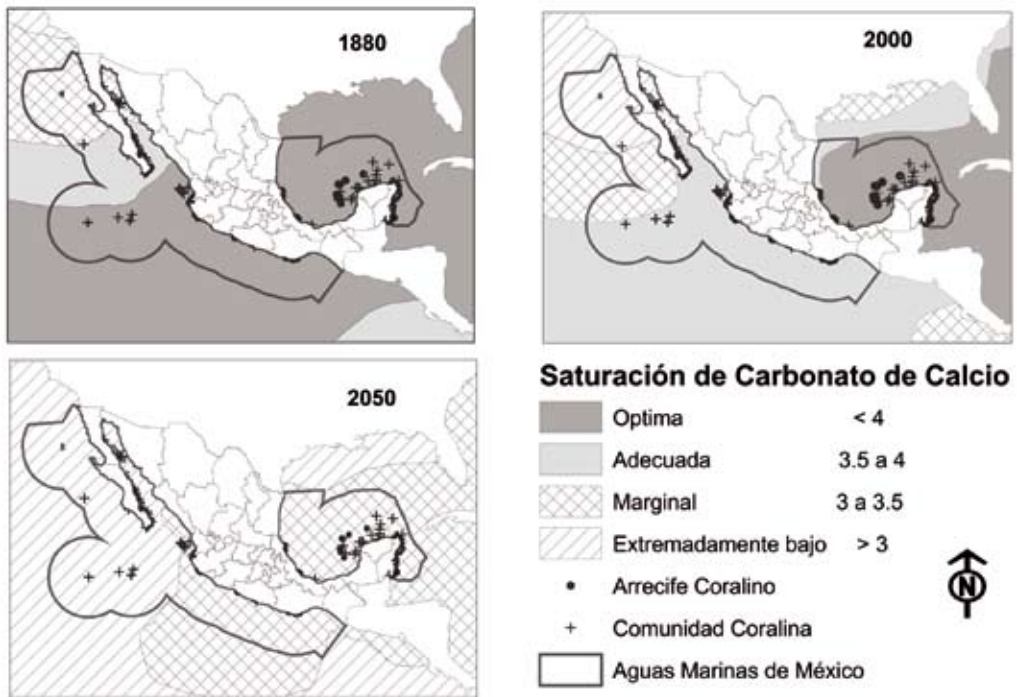


Figura 1. Modelo de Saturación de CO_2 en aguas superficiales oceánicas en los años 1880 y 2000 y proyectada para 2050. (Field *et al.*, 2001, derivado de Kleypas, 1999)

que se requerirán concentraciones significativamente menores a las 350 ppm para asegurar la viabilidad a largo plazo de estos ecosistemas (Royal Society, 2009).

Los arrecifes proveen a la economía de diversos bienes y servicios, entre los que destacan su función: como una barrera natural de protección que aminora los impactos derivados de fenómenos meteorológicos extremos, como zonas de crianza y crecimiento de especies marinas que son aprovechadas comercialmente y como sitio en donde se desarrollan actividades turísticas de muy alto valor. Asimismo constituyen ecosistemas que ayudan a mitigar el cambio climático, ya que constituyen sumideros de carbono de larga duración.

De acuerdo a Burke y Maidens (2004) casi el 50% de los arrecifes mexicanos del Golfo de México y el Mar Caribe están siendo amenazados por las actividades humanas, siendo la sobrepesca la principal amenaza, ya que afecta casi a la mitad de ellos. El desarrollo costero amenaza al 30% de los arrecifes, especialmente alrededor del desarrollo turístico de Cancún. Se estima que el cambio de uso del suelo y las actividades agrícolas representan una amenaza para el 14% de los arrecifes principalmente en Veracruz. Las actividades marinas (excluyendo el tráfico marítimo y la posibilidad de derrames asociados a la explotación petrolera en el Golfo de México) amenazan al 17% de los arrecifes coralinos, especialmente a aquellos ubicados en las cercanías de Cancún y Cozumel.

Los arrecifes coralinos de México pueden ser agrupados en cuatro grandes zonas (Bezaury-Creel *et al.*, 1998): Océano Pacífico, Golfo de México-Veracruz, Golfo de México-Sonda de Campeche y Mar Caribe. En la zona del Océano Pacífico predominan las comunidades coralinas y solamente en pocos sitios se desarrollan verdaderos arrecifes coralinos, siempre de tamaño limitado. En la zona del Golfo de México-Veracruz se presentan dos conjuntos principales de arrecifes coralinos, ambos ubicados cerca de la costa. Un mayor grado de desarrollo arrecifal caracteriza a los arrecifes de la zona del Golfo de México-Sonda de Campeche, los cuales se ubican alejados de la costa, sobre la amplia plataforma continental de la península de Yucatán. La zona del Mar Caribe presenta el sistema arrecifal mejor desarrollado de México, es un arrecife bordeante ubicado a lo largo de la costa, desde Isla Contoy en el noreste de la península de Yucatán, hasta Xcalak, México y el Cayo de Ambergris (Belize), donde se inicia el desarrollo de la Barrera Arrecifal Beliceña. Los posibles efectos del cambio climático global sobre estas grandes zonas no se presentarán en forma homogénea y requieren ser analizadas individualmente.

ARRECIFES DEL OCÉANO PACÍFICO

En la zona del Océano Pacífico los arrecifes de coral se presentan en aguas someras (0 a 25 m de profundidad), desde el sur del Golfo de California hasta Oaxaca y las islas Revillagigedo, generalmente construyendo estructuras de poco relieve con menos de 3 m de espesor (Reyes Bonilla, 2003; Calderón-Aguilera *et al.*, 2007). Durante 1997, la costa oeste de México resintió los efectos de El Niño y el calentamiento de las aguas causó severa mortalidad de los corales tanto en el Golfo de California como en el Pacífico tropical mexicano, los cuales se encuentran en pleno proceso de recuperación (Reyes Bonilla *et al.*, 2002; Calderón-Aguilera *et al.*, 2007).

No obstante que los eventos de El Niño son comunes en el Pacífico oriental, la evidencia histórica indica las anomalías positivas en cuanto a temperatura provocadas por este fenómeno son atenuadas en la costa oeste de México y consecuentemente los daños ocasionados a los arrecifes han sido menores (Reyes Bonilla *et al.*, 2002). Esto explica el porque después de experimentar dos de los más intensos eventos de El Niño durante un periodo menor a 20 años, estas comunidades coralinas y arrecifes aun se encuentran relativamente saludables (Reyes Bonilla *et al.*, 2002). Por otro lado efectos indirectos de El Niño como lo fueron la secuencia de 3 tormentas tropicales importantes que entre septiembre y noviembre de 1997 (Olaf, Pauline y Rick) afectaron en una magnitud menos intensa que la esperada a los arrecifes de Huatulco, documentándose patrones de daños limitados en cuanto a su severidad y variables en cuanto a su distribución espacial (Lirman *et al.*, 2001).

El primer antecedente de protección que incluyó a comunidades coralinas de esta región se realizó en 1975, cuando mediante un acuerdo secretarial se estableció la Zona de Refugio para la Protección de la Flora y Fauna Silvestre en las aguas comprendidas en Los Arcos, de la Bahía de Banderas. Actualmente en esta región solamente tres áreas naturales protegidas comprenden formaciones arrecifales: los parques nacionales Cabo Pulmo establecido en 1995 y Huatulco en 1998, así como el correspondiente a la Zona Marina del Archipiélago de Espíritu Santo creada en 2007. Otras 5 áreas protegen comunidades coralinas de la región: la Reserva de la Biosfera (RB) Archipiélago Revillagigedo creada en 1994, el Parque Nacional (PN) Bahía de Loreto en 1996, la RB Islas Marias en el 2000, el Santuario Islas La Pajarera, Cocinas, Mamut, Colorada, San Pedro, San Agustín, San Andrés y Negrita y los Islotes Los Anegados, Novillas, Mosca y Submarino (Islas de la Bahía de Chamela) en 2002 y finalmente el Área de Protección de Flora y Fauna (APFF) Islas Marietas decretado en 2005.

Sin pretender de minimizar los efectos negativos que serán ejercidos en el futuro sobre los arrecifes y comunidades coralinas, derivados de eventos de aumento en la temperatura del agua (ver Iglesias-Prieto *et al.*, 2003; Medina-Rosas *et al.*, 2005) o del incremento en la frecuencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos en el Pacífico mexicano, probablemente la acidificación de las aguas marinas y la consecuente reducción de la saturación de carbonato de calcio en la región, representa la mayor amenaza para su persistencia a largo plazo. De acuerdo a Field *et al.* (2001), en 1880 la saturación de carbonato de calcio en la región se calificaba como: en situación óptima para el desarrollo coralino desde el extremo meridional de la Península de Baja California hacia el sur, incluyendo al archipiélago Revillagigedo, en situación adecuada en la porción sur del Golfo de California y en situación marginal en la porción norte del Golfo de California. Para 2000 esta saturación disminuyó hasta alcanzar una situación calificada como; adecuada desde la porción sureña del Golfo de California y hacia el sur de la costa mexicana del Pacífico, incluyendo al archipiélago Revillagigedo el cual empieza a entrar en una situación marginal; y, proyectándose a 2050 hacia una situación marginal desde el extremo meridional de la península de Baja California hacia el sur y en condiciones extremadamente bajas en el Golfo de California y el archipiélago Revillagigedo.

En este sentido será de gran importancia el reducir al un mínimo absoluto el nivel de presiones antrópicas y de los efectos indirectos derivados de la presencia de especies introducidas – como por ejemplo los daños por sedimentación a las colonias coralinas del sur de la Isla Socorro causada por borregos ferales (Ochoa-Lopez *et al.*, 1998) sobre las comunidades coralinas del archipiélago Revillagigedo - ya que este grupo de islas funcionan como un eslabón para la migración de corales y otras especies de fauna marina desde Pacífico central hacia el oriental (Jordan *et al.*, 2001) y constituyen un puente esencial para la recolonización de corales en la costa mexicana del Pacífico. Por otro lado las costas del sur del país podrían convertirse en refugio para los corales del Pacífico oriental, ya que no obstante su futura condición marginal en cuanto a la saturación de carbonato de calcio, la costa al Pacífico en el resto del continente presentará condiciones extremadamente bajas (Field *et al.*, 2001; figura 1).

Las amenazas a las que se verán sujetos en un futuro cercano los arrecifes coralinos del Océano Pacífico y su relativa escasez, nos sugieren que como medida prioritaria para lograr su adaptación al cambio climático, se adopten medidas inmediatas para la protección del 100% de estas estructuras, bajo algún instrumento de política pública, complementados con estrategias de participación local. Utilizando el análisis sobre la biodiversidad de los corales presentes en estado de Oaxaca efectuado por López-Pérez y López-García (2008), se puede observar como ejemplo, que dentro del Parque Nacional Huatulco solo se encuentran representadas el 62.5% de las especies de corales escleractinios presentes en la costa del estado de Oaxaca y que con la simple adición de algunos arrecifes cercanos, como La Entrega e isla Montosa, esta cifra se elevaría al 93% de las especies. Sin embargo esta aparente efectividad en cuanto a presencia o ausencia de especies de corales hermatípicos, no considera la función que pueden jugar cada uno de los grupos arrecifales existentes, en condiciones de una distribución discontinua y su escasez relativa a lo largo de la costa, como escalones que favorecen la conectividad con otros grupos de arrecifes, como aquellos ubicados en Puerto Escondido y en Puerto Ángel en la costa oaxaqueña y que podrían ayudar a recolonizar arrecifes ubicados aun más al poniente y al norte de la costa mexicana. Esta situación adquiere una especial importancia ya que es posible que esta fauna coralina se encuentre aun en un proceso de constante flujo en cuanto a su colonización/extinción y que aun no haya alcanzado un nivel estable de riqueza específica (Cornell, 1993), amén de que dicho proceso seguramente será afectado por el cambio climático global.

ARRECIFES DEL GOLFO DE MÉXICO-VERACRUZ

La zona del Golfo de México-Veracruz presenta dos conjuntos principales de arrecifes: el Sistema Arrecifal del norte de Veracruz y el Sistema Arrecifal Veracruzano ubicado frente al puerto de Veracruz. El primero presenta seis arrecifes en forma de plataforma, algunos con partes emergentes como en Isla Lobos. El Sistema Arrecifal Veracruzano incluye 17 arrecifes principales y cuatro arrecifes bordeantes (Lara *et al.*, 1992) y se subdivide en el grupo norte y en el grupo sur (Carricart y Horta, 1993). La mayoría de las estructuras en el grupo norte son del tipo plataforma, con arrecifes bordeantes en Punta Gorda, Punta Majagua, Hornos y Punta

Mocambo. En el grupo sur todas las estructuras arrecifales son de tipo plataforma con excepción de El Giote, un arrecife bordeante. (Lara *et al.*, 1992; Carricart y Horta, 1993). Un tercer grupo de comunidades coralinas poco estudiadas, se presenta en las aguas frente a la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas (A. Laborde comentario personal).

A mediados de la década de 1960 los valores de cobertura de los corales duros en el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) reportados por Kiihlmann (1975) fueron del 50% en la parte somera y de 40% en la zona profunda del arrecife La Blanquilla, en el cual en 1975 se estableció la Zona de Refugio para la Protección de la Flora y Fauna Marinas. La cobertura de *Acropora palmata* abarcaba en aquel entonces el 65% del sustrato disponible de varios de los arrecifes someros del SAV y la de *A. cervicornis* el 100% del arrecife de Enmedio (Ranefeld, 1972; Kiihlmann, 1975). Para 1999, Horta Puga (2003) reportó una cobertura de *Acropora* spp. menor al 1.5% en el SAV como resultado de una extensa mortandad en los 1970s y 1980s (Tunnell, 1992; Jordán-Dahlgreen, 1992), y que la cobertura de corales pétreos a una profundidad comprendida entre los 3 y 6 metros no había variado sustancialmente en cuanto a lo reportado por Tunnell en 1992, quien encontró una cobertura de 17 % y 12 % en el arrecife frontal de los arrecife De Enmedio y El Cabezo. La reducción de la cobertura coralina en el SAV es una indicación clara del serio deterioro que ha sufrido este ecosistema arrecifal, además de que las posibilidades de una recuperación significativa del arrecife frontal son bajas mientras tanto persistan condiciones que mantienen baja la tasa de reclutamiento de nuevas colonias (Horta Puga, 2003).

Muy probablemente las colonias de corales remanentes en el SAV, las cuales han estado sujetas a fuertes presiones antrópicas, entre las que destacan: la sobrepesca, la contaminación por hidrocarburos, drenaje municipal, otras sustancias químicas, turismo, exceso de colecta científica, encallamientos, anclaje y otras más, presentan genotipos con características excepcionales en cuanto a su resistencia y/o resiliencia, ante las presiones derivadas tanto de las actividades humanas antes enunciadas, como de aquellas presiones de tipo “natural” como lo son: la influencia de agua dulce y turbiedad derivadas de las descargas del río Jamapa, la reducción de la temperatura provocada por las masas invernales de aire frío o “Nortes” o el aumento de temperatura, ya que el comparativo entre los datos presentados por Horta Puga (2003) y Tunnell (1992), tienden a indicar que el SAV se vio poco afectado por el fenómeno de El Niño de 1997-1998. Este mismo comparativo podría ser utilizada erróneamente para indicar que el establecimiento del PN Sistema Arrecifal Veracruzano en 1992, tuvo como resultado la estabilización del deterioro en la cobertura del arrecife, sin embargo, no es sino hasta 2000 cuando se le asigna personal a esta ANP (Bezaury-Creel, 2004) y se inicia su manejo con fines de conservación.

Con el establecimiento del APFF Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan en 2009, el cual incluye a todos los arrecifes del Sistema Arrecifal del Norte de Veracruz ya se encuentran bajo un régimen de protección la totalidad de los arrecifes del Golfo de México-Veracruz, con excepción de las comunidades arrecifales ubicadas frente a la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas. No obstante que muchas de las presiones derivadas al interior de ambas ANP puedan ser mitigadas

a través de su manejo efectivo, las presiones externas serán difíciles de controlar debido a su ubicación cercana a puertos de importancia para la economía mexicana y a amenazas globales. En este sentido, en la porción mexicana del Golfo de México, la reducción de la saturación de carbonato de calcio, disminuirá de una situación óptima como la que se presentaba desde 1880 hasta 2000, a una situación marginal proyectada a 2050 y que dicha saturación para el Sistema Arrecifal del norte de Veracruz muy probablemente ya ha disminuido de una condición óptima a una calificada solo como adecuada (Field *et al.*, 2001; figura 1).

ARRECIFES DEL GOLFO DE MÉXICO-SONDA DE CAMPECHE

Los arrecifes de la zona Golfo de México-sonda de Campeche presentan características ecológicas y morfológicas que los distingue de los arrecifes coralinos de la zona del Mar Caribe, aunque su fauna es similar (Ferré D'Amaré, 1995). Presenta tanto arrecifes emergidos como sumergidos, siendo todos ellos plataformas con crecimiento cónico truncado, que emergen a partir de una base pre-Holocénica localizada a 50-60 m de profundidad (Jordán, 1993; Ferré D'Amaré, 1995). En la sonda de Campeche sobresale el arrecife Alacranes como el conjunto arrecifal más extenso y con mayor desarrollo, así como una buena cantidad de arrecifes coralinos y de comunidades de corales que no presentan desarrollo estructural arrecifal y que se encuentran dispersas sobre la plataforma continental, entre las cuales destacan: Cayo Arcas, Banco Obispo, Banco Nuevo, Banco Pera, Triángulos, Banco Ingles, Banco Nuevo, Cayo Arenas, Bajos del Norte, Bajo Granville, Bancos del Este, Bajos Serpiente, Madagascar y Sisal, Bajo Pawashik, Roca Ifigenia y Bajo Antonieta (Bezaury-Creel *et al.*, 1998).

Entre las presiones y amenazas que actualmente inciden sobre estos arrecifes y comunidades coralinas sobresale en primer término aquellas que se derivan de la sobrepesca y en un segundo lugar aquellas derivadas de la producción y transporte de hidrocarburos en la zona (Jordán Dahlgreen, 2004; Gold-Bouchot, 2004). El PN Arrecife Alacranes establecido en 1992, constituye la única área natural protegida en esta zona creada con el objetivo específico de conservar ecosistemas arrecifales, no obstante que el APFF Yum Balam decretada en 1994 y la RB Tiburón Ballena en 2009, protegen algunas comunidades coralinas, incluyendo aquellas que se desarrollan dentro de la laguna Yalahau, en donde se han detectado pequeños parches de coral (Snedaker *et al.*, 1991).

No obstante la inherente dificultad para manejar adecuadamente la gran cantidad de pequeños arrecifes y comunidades coralinas que se encuentran dispersos en el banco de Campeche, mediante el uso de instrumentos de la política pública, es indudable que las presiones que se ejercen actualmente sobre estos sitios, principalmente aquellas derivadas de la sobrepesca deberán de ser disminuidas, para lograr aumentar su resiliencia ante el cambio climático. En este sentido la implantación de medidas de seguridad en la Sonda de Campeche (Semar, 2003) instauradas con el objeto de proteger las instalaciones petroleras, sin ser uno de sus objetivos, ha resultado en una reducción de la intensidad de la actividad pesquera en torno a muchos de los cayos y bancos ubicados al poniente de la península de Yucatán. Esto debido a que mediante

el acuerdo intersecretarial correspondiente, se establecieron “áreas de prevención”, en las cuales no se permite ningún tipo de actividad, salvo aquella requerida para la exploración y producción petrolera y solamente se autoriza el tránsito rápido e ininterrumpido de embarcaciones pesqueras en ruta hacia sus áreas de pesca situadas fuera de estas áreas y de las “áreas de exclusión”, en las cuales no se permite el tráfico de embarcaciones salvo aquellas que son requeridas para la operación de las plataformas petroleras. Por otro lado y con el objeto de favorecer la resistencia y resiliencia de los ecosistemas coralinos ante el cambio climático, es importante prevenir y reducir al mínimo posible la magnitud de las amenazas e impactos derivados de las actividades petroleras que se realizan en la zona, ya que estas no podrán ser evitadas debido a su crucial importancia para la economía del país.

La saturación de carbonato de calcio en las aguas marinas de la Sonda de Campeche, disminuirá a partir de una situación óptima como la que se presentaba desde 1880 hasta 2000, a una situación marginal proyectada a 2050 (Field *et al.*, 2001; figura 1). Es muy probable que la resiliencia futura de estos pequeños arrecifes y comunidades coralinas dependa en buena medida, tanto de la salud del arrecife Alacranes que constituye la mayor concentración de estructuras coralinas en la zona, como de los arrecifes del Caribe mexicano, sitios que podrán representar una importante fuente de provisión de larvas hacia estas estructuras y comunidades coralinas, mismas que debido a su situación de aislamiento, sugiere una alta fragilidad en cuanto a su bajo potencial para el autoabastecimiento larval.

ARRECIFES DEL MAR CARIBE

En la porción mexicana del Mar Caribe el sistema arrecifal bordea la costa oriente de la península de Yucatán a lo largo del estado de Quintana Roo. Esta costa es notable por su carencia de ríos, con la presencia de numerosos cenotes en la roca caliza y afloramientos de agua dulce en varios sitios (UNEP/IUCN, 1988). Estudios recientes han demostrado la existencia de sistemas de macizos y canales extensos y muy bien desarrollados en la costa central y sur. La isla de Cozumel y el banco Chinchorro (una estructura en forma de atolón o falso atolón) presenta un arrecife desarrollado a sotavento y arrecifes muy bien desarrollados a barlovento (Bezaury-Creel *et al.*, 1998).

A partir de la década de 1960, estos arrecifes han estado soportando una intensa presión pesquera y a partir de mediados de la década de 1970 los impactos derivados de un considerable incremento de actividades relacionadas con el desarrollo turístico, como se puede observar en los parches arrecifales de Punta Nizuc y el Garrafón de Isla Mujeres, los cuales ya han sido fuertemente alterados por el turismo, los daños empiezan a extenderse hacia: Puerto Morelos, Akumal, Cozumel y Majahual (McField *et al.*, 2008).

En la evaluación de los efectos del blanqueamiento y de los últimos de los 58 huracanes de diversa intensidad que en el siglo xx, han afectado las costas de México en el Golfo de México y el Caribe, efectuada por McField *et al.* (2008), se enumeran los siguientes impactos. Los arrecifes de Puerto Morelos y zonas cercanas sufrieron una mortandad significativa derivada

del paso del huracán Gilberto en 1988 y del evento de blanqueamiento de 1995. Los parches arrecifales de Isla Mujeres y Cancún también resultaron afectados con daños mecánicos y fragmentación por el paso del huracán Iván en 1994. Efectos leves del evento de blanqueamiento de 1995 fueron observados a finales de julio en los arrecifes Mahahual y Sian Ka'an, sin embargo en octubre se observó un blanqueamiento significativo, exhibiendo el 40% de las colonias en Xcalak evaluadas, diversos niveles de blanqueamiento. Sin embargo y diferencia de los arrecifes de Belice el evento de blanqueamiento de 1998 y el paso del huracán Mitch, no ocasionaron una mortandad extensiva en los arrecifes mexicanos. Durante 2005 los arrecifes del Caribe mexicano fueron dañados por los huracanes; Emily en julio y Wilma en octubre, impactando de forma importante tanto a Cozumel en donde la cobertura coralina disminuyó del 24% al 17% y finalmente al 10% con el paso de estos fenómenos meteorológicos intensos, como a los arrecifes del norte de Quintana Roo, en donde se reflejó principalmente sobre los corales de la cresta arrecifal.

Resultan también importantes los daños indirectos o colaterales a los arrecifes derivados del paso de grandes huracanes a lo largo de la costa del Caribe mexicano. Las playas de Cancún, entre Punta Cancún y Punta Nizuc, fueron erosionadas como consecuencia del paso del huracán Wilma a finales de 2005. En febrero de 2006 el gobierno mexicano implementó un programa de restauración de playas, mismo que provocó la mortandad de 10 especies de corales duros en los arrecifes de Punta Nizuc (McField *et al.*, 2008), como impacto indirecto del dragado, deposición y posterior erosión total de las playas restauradas. No obstante esta experiencia negativa y a cuatro años de distancia del Wilma, en 2009 se realizaron nuevamente los dragados para restaurar estas playas, ahora importando la arena del banco norte de la isla de Cozumel.

En la porción mexicana del Mar Caribe, la saturación de carbonato de calcio que se presentaba en situación óptima y estable desde 1880 hasta 2000, disminuirá a 2050 de acuerdo a las proyecciones hasta una situación calificada como marginal (Field *et al.*, 2001; figura 1). No obstante y en cierta medida esta tendencia general hacia la disminución en la saturación de carbonato de calcio, podría atenuarse localmente debido a que los arrecifes se desarrollan sobre una plataforma calcárea y que estos se ubican muy cercanos a la porción emergida de esta plataforma, de donde se originan aportes de agua dulce saturada de carbonato de calcio por vía submarina.

En México el primer esfuerzo para conservar arrecifes coralinos a través de su inclusión dentro de un área natural protegida, culminó en 1973 cuando se estableció la Zona de Refugio de Flora y Fauna Marina Punta Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc, la cual en 1996 fue redelimitada y ampliada transformándose en un parque nacional, al igual que Arrecifes de Cozumel creada en 1980 e igualmente transformada en la misma fecha. En 1986 se establece la RB Sian Ka'an y en 1996 la RB Banco Chinchorro. La Zona de Reserva Natural y Refugio de la Fauna Isla Contoy que cubría exclusivamente la superficie insular, es ampliada para incluir a la zona marina circundante y transformada en parque nacional en 1998. Ese mismo año se establecieron el PN Arrecife de Puerto Morelos, así como la RB Arrecifes de Sian Ka'an y dos años más tarde, en 2000 el PN Xcalak. Actualmente se encuentra en proceso de ser

decretada el APFF Cozumel que cuenta con el aviso respectivo publicado en febrero de 2008 en el Diario Oficial de la Federación, el cual incluye lagunas costeras, arrecifes y manglares ubicados en las costas oriente y norte de la isla, abarcando una superficie total de 46 357 ha de las cuales 3 938 ha son terrestres y 42 419 ha marinas. Finalmente Bezaury-Creel *et al.* (1998) plantearon el establecimiento de tres nuevas áreas naturales protegidas: Arrecifes de Xaman Ha con 18 014 ha ubicados frente a los municipios de Solidaridad y Tulum, arrecifes de Uaymil con 23 741 ha y arrecifes de Majahual con 5 981 ubicados frente las costas del municipio de Othon P. Blanco (tabla 6).

Los datos disponibles sobre la cobertura territorial de los arrecifes coralinos en México son escasos y poco confiables. Spalding *et al.* (2001) proponen una cobertura estimada en 178 000 ha de arrecifes para el país y los participantes en la Red Mexicana de Investigación Ecológica

Tabla 6. Superficie arrecifal en las Áreas Naturales Protegidas Federales del Caribe mexicano.

Áreas Naturales Protegidas Federales (todas frente a las costas del Estado de Quintana Roo)	Cobertura Total de Arrecifes en las ANP	% del Total de Arrecifes en las ANP	% del Total de Arrecifes en la Base de Datos (49,061 ha) MCRMP (2004)	Cobertura Total de Arrecifes en las ANP	% del Total de Arrecifes en las ANP	% del Total de Arrecifes en la Base de Datos (4,267 ha) WWF (2002)
Con decreto vigente						
RB Banco Chinchorro	15 972	43.09	32.56	1 394	40.03	32.65
RB Sian Ka'an	13 086	35.30	26.67	919	26.39	21.53
PN Arrecifes de Xcalak	3 345	9.02	6.82	355	10.21	8.33
PN Costa Occidente de Isla Mujeres, Punta Cancún, Punta Nizuc	579	1.56	1.18	321	9.23	7.53
PN Arrecife de Puerto Morelos	1 569	4.23	3.20	270	7.75	6.32
PN Arrecifes de Cozumel	527	1.42	1.08	130	3.73	3.04
PN Isla Contoy	739	1.99	1.51	54	1.54	1.26
RB Arrecifes de Sian Ka'an	1 223	3.30	2.49	39	1.13	0.92
RB Tiburón Ballena	28	0.08	0.06	-	-	0.00
TOTAL	37 068	100.00	75.56	3 481	100.00	81.57
Sitios en proceso de decreto						
APFF Isla Cozumel	1 304	-	2.66	-	-	0.00
Sitios Propuestos						
Arrecifes de Xaman Ha	3 904	-	7.96	233	-	5.45
Arrecifes de Uaymil	1 814	-	3.70	252	-	5.90
Arrecifes de Majahual	1 912	-	3.90	114	-	2.68
TOTAL	8 934	-	18.21	599	-	14.03
GRAN TOTAL	46 003		93.77	4 080		95.60

a Largo Plazo de Arrecifes del Pacífico (MEXLTR) estiman extraoficialmente una superficie aproximada de 20 mil ha para los arrecifes y comunidades coralinas para la zona del Océano Pacífico (Reyes-Bonilla com. pers.). Esta situación de relativa escasez y ante las presiones adicionales que provocará el cambio climático global sobre estos ecosistemas, justifica ampliamente el someter a la totalidad de los arrecifes y la mayor parte de las comunidades coralinas existentes en México a un régimen de protección que permita reducir el nivel de perturbación actualmente provocado por presiones no relacionadas con el cambio climático y por ende hacer mas factible su reducción y mitigación de los impactos a nivel local. Diferentes niveles de protección podrán otorgarse legalmente a las comunidades y arrecifes coralinos mediante una estrategia múltiple que incluya el uso de varias herramientas jurídicas como: áreas naturales protegidas (figura 2), áreas de refugio para la protección de la flora y fauna marinas, normas oficiales mexicanas y ordenamientos ecológicos territoriales costeros y marinos. La estrategia legal deberá complementarse con instrumentos de participación social locales que favorezcan que los diferentes actores colaboren activamente en la mitigación de los impactos adversos que amenazan la permanencia de estos ecosistemas e instrumentar estrategias de manejo que favorezcan su persistencia a futuro.

West y Salm (2003) proponen algunas estrategias para ayudar a identificar tanto a los sitios arrecifales que naturalmente no son afectadas por los fenómenos de blanqueamiento (áreas



Figura 2. Áreas Naturales Protegidas Federales con presencia de arrecifes o comunidades coralinas en México. Puntos = Arrecifes, Cruces = Comunidades coralinas (Bezaury y Castro, 2009a).
Polígonos grises ANP (Bezaury *et al.*, 2007)

resistentes), como aquellos sitios en donde las condiciones ambientales son mas conducentes para su recuperación después de la mortandad causada por este tipo de eventos a gran escala (áreas resilientes). Estos autores recomiendan que estas áreas clave sean incorporadas dentro de sistemas de áreas naturales protegidas marinas. Estudios en este sentido están siendo efectuados en México por Amigos de Sian Ka'an A.C. y The Nature Conservancy para los arrecifes del Mar Caribe.

Carilli *et al.* (2009) encontraron que después de un evento de blanqueamiento coralino masivo, las tasas de crecimiento de *Montastraea faveolata* en sitios con niveles de impactos antropogénico más alto se mantuvieron suprimidas por cuando menos 8 años, mientras que el crecimiento de estos corales en sitios menos impactados se recuperaron en 2 o 3 años. Los resultados de este estudio sugieren también que la reducción de las presiones crónicas a través de esfuerzos de manejo local puede incrementar la resistencia de los corales al cambio climático global.

HUMEDALES COSTEROS

Los litorales de la República Mexicana presentan aproximadamente 118 grandes complejos² de diferentes tipos de humedales (figura 3) y cuando menos 538 sistemas de menor extensión (Contreras y Warner, 2004), con una superficie total de 1 567 300 ha cubiertas por superficies estuarinas, de las cuales 892 800 ha se ubican a lo largo del Océano Pacífico y 674 500 hectáreas en el Golfo de México y el Mar Caribe (INEGI, 1984).

Los humedales costeros están siendo actualmente afectados: por el crecimiento de la industria turística tanto en las costas del Pacífico como del Caribe; por incrementos en la sedimentación derivada de los cambios de los regimenes hidrológicos derivados de la construcción de presas especialmente en la costa sur del Pacífico; por la sobreexplotación pesquera la cual no obstante solo constituye el 30% del total de las pesquerías en el país, representa el 80% de la actividad económica para los pobladores locales; por la construcción de granjas camaronícolas en la costa norte del Pacífico; y por la contaminación industrial en la costa sur del Golfo de México entre otras presiones (Contreras y Warner, 2004). Por otro lado la alta complejidad ecológica de estos ambientes y su alta productividad generan una importante serie de bienes y servicios a la sociedad.

Debido a que se prevé que los cambios resultantes del cambio climático y especialmente aquellos derivados del aumento del nivel del mar tendrán efectos más intensos sobre los humedales costeros del Golfo de México, esta zona ha sido la más estudiada a la fecha. No obstante, los efectos sobre los humedales costeros del Océano Pacífico podrán ser similares aunque a menor escala y en buena parte de esta costa con oportunidades más limitadas para su migra-

²En Contreras-Espinoza (1993) se enumeran 130 lagunas costeras, con base en la propuesta de Lankford (1977, Coastal lagoons of Mexico. Their origins and classification.) quien basa su inventario en el origen geológico de estos ecosistemas y por lo cual incluye indistintamente ecosistemas marinos y estuarinos.



Figura 3. Áreas Naturales Protegidas con presencia de humedales costeros en México. Puntos (Bezaury y Castro, 2009b) = Humedales costeros incluidos en Contreras-Espinoza (1993) y Castañeda y Contreras (1995). Polígonos grises = ANP (Bezaury *et al.*, 2007 y 2009).

ción hacia tierra adentro, debido a la presencia de un mayor relieve orográfico provocado por su origen y comportamiento geológico de colisión de placas en donde dominan las líneas de costa en levantamiento (Semarnap, 1997).

De acuerdo a Mulholland *et al.* (1997) las zonas costeras del Golfo de México probablemente serán afectadas tanto por cambios en el régimen de precipitación, como por el aumento en el nivel del mar.

- En la porción norte la reducción de la descarga de los ríos y de la precipitación, apuntan hacia un aumento en la salinidad de las lagunas costeras alimentadas por estos ríos. Por otro lado, hacia el sur en las regiones costeras probablemente se observará una expansión de los humedales sobre las planicies de inundación, así como la elevación del nivel de los mantos freáticos regionales y sus flujos, siendo también posible este efecto sobre los cenotes de la península de Yucatán.
- Los efectos sobre los humedales de agua dulce en los deltas de los ríos, en las lagunas costeras salobres y en los humedales con manglares muy probablemente serán extensos y dependerán de la interacción particular entre los efectos de los cambios en la precipitación y el aumento en el nivel del mar. Esta situación será particularmente importante en los humedales del delta del Usumacinta, los más extensos del oriente de México y los menos afectados por actividades antrópicas, en donde los humedales de agua dulce se verán reducidos por el aumento del nivel del mar, con la consecuente eliminación

de la flora dulceacuícola –principalmente las macrofitas sumergidas y emergentes-, de su fauna –múltiples especies de cíclidos- y la reducción de la biomasa de aquellas especies que requieren de hábitats dulceacuícolas durante algún periodo de su ciclo de vida. Muchas especies dulceacuícolas importantes como por ejemplo el manatí (*Trichechus manatus*) se verán imposibilitadas de cambiar su rango de distribución migrando hacia tierra adentro debido a la presencia de actividades humanas más intensas. Sin embargo, si los incrementos en la precipitación y los escurrimientos son capaces de compensar el incremento del nivel del mar, los humedales podrán aumentar su superficie y las especies dulceacuícolas beneficiarse

- La variación estacional de la salinidad podrá incrementarse dramáticamente en algunas áreas debido a la combinación de un incremento en la precipitación durante la temporada de lluvias y el aumento del nivel del mar. Áreas que actualmente presentan agua dulce o salobre se mantendrán como tales durante a lo largo de la época húmeda si los flujos de agua dulce se incrementan para compensar los aumentos en el nivel del mar, pero la salinidad se incrementará sustancialmente durante la época seca cuando el agua salina fluya tierra adentro. Estos cambios podrán tener profundas consecuencias sobre especies costeras que requieren de un rango limitado de salinidad durante una porción o en la totalidad de su ciclo de vida y que serán incapaces de encontrar hábitats adecuados como por ejemplo algunas especies de camarón (*Farfantepenaeus setiferus*, *F. duorarum* y *F. aztecus*). En contraste con el sureste de los Estados Unidos, la planicie costera mexicana hacia el Golfo de México es relativamente estrecha en muchas porciones lo que evitará que las zonas mareales dulceacuícolas y salobres simplemente migren tierra adentro con el aumento del nivel del mar.
- Asimismo el aumento de la profundidad de las aguas derivadas del aumento de flujos de agua durante la época de lluvias y del nivel del mar, podrá resultar en cambios en las zonas ahora cubiertas de vegetación acuática, incluyendo a los manglares, hacia zonas de agua sin vegetación, lo que repercutiría negativamente en aquellas especies que dependen del de estas áreas como hábitat físico o de fuentes de alimentación proveniente de la vegetación. Finalmente, los aumentos de los flujos dulceacuícolas hacia las lagunas podrán incrementar la estratificación en la columna de agua y provocar hipoxia y la reducción del hábitat para algunas especies.

Ortiz-Pérez y Méndez-Linares (2000) detectaron cinco regiones críticas o vulnerables al ascenso del nivel del mar en el Golfo de México y el Mar Caribe. Tres de ellas se relacionan con las cuencas geológicas marginales de los grandes sistemas deltaicos de los ríos Bravo en Tamaulipas, del Papaloapan en Veracruz y del complejo deltaico del Grijalva – Mexcalapa – Usumacinta, en Tabasco y Campeche; en todas de los cuales se presentan claras evidencias de hundimiento en la costa por subsidencia de las cuencas. Las otras dos áreas, Los Petenes en Campeche y Bahías de Sian Ka'an - Chetumal en Quintana Roo, se sitúan en la península de Yucatán y corresponden a plataformas calcáreas con problemas estructurales de tectónica de hundimiento asociadas con disolución cárstica y de comportamiento geohidrológico.

Con excepción de la región del delta del Papaloapan, en las demás regiones de alta vulnerabilidad al ascenso del nivel del mar se han establecido áreas naturales protegidas de gran magnitud: el Área de Protección de Flora y Fauna Laguna Madre y Delta del Río Bravo, la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla y el Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos, la Reserva de la Biosfera Los Petenes, la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an y la Zona Sujeta a Conservación Ecológica (estatal) Santuario del Manatí. Los costos sociales que a futuro que se evitarán por concepto de la reposición o protección de infraestructura y otras inversiones públicas y privadas, que no se efectuaron sobre estas zonas de alta vulnerabilidad, debido a que en ellas se establecieron áreas protegidas, seguramente serán considerables (Bezaury-Creel, 2009). En este caso, las áreas naturales protegidas son una medida efectiva para la adaptación social al cambio climático.

La naturaleza de las comunidades bióticas en los humedales costeros resulta en buena medida de la función no solamente de los procesos hidrogeomorfológicos físicos, sino también del gradiente salino como factor secundario (Contreras y Warner, 2004). En este sentido buena parte de los procesos que han mantenido hasta la fecha las diversas condiciones particulares de cada uno de los tipos de humedal costero, se verán alteradas a lo largo de un periodo de tiempo relativamente corto y por ende los cambios en la estructura de las comunidades se darán de una forma mas violenta a lo previamente observado. La reducción de las presiones que ejercemos actualmente sobre los humedales costeros redundará en una mayor resistencia y resiliencia de las especies y brindará a estos ambientes mayores oportunidades de adaptarse al cambio climático y seguir proveyendo a los mexicanos de bienes y servicios ecosistémicos (tabla 7).

En la actualidad un poco más de la mitad de los ecosistemas con humedales costeros se encuentran ubicados dentro de áreas naturales protegidas gubernamentales. Si incluimos a la superficie inscrita como Humedal Designado a la Lista de Humedales de Importancia Internacional de Ramsar, la cobertura de los humedales costeros que se encuentran bajo algún régimen de protección alcanzan 1 585 000 hectáreas, lo que representan el 66% de su total en México.

MANGLARES

Los manglares constituyen humedales costeros de gran importancia económica que se verán afectados a corto plazo por el cambio climático global. La capacidad de resiliencia de los ecosistemas de manglar a los efectos del cambio climático estará determinada por varios factores, entre los que se pueden enumerar los cambios derivados: del incremento de la temperatura, del aumento del CO₂ en la atmosfera, de la ocurrencia de huracanes y tormentas más intensas y frecuentes, así como de las variaciones del régimen precipitación, sin embargo, el mayor impacto resultará del aumento del nivel del mar (McLeod y Salm, 2006). Al igual que para los ecosistemas arrecifales, la resistencia y resiliencia de los manglares se verá considerablemente disminuida por el efecto de los impactos negativos provenientes de fuentes antropogénicas. Estos impactos resultan ser más factibles de ser disminuidos a través de las medidas de manejo implementadas como resultado de su inclusión dentro de redes de áreas naturales protegidas.

Tabla 7. Áreas Naturales Protegidas con presencia de humedales costeros en México.

	Área Natural Protegida con presencia de humedales costeros (en orden de la superficie cubierta)	Manglar	Tular	Popal	Vegetación halófila hidrófila	Vegetación de Petén	Con vegetación de humedales costeros
Federal	APFF Laguna de Términos, Camp.	123 326	98 194	15 822	2 625		239 966
	APFF Pantanos de Centla, Tab.	19,712	168 957	42 924			231 593
	RB Sian Ka'an, Q. Roo	81 695	115 680			1,198	198 573
	APFF Laguna Madre y delta del río Bravo, Tamps.				136 919		136 919
	APFF Marismas Nacionales, Nay.	76 854	384		9 538		86 775
	RB Los Petenes, Camp.	38 428	14 501		429	17,064	70 423
	RB La Encrucijada, Chis.	33 026	31 771				64 797
	RB Ría Celestún, Yuc.	22 105	8 789			17,706	48 600
	RB Alto Golfo de California, delta del río Colorado, B.C., Son.		2 352		31 250		33 603
	RB El Vizcaino, B.C.S.	5 691			8 806		14 496
	APFF Uaymil, Q. Roo	9 004	17 977			137	27 117
	APFF Yum Balam, Q. Roo	14 784	5 560				20 344
	RB B Ría Lagartos, Yuc.	15 120	1 970				17 090
	APFF Valle de Los cirios, B.C.				2 936		2 936
	APFF Islas del Golfo de California	11 578			151		11 729
	RB Banco Chinchorro, Q. Roo	4 619					4 619
	APFF Manglares de Nipchupte, Q. Roo	3 287					3 287
	PN Arrecifes de Xcalak, Q. Roo	3 227					3 227
	PN Lagunas de Chacahua, Oax.	1 890					1 890
	RB Los Tuxtlas. Ver.	917	89				1 006
	APFF Meseta de Cacaxtla, Sin.	234			224		458
	RB Chamela-Cuixmala, Jal.	201	139		93		433
	RB El Pinacate y Gran Desierto de Altar, Son.				338		338
	APFF Complejo Lagunar Ojo de Liebre, B.C.				260		260
	PN Isla Contoy, Q. Roo	225					225
	RB Arrecifes de Sian Ka'an, Q. Roo	68					68
	PN Arrecife de Puerto Morelos, Q. Roo	59					59
	PN Tulum, Q. Roo	48					48
	Sant. Playa Ceuta, Sin.	10			27		37
Elaborado a partir de Uso del Suelo y Vegetación Serie IV (INEGI 2009b) y ANP (Bezaury et al. 2007 y 2009).							

Tabla 7 (continuación). Áreas Naturales Protegidas con presencia de humedales costeros en México.

	Área Natural Protegida con presencia de humedales costeros (en orden de la superficie cubierta)	Manglar	Tular	Popal	Vegetación halófila hidrófila	Vegetación de Petén	Con vegetación de humedales costeros
Estatad	PN Arrecifes de Cozumel, Q. Roo	10					10
	Sant. Playa adyacente a la localidad denominada Ría Lagartos, Yuc.	8					8
	PN Costa Occidente de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc, Q. Roo	8					8
	RB Tiburón Ballena, Q. Roo	6					6
	Sant. Playa Teopa, Jal.				3		3
	Sant. Playa de Mismaloya, Jal.				3		3
	Sant. Playa de Puerto Arista, Chis.	3					3
	Total Federales	466 143	466 363	58 746	193 602	36 104	1,220,957
	ZSCE Santuario del Manatí, Bahía de Chetumal, Q. Roo	25 815	29 301				55 116
	ZSCE Reserva de Dzilam, Yuc	24 146	3 008			659	27 813
	ZSCE Reserva El Palmar, Yuc	17 050	3 933			5,966	26 949
	RE Ciénagas y Manglares de la Costa Norte de Yucatán	21 093	1 648		229	395	23 365
	ZSCE El Gancho Murillo, Chis.	3 065		223			3 288
	ZSCE Ciénega del Fuerte, Ver.	1 676	776				2 452
	ZSCE El Cabildo Amatal, Chis.	1 332	466				1 798
	ZSCE Refugio Estatal de Flora y Fauna Sistema Lagunar Chacmochoch, Q. Roo	1 356					1 356
	ZSCE Navachiste, Sin.	753					753
	RE Río Playa, Tab.	14	695				709
	ZSCE Refugio Estatal de Flora y Fauna Laguna Colombia, Q. Roo	443					443
	Reserva Patrimonial Lagunas Costeras y Serranías Aledañas de la Costa de Michoacán		239				239
	RE Arroyo Moreno, Ver.	230					230
	ZSCE Laguna del Manatí, Q. Roo	175					175
	ZSCE Estero El Soldado, Son.	100					100
	ZREyZRAMMyFFS Playa Verde Camacho, Sin	19			4		23
	Total Estatales	97 267	40 066	223	233	7 021	144 809

Elaborado a partir de Uso del Suelo y Vegetación Serie IV (INEGI 2009b) y ANP (Bezaury et al. 2007 y 2009).

Tabla 7 (continuación). Áreas Naturales Protegidas con presencia de humedales costeros en México.

Área Natural Protegida con presencia de humedales costeros (en orden de la superficie cubierta)	Manglar	Tular	Popal	Vegetación halófila hidrófila	Vegetación de Petén	Con vegetación de humedales costeros
Z. Especial SCE La Vega Escondida Total Municipales	554	1 457				2 011
Total en ANP	563 964	507 886	58 969	193 834	43 124	1 367 778
Total en México	945 840	912 644	130 542	380 100	45 395	2 414 522
% del Total en ANP	60	56	45	51	95	57

Elaborado a partir de Uso del Suelo y Vegetación Serie IV (INEGI 2009b) y ANP (Bezaury et al. 2007 y 2009).

Los desmontes y la substitución por zonas transformadas han provocado una disminución de la cobertura natural de los manglares que se conoce con poca precisión, sin embargo el efecto indirecto de perturbación de manglares es quizás el más generalizado y se da de manera frecuente cuando se construyen caminos o carreteras, cuando se urbanizan zonas costeras o se construyen desarrollos turísticos, y cuando se llevan a cabo obras de infraestructura para la explotación y transporte de petróleo o líneas de distribución de energía eléctrica (López Portillo y Ezcurra, 2002).

La importancia de los manglares en cuanto a los bienes y servicios que aportan a la economía es indiscutible. Distintas especies marinas que son aprovechadas comercialmente para el consumo humano, utilizan al manglar como zona de crianza y crecimiento. Asimismo los manglares son sistemas ecológicos altamente productivos que exportan una gran cantidad de nutrientes a las aguas marinas de la franja litoral, en donde son aprovechados por pastos marinos y una gran variedad de especies de importancia económica, incluyendo a las diversas especies de camarón que son la base de una de las principales pesquerías en México. Los manglares juegan un importante papel como barrera natural de protección que aminora los impactos derivados tanto de fenómenos meteorológicos extremos sobre la zona costera, como de aquellos causados por el vaivén continuo de las olas y las mareas, contribuyendo al mantenimiento de la línea de costa. Asimismo su presencia permiten amortiguar algunos impactos negativos sobre los ecosistemas marinos y muy especialmente sobre los arrecifes coralinos, derivados del acarreo de sedimentos, nutrientes y contaminantes transportados por las corrientes de agua hacia las costas. Como recurso forestal las especies de mangle, son aprovechadas para producir leña, carbón, madera para viviendas rurales, postes para cercar y otros usos. Los manglares son utilizados por una gran variedad de aves acuáticas como zonas de reposo o reproducción, situación que brinda oportunidades para el desarrollo de actividades turísticas a las comunidades ribereñas. Finalmente son ecosistemas que mitigan el cambio climático, ya que no obstante el hecho que producen metano, también actúan como sumideros de carbono a largo plazo.

Las regiones en donde se distribuyen los manglares en México, han sido divididas en cinco franjas costeras (Conabio, 2008a): el Pacífico Norte con el 26% de la superficie de manglar

existente en el país (Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit), el Pacífico centro con solo el 1% a nivel nacional (Jalisco, Colima y Michoacán), el Pacífico sur abarcando un 10% de su existencia territorial (Guerrero, Oaxaca y Chiapas), el Golfo de México con el 11% (Tamaulipas, Veracruz y Tabasco) y, la península de Yucatán con la mayor cobertura de este ecosistema que corresponde a el 52% de su cobertura en el país (Campeche, Yucatán y Quintana Roo). El tipo de manglar dominante, así como la estructura y función del ecosistema, difiere en cada una de esas regiones. Esto responde al tipo de cuenca hidrológica al que está asociado el manglar, a la extensión de la planicie costera, la temperatura, la precipitación, la topografía y al tipo de suelo, entre otros factores (Conabio, 2008a). En México, se presentan 5 especies de mangle: mangle rojo (*Rhizophora mangle* y *R. harrisonii* esta última exclusiva de la costa de Chiapas), mangle negro (*Avicennia germinans*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*).

MANGLARES DEL PACÍFICO NORTE

La península de Baja California presenta pequeñas cuencas de drenaje con escasa escorrentía y condiciones de mayor aridez hacia la vertiente del Golfo de California, la cual carece de una planicie de inundación por lo que ofrece escasas posibilidades para la migración de los manglares hacia tierra adentro debido a lo abrupto de la topografía. La vertiente del Océano Pacífico presenta en general una topografía un poco menos abrupta y una mayor extensión de manglares, entre ellos, el extenso complejo lagunar Bahía Magdalena-Amejas.

Por otro lado, la costa este o continental del Golfo de California, presenta numerosas lagunas costeras; las lagunas más grandes tienen su boca de comunicación con el mar permanentemente abierta y muchas de ellas reciben escorrentías más continuas. Esta zona incluye a Marismas Nacionales con uno de las principales conjuntos de manglares de esta región. La migración hacia tierra adentro de muchos de estos humedales se verá limitada por la presencia de distritos de riego y granjas camaronícolas.

El aumento de la temperatura media del agua y del aire favorecerá la expansión del rango de distribución de las especies de mangle en esta región, hacia humedales costeros ubicados más al norte de su actual límite de distribución en donde se han detectado la presencia de propágulos (Pacheco-Ruiz *et al.*, 2006).

MANGLARES DEL PACÍFICO CENTRO

Las costas de los estados de Jalisco y Colima, presentan una estrecha plataforma continental, bajo condiciones semiáridas y pocas zonas intermareales, lo que reduce el número de hábitats disponibles para los manglares.

Los efectos del aumento del nivel del mar derivado del cambio climático sobre los manglares en esta región, que carece en general de una planicie de inundación amplia y las actividades humanas en esta planicie, ofrecerán escasas posibilidades para la migración de los manglares hacia tierra adentro.

MANGLARES DEL PACÍFICO SUR

Abarca los estados de Oaxaca y Chiapas. Al contrario que la unidad anterior, ésta posee una extensa plataforma continental y por tanto sistemas lagunares extensos. Es aquí donde las comunidades de manglar tienen su máxima altura y diversidad, siendo la única zona en donde se presenta *Rhizophora harrisonii* en el estado de Chiapas.

Los efectos del aumento del nivel del mar derivado del cambio climático sobre los manglares en esta región, ofrecerá también escasas posibilidades para la migración de los manglares hacia tierra adentro, debido a la intensidad de las actividades agrícolas y pecuarias.

MANGLARES DEL GOLFO DE MÉXICO

A diferencia de lo que sucede en la costa del Océano Pacífico, en la cual debido a su origen y comportamiento geológico de colisión de placas, en el Golfo de México dominan las líneas de costa en levantamiento, prevaleciendo las costas bajas con extensos humedales adyacentes, pasivas o de descenso, con una menor pendiente y en su mayor parte el relieve costero está constituido por una amplia franja de llanura costera que llega a medir de 30 a 150 km de ancho (Semarnap, 1997). Resulta evidente que el aumento de la temperatura media provocará una expansión hacia el norte del rango de distribución de las especies de mangle y situación que sucederá al interior del Área de Protección de Flora y Fauna Laguna Madre y Delta del Río Bravo.

MANGLARES DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN

Debido a que la mayor parte de las costas de la península de Yucatán son bajas y presentan extensos humedales adyacentes, esta región también será directa e intensamente impactada por el aumento del nivel del mar. La plasticidad de la vegetación de la península de Yucatán para transitar paulatinamente entre selvas tropicales y manglares, derivada del incremento del nivel de las aguas marinas y el consecuente incremento en la salinidad de suelos y aguas, ha sido documentada cuando menos para la zona del río Hondo en el sur del estado de Quintana Roo, por Torrescano e Islebe (2006) durante un periodo que comprende a los últimos 5,000 años, mediante el análisis de polen fósil. Sin embargo la velocidad a la que se prevé que el incremento del nivel del mar ocurrirá a lo largo del siglo XXI, seguramente planteará nuevas condiciones tanto para el recambio de las especies involucradas, como en términos de la concepción actual que tenemos sobre los derechos de la propiedad territorial el cuanto a su definición futura desde un punto de vista legal.

Estos impactos sobre los ecosistemas de manglar también afectarán otros ambientes costeros. Mumby *et al.* (2004) demostraron que los manglares en el Caribe tienen una importante influencia sobre la estructura de las comunidades de peces en los arrecifes coralinos cercanos y que la biomasa de varias especies de peces de importancia comercial es más que duplicada cuando el hábitat de su etapa adulta se encuentra conectado a ecosistemas de manglar.

Tabla 8. Superficie cubierta por manglares en las Áreas Naturales Protegidas de México.

Área Natural Protegida con presencia de manglar	Superficie manglar en ANP (ha)	% manglar en ANP	% manglar nacional
Federales	407 983	83.25	52.98
Estatales	81 586	16.65	10.59
Municipales	497	0.10	0.06
Total	490 066	100.00	63.64
Total Superficie de Manglar en México (Conabio, 2009)	770 057		100.00

En la actualidad casi el 65% de los ecosistemas de manglar se encuentran ubicados dentro de áreas naturales protegidas gubernamentales. Si incluimos a la superficie inscrita como humedal designado a la Lista de Humedales de Importancia Internacional de Ramsar, la cobertura de los manglares que se encuentran bajo algún régimen de protección alcanzan más de 590 000 ha, lo que representa el 77% del total en México.



Figura 4. Áreas Naturales Protegidas con presencia de manglares en México.
 Polígonos negros = superficie cubierta por manglares, a partir de Conabio (2008).
 Polígonos gises = ANP (Bezaury *et al.*, 2007 y 2009).

Tabla 9. Áreas Naturales Protegidas con presencia de ecosistemas de manglar en México.

	Área Natural Protegida con presencia de manglar (en orden de la superficie cubierta)	Superficie manglar (ha)	% manglar en ANP	% manglar nacional
Federales	APFF Laguna de Términos, Camp	105 363	21.50	13.68
	APFF Marismas Nacionales, Nay.	59 548	12.15	7.73
	RB Sian Ka'an, Q. Roo	58 470	11.93	7.59
	RB Los Petenes, Camp.	54 631	11.15	7.09
	RB Ría Celestún, Yuc.	39 960	8.15	5.19
	RB La Encrucijada, Chis.	27 769	5.67	3.61
	APFF Uaymil, Q. Roo	12 554	2.56	1.63
	RB Pantanos de Centla, Tab.	12,547	2.56	1.63
	APFF Islas del Golfo de California, Son., Sin., Nay.	9,390	1.92	1.22
	RB Ría Lagartos, Yuc.	8 273	1.69	1.07
	APFF Yum Balam, Q. Roo	8 050	1.64	1.05
	RB El Vizcaíno, B.C.S.	3 509	0.72	0.46
	APFF Manglares de Nipchupte, Q. Roo	2 512	0.51	0.33
	PN Lagunas de Chacahua, Oax.	1 666	0.34	0.22
	PN Arrecifes de Xcalak, Q. Roo	1 595	0.33	0.21
	RB Los Tuxtlas, Ver.	762	0.16	0.10
	RB Banco Chinchorro, Q. Roo	428	0.09	0.06
	APFF Laguna Madre, Delta del Río Bravo, Tamps	331	0.07	0.04
	PN Tulum, Q. Roo	176	0.04	0.02
	APFF Meseta de Cacaxtla, Sin	170	0.03	0.02
	RB Chamela-Cuixmala, Jal.	141	0.03	0.02
	PN Isla Contoy, Q. Roo	70	0.01	0.01
	APFF Valle de Los Cirios, B.C.	28	0.01	0.004
	RB Arrecifes de Sian Ka'an, Q. Roo	24	0.00	0.003
	Sant. Playa adyacente a la localidad denominada Ría Lagartos, Yuc.	8	0.002	0.001
	PN Costa Occidente de Isla Mujeres, Punta Cancún, Punta Nizuc, Q. Roo	5	0.001	0.0006
	Sant. (Islas de la Bahía de Chamela), Jal.	2	0.001	0.0003
	RB Tiburón Ballena, Q. Roo	1	0.0002	0.0001

ECOSISTEMAS INSULARES

En términos generales se puede afirmar que las especies insulares inherentemente tienden a ser altamente vulnerables a los cambios ambientales. Esta situación responde a que las poblaciones de animales y plantas netamente insulares tienden a ser pequeñas, presentan una distribución restringida, generalmente son altamente especializadas y muchas veces carecen de estrategias que les permiten evadir a posibles depredadores o competir eficientemente con nuevas especies provenientes de ecosistemas más competitivos.

Tabla 9 (continuación). Áreas Naturales Protegidas con presencia de ecosistemas de manglar en México.

	Área Natural Protegida con presencia de manglar (en orden de la superficie cubierta)	Superficie manglar (ha)	% manglar en ANP	% manglar nacional
Estatales	ZSCE Reserva El Palmar, Yuc.	22 926	4.68	2.98
	ZSCE Reserva de Dzilam, Yuc.	20 322	4.15	2.64
	ZSCE Santuario del Manatí, Bahía de Chetumal, Q. Roo	17 166	3.50	2.23
	RE Ciénagas y Manglares de la Costa Norte de Yucatán	15 811	3.23	2.05
	ZSCE Sistema Lagunar Chacmochuch, Q. Roo	1 224	0.25	0.16
	ZSCE El Gancho Murillo, Chis.	1 198	0.24	0.16
	ZSCE Ciénega del Fuerte, Ver.	765	0.16	0.10
	ZSCE El Cabildo Amatal, Chis.	651	0.13	0.08
	RP Lagunas Costeras y Serranías aledañas de la Costa de Michoacán	393	0.08	0.05
	ZSCE Navachiste, Sin.	351	0.07	0.05
	ZSCE Ref. Est. de F. y F. Laguna Colombia, Q. Roo	291	0.06	0.04
	ZSCE Arroyo Moreno, Ver.	215	0.04	0.03
	ZSCE Laguna de Manatí, Q. Roo	156	0.03	0.02
	ZSCE Estero El Salado, Son.	90	0.02	0.01
	ZSCE Estero El Soldado, Son.	25	0.01	0.003
	ZSCE Santuario Tortuga Marina Xcacel - Xcacelito, Q. Roo	2	0.0004	0.0003
	PN Laguna de Chancanaab, Q. Roo	1	0.0001	0.0001
Municipal	ZSCE La Vega Escondida, Tamps.	494	0.1	0.06
	ZCEIC Balandra, BCS	3	0.001	0.0004
TOTAL		490 066	100.00	63.64

Elaborado y modificado a partir de Conabio (2008 b, c y d).

Comparadas con ecosistemas continentales las islas oceánicas presentan en general niveles moderados de riqueza de especies y un mayor grado de endemismos, el cual se estima que es 9.5 y 8.1 veces más alto en las islas en cuanto a plantas y vertebrados respectivamente (Kier *et al.*, 2009). A nivel global estos mismos autores sugieren la expansión de las áreas naturales protegidas insulares como una estrategia para mitigar las amenazas a su biodiversidad, la cual debe ser complementada por medidas adicionales que permitan afrontar otras presiones que no pueden ser adecuadamente abordadas a través este instrumento, incluyendo aquellas derivadas de las especies invasoras y otras más de carácter exógeno al territorio insular.

Actualmente la mayor amenaza a la biodiversidad insular en México es producto de la introducción de especies exóticas invasoras. Los cambios que se generarán a partir del cambio climático global no solamente podrán favorecer el éxito de las especies invasoras sobre las nativas endémicas, sino que en muchos casos el aumento del nivel del mar representará una amenaza directa a la existencia de muchas islas, islotes, cayos y rocas en México, principalmente aquellas

ubicadas en el Golfo de México y el Mar Caribe. Por otro lado al estar rodeadas por grandes masas de agua, algunos impactos climáticos severos sobre las islas oceánicas podrían ser amortiguados (Kier *et al.*, 2009).

Los efectos derivados del cambio climático no solamente favorecerá la extinción de algunas especies insulares endémicas, sino que también afectará los patrones de distribución de otras especies de especial importancia para la conservación. Como ejemplo, el incremento acelerado del nivel del mar tendría consecuencias desastrosas sobre las pequeñas colonias de golondrinas marinas oscuras (*Sterna fuscata*), que anidan en unas pocas rocas e islotes del Caribe mexicano. Una de ellas, un pequeñísimo islote en Punta Cancún (Howel *et al.*, 1990), localizado a la sombra del Hotel Camino Real dentro Parque Nacional Costa Occidental de Isla de Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc, ha soportado en décadas las presiones derivadas del desarrollo turístico y hasta la fecha (McKinnon com. pers.) sigue siendo utilizada por esta especie para reproducirse. Los únicos otros sitios de anidación confirmados para esta especie en el Caribe mexicano se encuentran también ubicados en áreas naturales protegidas: en las rocas ubicadas enfrente del muelle de la estación Isla Contoy en el parque nacional del mismo nombre y en las rocas cercanas al faro de Punta Celarain en el Parque Nacional Arrecifes de Cozumel al sur de esta isla, en donde unos pocos ejemplares han anidado (McKinnon, comentario personal). Es evidente que las golondrinas marinas oscuras, no se extinguirán como resultado de la inundación de estos islotes como resultado del aumento del nivel del mar, ya que constituyen sitios de anidación marginales dentro de su rango de distribución. Sin embargo esta especie tendrá que buscar nuevos islotes o rocas para anidar en una costa cada día con mayor presencia de presiones antrópicas o simplemente dejar de reproducirse en el Caribe mexicano. Otro ejemplo en este sentido, es el hecho de que la población genéticamente más pura de *Crocodylus acutus* del Caribe mexicano se localiza dentro de la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro, en donde al no ser simpátrica con la otra especie de cocodrilo presente en esta costa, el *C. moreletii* no se presenta introgresión genética en estos individuos (Machkour-M'Rabet *et al.*, 2009). Esta población podrá dejar de reproducirse en un futuro cercano como resultado de la falta de playas arenosas en los cayos del banco Chinchorro como resultado del aumento del nivel de las aguas marinas. Nuevamente la especie no se extinguirá, sino que simplemente esta población local con un gran valor a nivel genético, muy probablemente dejará de ser viable.

Las islas ubicadas dentro del continente o islas interiores no presentan las características de aislamiento que favorece la presencia de especies endémicas en las islas oceánicas y en menor medida aquellas ubicadas cerca del continente o islas continentales. Sin embargo las islas interiores al ubicarse dentro de cuerpos de agua costeros generalmente son sitios importantes de anidación para una gran cantidad de aves acuáticas ya que el estar rodeadas por agua limita la presencia de muchos depredadores.

Tabla 10. Áreas Naturales Protegidas con presencia de ecosistemas insulares continentales, oceánicos e interiores en México.

Áreas Naturales Protegidas (en el orden de magnitud de la superficie cubierta)	Sup. Insular marina en ANP (ha)	Sup. Insular interior en ANP (ha)	Sup. Insular total en ANP (ha)	% Sup. Insular del total en ANP	% Sup. Insular del total nacional (720 015 ha)	Número de elementos insulares marinos en ANP	Número de elementos insulares interiores en ANP	Número total de elementos insulares en ANP	% de elementos insulares en ANP del total nacional (2,774)
APFF Islas del Golfo de California, BC, BCS, Son, Sin, Nay.	293 171	35 233	328 404	63.14	45.61	399	1 234	1 633	58.87
RB Isla Guadalupe	24 448		24 448	4.70	3.40	8		8	0.29
RB Islas Mariás	24 268		24 268	4.67	3.37	33		33	1.19
PN Bahía de Loreto	21 301		21 301	4.10	2.96	26		26	0.94
RB Archipiélago de Revillagigedo	15 707		15 707	3.02	2.18	10		10	0.36
RB Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado, B.C., Son.	15 070	153	15 070	2.90	2.09	152	77	229	8.26
RB El Vizcaino, B.C.S.	6 637	2 879	9 516	1.83	1.32	19	55	74	2.67
APFF Yum Balam, Q. Roo	5 312	70	5 381	1.03	0.75	1	2	3	0.11
RB Sian Ka'an, Q. Roo	1 413	200	1 613	0.31	0.22	28	11	39	1.41
RB Banco Chinchorro	657		657	0.13	0.09	4		4	0.14
PN Isla Contoy	225		225	8.44	0.03	2		2	0.07
APFF Sistema Arrecifal Lobos- Tuxpan, Ver.	198		198	0.04	0.03	1		1	0.04
PN Arrecife Alacranes	104		104	0.02	0.01	5		5	0.18
APFF Islas Marietas	76		76	0.01	0.01	5		5	0.18
Santuario Islas de la Bahía de Chamela, Jal.	89		89	0.02	0.01	31		31	1.12
PN Isla Isabel	66		66	0.01	0.01	2		2	0.07
RB Los Petenes, Camp.	55		55	0.01	0.01	2		2	0.07
RB Ria Celestun, Yuc.	41		41	0.01	0.01	1		1	0.04

Elaborado a partir de Conabio (2007).

Nota: Elementos insulares incluyen: isla, islote, cayo, morro, roca y barra. Excluyen: arrecife, banco y bajo. Superficie insular marina incluye: islas continentales y oceánicas.

Tabla 10 (continuación). Áreas Naturales Protegidas con presencia de ecosistemas insulares continentales, oceánicos e interiores en México.									
Áreas Naturales Protegidas (en el orden de magnitud de la superficie cubierta)	Sup. Insular marina en ANP (ha)	Sup. Insular interior en ANP (ha)	Sup. Insular total en ANP (ha)	% Sup. Insular del total en ANP	% Sup. Insular en ANP del total nacional (720 015 ha)	Número de elementos insulares marinos en ANP	Número de elementos insulares interiores en ANP	Número total de elementos insulares en ANP	% de elementos insulares en ANP del total nacional (2,774)
PN Sistema Arrecifal Veracruzano	38		38	0.01	0.01	1		1	0.04
PN Huatulco, Oax.	17		17	0.00	0.002	2		2	0.07
APFF Laguna Madre, Delta del Río Bravo, Tamps.		23 964	23 964	4.61	3.33		260	260	9.37
APFF Marismas Nacionales, Nay.		19 972	19 972	3.84	2.77		72	72	2.60
APFF Laguna de Términos, Camp.		15 676	15 676	3.01	2.18		15	15	0.54
RB Pantanos de Centla, Tab.		8 887	8 887	1.71	1.23		2	2	0.07
RB La Encrucijada, Chis.		1 112	1 112	0.21	0.15		10	10	0.36
RB Ría Lagartos, Yuc.		564	564	0.11	0.08		10	10	0.36
APFF Manglares de Nipchupre, Q. Roo		53	53	0.01	0.01		6	6	0.22
RB Arrecifes de Sian Ka'an, Q. Roo		30	30	0.01	0.004		2	2	0.07
Subtotal Federal	408 893	108 792	517 532	99.49	71.88	732	1 756	2 488	89.69
ZSCE Refugio Estatal de Flora y Fauna Laguna Colombia	1,114		1,114	0.21	0.15	Parcial		0	0.00
ZSCE Santuario del Manatí, Bahía de Chetumal, Q. Roo		1,500	1,500	0.29	0.21		17	17	0.61
P. Nat. Laguna de Chankanaab, Q. Roo	14		14	0.003	0.002	Parcial		0	0.00
ZSCE Reserva de Dzilam, Yuc.	2		2	0.0004	0.000	1		1	0.04
Subtotal Estatal	1,129	1,500	2,629	0.51	0.37	1	17	18	0.65
Total con decreto vigente	410 022	110 292	520 161	100.00	72.24	733	1 773	2 506	90.34
Elaborado a partir de Conabio (2007).									
Nota: Elementos insulares incluyen: isla, islote, cayo, morro, roca y barra. Excluyen: arrecife, banco y bajo. Superficie insular marina incluye: islas continentales y oceánicas.									

Tabla 10 (continuación). Áreas Naturales Protegidas con presencia de ecosistemas insulares continentales, oceánicos e interiores en México.

Áreas Naturales Protegidas (en el orden de magnitud de la superficie cubierta)	Sup. Insular marina en ANP (ha)	Sup. Insular interior en ANP (ha)	Sup. Insular total en ANP (ha)	% Sup. Insular del total en ANP	% Sup. Insular del total nacional (720 015 ha)	Número de elementos insulares marinos en ANP	Número de elementos insulares interiores en ANP	Número total de elementos insulares en ANP	% de elementos insulares en ANP del total nacional (2,774)
Federales	35 656	53 051	88 707	-	12.32	16	4	20	0.72
En proceso	3 938	-	3 938	-	0.55	Parcial	-	0	0.00
Total Federal	39 594	53 051	92 645	-	12.87	16	4	20	0.72
Estatual en proceso	23 382	-	23 382	-	3.25	Parcial	-	0	0.00
Total sitios en proceso de decreto	62 976	53 051	116 027	-	16.11	16	4	20	0.72
Gran total	472 998	163 343	636 188	-	88.36	749	1 777	2 526	91.06

Elaborado a partir de Conabio (2007).

Nota: Elementos insulares incluyen: isla, islote, cayo, morro, roca y barra. Excluyen: arrecife, banco y bajo. Superficie insular marina incluye: islas continentales y oceánicas.



Figura 5. Áreas Naturales Protegidas con presencia de ecosistemas insulares continentales, oceánicos e interiores en México.

Puntos = Islas incluidas en INEGI (2009a) (Bezaury y Castro, 2009c).

Polígonos grises = ANP (Bezaury *et al.*, 2007 y 2009)

PASTOS MARINOS

Las zonas cubiertas por pastos marinos o “seibadales”, se encuentran íntimamente ligadas a otros hábitats costeros como los arrecifes coralinos, los manglares, marismas salobres y arrecifes de bivalvos o de serpulidos. Los pastos marinos proporcionan al hombre una serie de importantes servicios ecosistémicos, entre los que destacan: el valor económico de varias especies de camarones y peces de importancia comercial que dependen de estos ecosistemas para su protección y alimentación; la capacidad de sus raíces y rizomas para estabilizar los sedimentos evitando así la erosión costera; y del hecho de que sus hojas filtran sedimentos y nutrientes suspendidos en la columna de agua manteniendo así su claridad (Björk *et al.*, 2008).

En la zona del Pacífico mexicano se encuentran cuatro especies de pastos, entre ellas *Zostera marina*, *Halodule wrightii* y *Ruppia maritima*. En las costas del Golfo de México están distribuidas siete especies, siendo probablemente la más abundante el zacate o hierba de tortuga (*Thalassia testudinum*), la hierba de manatí (*Syringodium filiforme*) y *Halodule wrightii*.

De acuerdo a Björk *et al.* (2008) las dos principales amenazas provocadas por actividades humanas para la persistencia de las zonas cubiertas por pastos marinos son: la carga excesiva de nutrientes que provoca condiciones de eutroficación y la carga excesivas de sedimentos que aumentan la turbiedad del agua limitando su crecimiento y/o establecimiento, además de otras presiones que afectan a su integridad entre las que se encuentran aquellas derivadas de la acu-

cultura, la contaminación, la navegación deportiva, los dragados, los rellenos y las prácticas destructivas de pesca. Estos mismos autores indican que entre las nuevas amenazas derivadas de los efectos del cambio climático se puede incluir: el aumento del nivel del mar, cambios en los regímenes de las mareas, daños por radiación ultravioleta, hipoxia o anoxia causada por sedimentos, el incremento de temperatura y las inundaciones. Debido a que estos ecosistemas aun no han sido mapeados, es difícil definir con precisión el papel que juegan actualmente las áreas naturales protegidas en su conservación.

En las áreas naturales protegidas del Golfo de California solo podemos encontrar pastos marinos en la RB Bahía de los Ángeles, canales de Ballenas y Salsipuedes en una laguna ubicada en la costa sureste de la isla Ángel de la Guarda, en el PN Bahía de Loreto y en la bahía de San Gabriel dentro del PN Zona Marina del Archipiélago de Espíritu Santo, no obstante que en las zonas marina aledaña de las islas Tiburón, Dátil, Alcatraz y San Esteban, que forman parte del APFF Islas del Golfo de California también se desarrollan comunidades de pastos marinos que aún no han sido incorporados al régimen de área protegida (Ramírez y Lot, 1994). En esta región el cambio climático podrá provocar tanto cambios en la fenología de los pastos marinos, como el remplazo de especies debido a que de acuerdo a los mismos autores, la época de mayor desarrollo, floración y fructificación es diferente entre las especies; *Z. marina* florece y fructifica durante el invierno, cuando la temperatura del agua es inferior a los 15°C, mientras que *H. wrightii*, se desarrolla mejor durante el verano, cuando la temperatura superficial del agua es superior a los 20°C.

En el Golfo de México y el Mar Caribe la extensión de los seibadales es mucho más amplia, ya que todas las áreas naturales protegidas que presentan arrecifes y comunidades coralinas y la mayor parte de aquellas con humedales costeros incluyen también comunidades de pastos marinos.

Al igual que para los demás ecosistemas la inclusión de pastizales marinos dentro de esquemas de redes de áreas naturales protegidas puede ser una herramienta importante para reducir las presiones locales y regionales que amenazan a estos ecosistemas y así aumentar su resistencia y resiliencia ante el cambio climático global.

PESQUERÍAS

Se prevé que los cambios en las condiciones oceánicas, entre los que destacan aquellos relacionados con la temperatura del agua y en las corrientes marinas, derivadas del cambio climático, podrán provocar modificaciones importantes en la distribución a gran escala del potencial de captura de las principales pesquerías a nivel global. Un análisis realizado por Cheung *et al.* (2009), plantea para que no obstante la variación del volumen total disponible entre 2005 y 2055 no será significativa, su distribución si será modificada previéndose un aumento que varía entre el 30–70% en las altas latitudes y una disminución de hasta un 40% en las regiones tropicales, en donde además se presentan condiciones socioeconómicas altamente vulnerables a estos cambios. Este mismo estudio prevé que el potencial de captura para un conjunto de 60

especies de importancia en las pesquerías mexicanas, se verá disminuido en alrededor del 4% para el país en conjunto, presentando afectaciones mucho más altas en la boca del Golfo de California y la porción sureste del Golfo de México.

El establecimiento de zonas de refugio, en las cuales no se permita la actividad pesquera tanto dentro de las áreas naturales protegidas, como afuera de estas, podrá mitigar en cierta medida dicha disminución, al favorecer condiciones óptimas para la reproducción y reclutamiento de las especies comerciales, al reducir la mortandad del stock reproductivo y la protección de los sitios con condiciones propicias para su reproducción, en las agregaciones reproductiva y en las zonas de reclutamiento y crianza.

ZONA COSTERA, DERECHOS DE PROPIEDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO

La validez de los conceptos tradicionales sobre la propiedad pública de la franja costera codificada a partir del siglo VI de nuestra era en el “Digesto Justiniano”, el cual constituye la base de nuestra legislación actual sobre el régimen de propiedad sobre la franja costera, serán dramáticamente puestos a prueba como resultado del cambio climático global y la elevación del nivel de las aguas marinas.

La patética lucha para tratar de recuperar las playas de Cancún, cuya pérdida aun no es directamente atribuible a los efectos cambio climático, sino a la tremendamente errónea decisión de ubicar las construcciones de este destino turístico sobre las dunas costeras que antaño permitían el ir y venir del mar sobre la costa y la formación de depósitos de arena que ayudaban a que las playas de la isla se restablecieran en forma natural, es solamente un presagio de los enormes problemas económicos, jurídicos y ambientales que enfrentaremos en un futuro como resultado del avance de las aguas del mar hacia tierra firme. Si nos apegamos estrictamente a la letra de la Ley, sencillamente la propiedad de porciones de los hoteles de Cancún o de sus instalaciones han pasado efectivamente a ser ahora propiedad de la Nación. Sin embargo es a la colectividad nacional a quien a partir de la administración del Presidente Fox se le ha cargado la responsabilidad de pagar el costo de la restauración de las playas, bajo el incontrovertible argumento del beneficio social que efectivamente representa el recuperar la base de la economía local como destino turístico internacional de “sol y playa” y que por ende estas dejen de ser propiedad de la nación³.

En estos términos, no resulta demasiado aventurado afirmar que las medidas más eficaces para la adaptación costera a los efectos del cambio climático que podríamos tomar en estos momentos en México, tanto para lograr la protección de los ecosistemas costeros y de los bienes y servicios que estos aun brindan a la sociedad, como para evitar futuros costos económicos y sociales derivados de la necesidad de reubicar infraestructura de alto costo y lamentar pérdidas de vidas humanas y sus bienes, se derivarán de: 1) imponer restricciones efectivas para evitar la construcción a lo largo de una franja costera a lo largo de una anchura variable en función de las condiciones topográficas locales, y 2) la adopción de una definición legal clara y precisa,

que en términos jurídicos especifique un límite legal claramente perceptible entre las aguas de propiedad nacional, línea a partir del cual se delimita la Zona Federal Marítimo Terrestre en los humedales cubiertos con vegetación, con respecto a aquellas superficies que puede ser consideradas efectivamente como “tierra firme” y por lo tanto ser sujetas a considerarse efectivamente sujetas a constituir propiedad privada o social y que sin embargo a partir del incremento del nivel del mar derivado del cambio climático muy probablemente se convertirán en “terrenos ganados al mar” y por ende en bienes propiedad de la nación.

En cuanto a la instrumentación de la primera medida las opciones disponibles incluyen: desde aquellas que representan una mayor fortaleza jurídica, como lo sería una ampliación substancial de la anchura de la franja costera considerada legalmente como Zona Federal Marítimo Terrestre, frente aquellos predios que aún no han sido desarrollados o cuando estos pretendan en el futuro obtener nuevos permisos de construcción, hasta opciones mas endebles basadas en planes de ordenamiento territorial de los centros de población o de programas de ordenamiento ecológico del territorio.

En cuanto a la segunda medida, el utilizar como indicadores ecológicos de la presencia de cuerpos de agua, tanto a cuando menos tres de las especies de mangle: el rojo, el negro y el blanco, como a otras especies hidrófilas que necesariamente crecen bajo un régimen de inundación temporal o permanente, facilitaría la precisión de este límite.

Aunque aparentemente todo está perfectamente definido en la legislación mexicana, precisamente en el caso de los manglares y de otros tipos de vegetación hidrófila costera y ribereña, es donde actualmente se presentan la mayor cantidad de conflictos en cuanto a su régimen de propiedad, ya que existen bordes de lagunas costeras permanentes o lagunas costeras estacionales con presencia de manglar en donde se han otorgado indebidamente títulos de propiedad privada y social por autoridades de los poderes ejecutivo y judicial del país. Asimismo cuando los manglares se desarrollan en las lagunas costeras, en muchas situaciones se incrementa la su-

³ Analizando a detalle esta situación, en el Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (Congreso de la Unión 1917) se establece en términos genéricos que “Son propiedad de la Nación...las aguas marinas interiores; la de las lagunas y esteros que se comuniquen permanente o intermitentemente con el mar;...”, situación que solo es aclarada ligeramente en el contenido de la Ley de Bienes Nacionales, la cual indica en sus Artículos 6 y 7 que “*Están sujetos al régimen de dominio público de la Federación...*” “*...la zona federal marítimo terrestre;... y los vasos de los lagos, lagunas y esteros de propiedad nacional;...*” y que “*la faja de veinte metros de zona federal marítimo terrestre se contará a partir del punto a donde llegue el mayor embalse anual o límite de la pleamar*” (Congreso de la Unión 2004). Finalmente el Reglamento para el Uso y Aprovechamiento del Mar Territorial, Vías Navegables, Playas, Zona Federal Marítimo Terrestre y Terrenos Ganados al Mar (SEDUE, 1991) establece de forma un poco más precisa en sus Artículos 5 y 3 que “*Las playas, la zona federal marítimo terrestre y los terrenos ganados al mar, o a cualquier otro depósito que se forme con aguas marítimas, son bienes de dominio público de la Federación, inalienables e imprescriptibles.*” y que “*La zona federal marítimo terrestre se deslindará y delimitará considerando la cota de pleamar máxima observada durante treinta días consecutivos en una época del año en que no se presenten huracanes, ciclones o vientos de gran intensidad y sea técnicamente propicia para realizar los trabajos de delimitación.*”

perficie de los terrenos secos sobre la de las lagunas (Chapman, 1967) mediante la realización de rellenos. En esta situación y de acuerdo a la legislación mexicana, estos terrenos constituyen terrenos ganados al mar y no demasías de los predios aledaños, como en muchos casos han sido considerados.

En cuanto a la implantación de ambas medidas, las cuales inevitablemente tendrán que ser aplicadas a mediano plazo como resultado del avance de las aguas del mar hacia tierra firme en mayor o menor medida a lo largo de todas las costas del país, las modalidades sobre la propiedad que por causa de utilidad publica actualmente pueden ser impuestas a la propiedad en el contexto del modelo actual de las áreas naturales protegidas mexicanas, presenta una oportunidad que facilitará la experimentación e implantación de este cambio paradigmático en México, en tanto el tema sea resuelto definitivamente por el Poder Legislativo mexicano.

SUGERENCIAS Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a lo planteado por Keller *et al.* (2008), algunas de las opciones de adaptación de los ecosistemas sensibles al cambio climático en las áreas marinas protegidas (AMP) también congruentes con las áreas naturales protegidas costeras apuntan hacia:

- La implementación de redes de AMP que incluyan réplicas de representaciones de todos los hábitats y comunidades presentes en los ecosistemas marinos, puede ser una herramienta eficaz para lograr la distribución de los riesgos derivados del cambio climático. Considerando que la ciencia relativa a la resiliencia de los ecosistemas está aún en proceso de desarrollo y que el cambio climático no afectará a los hábitats y especies en igual medida, la repartición espacial de los riesgos entre múltiples AMP hace sentido, sobre todo si se protegen múltiples representaciones de todos los hábitats. Asimismo, el utilizar información e incluir aquellos sitios que presentan características de “refugios”⁴ ante los impactos del cambio climático o a su función en cuanto a conectividad (patrones de corrientes que favorecen los flujos de larvas) deberá considerarse en el diseño de dichas redes. El uso de AMP de gran tamaño, puede ser apropiado para lograr la protección de múltiples sitios de refugio y de una amplia variabilidad en cuanto a los patrones de conectividad.
- La configuración más efectiva para las AMP podrá resultar de una red de áreas estrictamente protegidas, anidadas dentro de una matriz bajo estrategias de manejo más amplias. Áreas críticas a considerar para su protección estricta son las áreas de reproducción y crianza, las agregaciones reproductivas, las áreas con gran diversidad de especies o los sitios que presentan una gran cantidad de tipos de hábitats contiguos, así como las

⁴La identificación de sitios que son más estables durante periodos de cambio climático global o “refugios”, puede ser de gran utilidad para la conservación. Estos sitios pueden presentarse en condiciones de corrientes fuertes, de surgencias u otras características oceanográficas que los hace menos sujetos a los efectos de las variaciones termales (Hansen, 2003).

zonas que constituyan refugios climáticos potenciales. El manejo de las zonas aledañas a estos sitios, deberá de favorecer la conectividad que es esencial para lograr el reabastecimiento de las poblaciones dañadas, tanto como resultado de las actividades humanas, como por fenómenos naturales.

- La resiliencia ante el cambio climático puede incrementarse a través de estrategias de manejo que disminuyan las presiones antropogénicas y de aquellas que favorezcan la protección de los grupos funcionales clave. La mitigación de presiones locales, entre las que destacan: la sobreexplotación pesquera, el daño y destrucción de hábitats y el exceso de nutrientes, sedimentos y contaminantes, puede aumentar la capacidad de los ecosistemas y las comunidades para tolerar las presiones inducidas por el cambio climático, así como para recuperarse después de que los daños han ocurrido. La capacidad de resiliencia es también afectada por las relaciones tróficas, mismas que son características clave para el mantenimiento de la integridad de los ecosistemas. Un mecanismo ya identificado para el mantenimiento de la resiliencia, es el manejo de los grupos funcionales y específicamente al de los herbívoros. No obstante, se requiere incrementar el conocimiento sobre la función de las especies clave y sobre los procesos ecológicos que favorecen la resiliencia.
- Afrontar y superar los retos que plantea el cambio climático, requerirá de una colaboración creativa entre los diferentes y variados grupos de actores involucrados. Las AMP que refuercen la resiliencia social, podrán brindar a las comunidades la oportunidad de reforzar interrelaciones sociales constructivas, brindar estabilidad política y diversificar las opciones económicas. Entre las opciones que favorecen la resiliencia social se incluyen: la integración de sistemas de AMP dentro de una gama más amplia de iniciativas de manejo costero; la diversificación de las actividades económicas; la participación pública; la incorporación de los conocimientos empíricos; y, el acceso abierto a mecanismos de resolución de conflictos apropiados.

Dada la incertidumbre de la naturaleza y la magnitud exacta de los impactos y de las respuestas de los ecosistemas ante el cambio climático, Hansen *et al.* (2003) plantean que:

- Se requiere de una visión flexible que responda a estos cambios, así como de prácticas de manejo efectivo de los ecosistemas naturales que incluyan el uso de intervenciones activas de manejo adaptativo y la experimentación continua de estrategias.
- Las diversas prácticas de conservación experimentadas sean permanentemente evaluadas y por ende ajustadas conforme a la disponibilidad de nueva información.
- Cuando los impactos sean relativamente evidentes, será necesario el uso de intervenciones activas para incrementar la capacidad de adaptación y el monitoreo de dichas intervenciones, entre las que se incluyen: la migración asistida, la reintroducción de especies, el manejo no químico de plagas y enfermedades, quemas prescritas, control de especies invasoras, reducción de flujos artificiales de nutrientes a los ecosistemas marinos y dulceacuícolas.

- Ante la inevitabilidad de la extinción en el medio silvestre, recurrir a la conservación *ex situ* como un último recurso.
- Independientemente de la estrategia de manejo seleccionada, el monitoreo permanente es esencial para asegurarse de que las acciones efectivamente resultaran benéficas y no perniciosas.

El polémico tema en cuanto el utilizar o no como una herramienta válida para la conservación de la biodiversidad, a la “migración asistida” de ecosistemas y especies (McLachlan *et al.*, 2007, Hunter 2007), plantea la necesidad inmediata de un diálogo serio que permita analizar fríamente si las amenazas “no naturales” derivadas de la emisión de gases de efecto de invernadero que están provocando el cambio climático, justifican el uso extensivo de esta estrategia no evolutiva en términos estrictamente “naturales”. En este sentido, en México el tema deberá de ser abordado cuanto antes, tanto para todo el territorio nacional, como más específicamente en cuanto a la idoneidad de su utilización en las áreas naturales protegidas del país. La falta de una política pública científicamente bien fundamentada al respecto y de los lineamientos que de esta se deriven, repercutirá en un futuro cercano en la toma de decisiones apresuradas y casuísticas, que careciendo de bases científicas sólidas, no necesariamente beneficiarán la conservación del patrimonio biológico nacional. Toda una gama de nuevas propuestas emergentes para mitigar y adaptarse al cambio climático y cuyos impactos reales aun desconocemos, también tendrán que ser seriamente discutidas en México, incluyendo entre otros el controvertido tema de la fertilización oceánica para la captura de CO₂.

A manera de colofón se puede afirmar que sin menoscabar el papel que las áreas naturales protegidas costeras y marinas jugarán en la mitigación al cambio climático, su papel en la adaptación a este fenómeno para aminorar sus impactos sobre las actividades socioeconómicas que se efectúan en las costas mexicanas, adquirirá una especial relevancia. En este sentido y para lograr continuar accediendo a los beneficios que nos proveen, no nos podremos mantenernos con los brazos cruzados, sino que tendremos que protegerlas aplicando medidas de manejo adaptativo científicamente fundamentadas y operando esquemas permanentes que permitan el monitoreo de la efectividad de estas medidas.

Agradecimientos: Mercedes Bezaury Díaz, Marco Castro Campos, María Isabel Cruz López, Ana Luisa Guzmán, Marco Antonio Jiménez Hernández, Bárbara MacKinnon, Ignacio March Mifsut, Federico Páez Osuna, Héctor Reyes Bonilla, Evelia Rivera Arriaga, Juan Francisco Torres Origel.

LITERATURA CITADA

Bezaury-Creel J., R. Macías Ordóñez, G. García Beltrán, G. Castillo Arenas, N. Pardo Caicedo, R. Ibarra Navarro, A. Loreto Viruel. 1998. Implementación de la Iniciativa Internacional de los Arrecifes Coralinos (ICRI) en México, Documento Interno, CCA.

- Bezaury-Creel J. 2004. Las Áreas Naturales Protegidas Costeras y Marinas de México. p. 191 – 222. En: E. Rivera-Arriaga, G. J. Villalobos-Zapata, I. Azuz-Adeath y F. Rosado-May (eds.) 2004. El Manejo Costero en México. Universidad Autónoma de Campeche, Semarnat, CETYS-Universidad de Quintana Roo.
- Bezaury-Creel, J. E., J. F. Torres, y L. M. Ochoa Ochoa, 2007. Base de datos geográfica de Áreas Naturales Protegidas Federales de México. Modificado y adaptado de Conanp 2006. 1 Capa ArcGIS 9.2 + 1 Capa Google Earth (KMZ). (Actualizada a 10/10/2010)
- Bezaury-Creel, J. E., 2009. El valor de los bienes y servicios que las Áreas Naturales Protegidas proveen a los mexicanos. The Nature Conservancy Programa México - Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México D.F. 32p.
- Bezaury-Creel, J.E., J. Fco. Torres, L. M. Ochoa-Ochoa, Marco Castro-Campos, y N. Moreno, 2009. Base de datos geográfica de Áreas Naturales Protegidas estatales, del Distrito Federal y municipales de México - Versión 2.0, Julio 31, 2009. The Nature Conservancy / Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad / Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2 Capas ArcGIS 9.2 + 2 Capas Goggle Earth KMZ + 1 Archivo de Metadatos Word. (Actualizada a 10/10/2010)
- Bezaury-Creel, J. E., y M. Castro Campos, 2009a. Base de datos geográfica de arrecifes y comunidades coralinas en México en Baja Resolución. Versión 1.0. 1 Capa ArcGIS 9.2 + 1 Capa Google Earth KMZ
- Bezaury-Creel, J. E., y M. Castro Campos, 2009b. Base de datos geográfica de humedales costeros Mexicanos. Elaborada con base en: Contreras-Espinoza (1993) y Castañeda y Contreras (1995). Versión 1.0. 1 Capa ArcGIS 9.2 + 1 Capa Google Earth KMZ.
- Bezaury-Creel, J. E., y M. Castro Campos, 2009c. Base de Datos Geográfica de Rasgos Costeros, Islas y Arrecifes de México. Elaborado con base en INEGI (2009a). Versión 1.0. 1 Capa ArcGIS 9.2. + 1 Capa Google Earth KMZ. En: J.E. Bezaury-Creel y J. Fco. Torres. 2010. Bases de datos geográficas de las aguas marinas y costeras mexicanas, Versión 1.0. The Nature Conservancy. 42 Capas ArcGIS 9.2 + 21 Capas Google Earth KMZ + 1 Archivo de Metadatos en texto.
- Bezaury-Creel J. E., J. Fco. Torres, y M. Castro Campos, 2010a. Base de datos geográfica de la Zona Económica Exclusiva Mexicana, Versión 1.0.
- Bezaury-Creel J. E., J. Fco. Torres, y M. Castro Campos, 2010b. Base de datos geográfica de las aguas interiores mexicanas en la bahía de Chetumal, Versión 1.0.
- Bezaury-Creel J. E., J. Fco. Torres. 2010c. Base de Datos Geográfica de la Línea de Base Provisional para México, Versión 1.0. En: J.E. Bezaury-Creel, J. Fco. Torres. 2010. Bases de Datos Geográficas de las Aguas Marinas y Costeras Mexicanas, Versión 1.0. The Nature Conservancy. 42 Capas ArcGIS 9.2 + 21 Capas Google Earth KMZ + 1 Archivo de Metadatos en texto.
- Bezaury-Creel J. E., y J. Fco. Torres, 2010a. Base de datos geográfica del mar territorial mexicano, Versión 1.0.
- Bezaury-Creel J. E., y J. Fco. Torres, 2010b. Base de datos geográfica de la plataforma continental y plataformas insulares mexicanas. En: J.E. Bezaury-Creel y J. Fco. Torres. 2010. Bases de datos geográficas de las aguas marinas y costeras mexicanas, Versión 1.0. The Nature Conservancy. 42 Capas ArcGIS 9.2 + 21 Capas Google Earth KMZ + 1 Archivo de Metadatos en texto.
- Björk, M., Short F., E. Mcleod, y S. Beer. 2008. Managing Seagrasses for Resilience to climate Change. IUCN, Gland, Switzerland. 56 p.

- Burke L., y J. Maidens, 2004. Reefs at Risk in the Caribbean. World Resources Institute. Washington D.C. 80 pp.
- Calderon-Aguilera, L.E., H. Reyes-Bonilla, y J.D. Carriquiry, 2007. El papel de los arrecifes coralinos en el flujo de carbono en el océano: estudios en el Pacífico mexicano. p. 215 – 226. En: B. Hernández de la Torre, G. Gaxiola Castro (eds.). Carbono en Ecosistemas Acuáticos de México. Instituto Nacional de Ecología. México D.F. 508 p.
- Carilli J.E., R.D. Norris, B.A. Black, S.M. Walsh, y M. McField, 2009. Local stressors reduce coral resilience to bleaching. *PLOS ONE*, 4(7): e6324. doi:10.1371/journal.pone.0006324
- Carricart-Ganivet, J.P. y G. Horta-Puga, 1993. Arrecifes de coral en México. p 81-92 En: S.I. Salazar-Vallejo y N.E. González (eds). Biodiversidad Marina y Costera de México. Com. Nal. Biodiversidad y CIQRO, México, 865 p.
- Castañeda, O. y F. Contreras, 1995. Ecosistemas Costeros Mexicanos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de La Biodiversidad y Universidad Autónoma Metropolitana. Formato CD-ROM.
- Chapman V. J., 1967. Laggons and mangrove vegetation. p. 505 – 514. En: UNAM – UNESCO. Lagunas Costeras, Un Simposio. Mem. Simp. Interim. Lagunas Costeras. Nov.28 . 30, 1967. México D. F. 688 p.
- Cheung, W.W.L, V.W.Y. Lam, J. L. Sarmiento, K. Kearney, R. Watson, D. Zeller, y D. Pauly, 2009. Large-scale redistribution of maximum fisheries catch potential in the global ocean under climate change. *Global Change Biology*, doi: 10.1111/j.1365-2486.2009.01995.x
- Conabio, 2007. Base de datos georreferenciada de elementos insulares utilizada para el análisis de vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad marina de México: océanos, costas e islas. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, The Nature Conservancy-Programa México, Pronatura A.C. Incluye entre otros elementos de las siguientes coberturas geográficas:
- Conabio, 2005. Islas de México. Compilación cartográfica. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad Escala 1:250 000. México.
- Conabio, 2008. Distribución de los manglares de México. Escala 1:50 000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad Extraído del proyecto DQ056: Programa de monitoreo de los manglares de México a largo plazo, primera etapa. México D.F., México.
- Conabio, 2008a. Manglares de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 36 p.
- Conabio, 2008b. Distribución de los manglares de México dentro de las Áreas Naturales Protegidas Federales en México. Escala 1:50 000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Extraído del proyecto DQ056: Programa de monitoreo de los manglares de México a largo plazo, primera etapa. México D.F., México.
- Conabio, 2008c. Distribución de los manglares de México dentro de las Áreas Naturales Protegidas Estatales en México. Escala 1:50 000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Extraído del proyecto DQ056: Programa de monitoreo de los manglares de México a largo plazo, primera etapa. México D.F., México.
- Conabio, 2008d. Distribución de los manglares de México dentro de las Áreas Naturales Protegidas Municipales en México. Escala 1:50 000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Extraído del proyecto DQ056: Programa de monitoreo de los manglares de México a largo plazo, primera etapa. México D.F., México.

- Conabio, 2009. Manglares de México: Extensión y distribución. 2ª ed. Comisión Nacional para el Conocimiento u Uso de la Biodiversidad. México. 99 p.
- Congreso de la Unión, 1917. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, Centro de Documentación, Información y Análisis. Última Reforma Diario Oficial de la Federación 04/05/2009. <http://www.cofepris.gob.mx/work/sites/cfp/resources/LocalContent/465/3/constitucion.pdf>.
- Congreso de la Unión, 2004. Ley General de Bienes Nacionales. Secretaría de la Función Pública Diario Oficial de la Federación 20/05/2004.
- Contreras-Espinoza, F., 1993. Ecosistemas Costeros Mexicanos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Universidad Autónoma Metropolitana. 416 p.
- Contreras-Espinoza F., y B. G. Warner, 2004. Ecosystem characteristics and management considerations for coastal wetlands in Mexico. *Hydrobiologia*, 511: 233–245.
- Cornell, H. V., 1993. Unsaturated patterns in species assemblages: the role of regional processes in setting local species richness. p. 243–252. *In*: R.R. Ricklefs and D. Schluter (eds.), *Species Diversity in Ecological Communities*. Univ. Chicago Press. Chicago.
- Coastal Resources Center–University of Rhode Island and International Resources Group (CRC–URI, IRG), 2009. Adapting To Coastal Climate Change, a Guidebook for Development Planners. United States Agency for International Development (USAID). 147 pp. http://www.usaid.gov/our_work/cross-cutting_programs/water/news_announcements/coastal_climate_change_report.html
- Dudley, N., 2003. No Place to Hide: Effects of Climate Change on Protected Areas. WWF Climate Change Programme. www.panda.org/climate/pa_manual.
- Ferré-D'Amaré, A.R., 1985. Coral Reef of the Mexican Atlantic: Review. Proceedings of the Fifth International Coral Reef Congress, Tahiti, 1985, Vol. 2
- Field, J.C., D. F. Boesch, D. Scavia, R. Buddemeier, V. R. Burkett, D. Cayan, M. Fogarty, M. Harwell, R. Howarth, C. Mason, L. J. Pietrafesa, D. Reed, T. Royer, A. Sallenger, M. Spranger, y J. G. Titus, 2001. Potential Consequences of Climate Variability and Change on Coastal Areas and Marine Resources. Chapter 16. p. 461–487. Derived from: Kleypas, J.A., J.W. McManus, and L.A.B. Menez, Environmental limits to coral reef development: Where do we draw the line? *American Zoologist*, 39:146–159. *In*: National Assessment Synthesis Team (NAST) Climate Change Impacts on the United States: The Potential Consequences of Climate Variability and Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, 612 p. <http://www.usgcrp.gov/usgcrp/Library/nationalassessment/> <http://www.usgcrp.gov/usgcrp/Library/nationalassessment/16Coastal.pdf>
- Gold-Bouchot, G., 2004. Hidrocarburos en el sur del Golfo de México. p. 657 – 682. *En*: M. Caso, I. Pisanty, y E. Ezcurra. Diagnóstico ambiental del Golfo de México, Volumen 2. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Instituto de Ecología A.C., Harte Research Institute for Gulf of México Studies. 1108 p.
- Hansen, L. J., J. L. Biringer, J. R. Hoffman, (eds), 2003. Buying time: Building Resistance and Resilience to Climate Change in Natural Systems. World Wildlife Fund. 246 p.
- Hansen, L. J., 2003. Increasing the resistance and resilience of tropical marine ecosystems to climate change. Chapter 6. p. 157 – 176. *In*: L. J. Hansen, J. L. Biringer, and J. R. Hoffman, (eds). Buying time: Building Resistance and Resilience to Climate Change in Natural Systems. World Wildlife Fund. 246 p.

- Hoegh-Guldberg, O, P. J. Mumby, A. J. Hooten, R. S. Steneck, P. Greenfield, E. Gomez, C. D. Harvell, P. F. Sale, A. J. Edwards, K. Caldeira, N. Knowlton, C. M. Eakin, R. Iglesias-Prieto, N. Muthiga, R. H. Bradbury, A. Dubi, y M. E. Hatzioios. 2007. Coral Reefs Under Rapid Climate Change and Ocean Acidification. *Science*, 318: 1737 – 1742.
- Horta-Puga, G., 2003. Condition of selected reef sites in the Veracruz reef system (stony corals and algae). In: J.C. Lang (ed.) Status of coral reefs in the Western Atlantic: results of initial surveys, Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment (AGRRA) program.
- Howel, S. N. G., S. Webb, y B. M. de Montes, 1990. Notes on Tropical Terns in Mexico. *American Birds*, Vol. 44, No. 3. National Audubon Society.
- Hunter, M., 2007. Climate Change and Moving Species: Furthering the Debate on Assisted Colonization. *Conservation Biology*, 21(5):1356–1358.
- Iglesias-Prieto, R., H. Reyes-Bonilla, R. Riosmena-Rodríguez, 2003. Effects of 1997-1998 ENSO on Coral Reef Communities of the Gulf of California, Mexico. *Geofísica Internacional*, Vol. 42(3): 467-471.
- INEGI, 1984. Geografía en informática, Dirección General de Geografía, México Marzo 26 de 1984. Citado por: Contreras-Espinoza, 1993.
- INEGI, 1991. Datos Básicos de la Geografía de México, Pág. 27. México.
- INEGI, 2003. Información Geográfica / Datos básicos / Extensión, fronteras, litorales y Zona Económica Exclusiva. <http://www.inegi.gob.mx/difusion/espanol/figdatb.html>. Consultada: Julio 2003.
- INEGI, 2005. Marco Geoestadístico Municipal 2005 Versión 1.0. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes.
- INEGI, 2005. Territorio Insular de México. Continuo Nacional, Primera Edición, Escala 1:250,000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags., México. http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/Marco_Geoestadistico.aspx. Consultada: Octubre 2010.
- INEGI, 2009a. Marco Geoestadístico Municipal 2009 Versión 4.1. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes. http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/Marco_Geoestadistico.aspx. Consultada: Octubre 2010.
- INEGI, 2009b. Conjunto de Datos Vectoriales de la Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Escala 1:250,000, Serie IV (Conjunto Nacional). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes.
- IPCC, 2007: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976 p.
- Jordán, E., 1993. El ecosistema Arrecifal Coralino del Atlántico Mexicano. *Rev. Soc. Mex. Hist. Nat.*, Vol. Esp. (XLIV): 157-175.
- Jordán, E. J.T. Ketchum, y H. Reyes-Bonilla, 2001. Taxonomía y distribución de los corales hermatípicos (Scleractinia) del Archipiélago de Revillagigedo, México. *Rev. Biol. Trop.*, 49(3-4): 803-848.
- Jordán-Dahlgren, E., 1992. Recolonization patterns of *Acropora palmata* in marginal environments. *Bulletin of Marine Science*, 51(1):104-117. Citado por: Horta-Puga, G. 2003.

- Jordán-Dahlgreen, E., 2004. Los Arrecifes Coralinos del Golfo de México: caracterización y diagnóstico. p. 555 – 571. En: M. Caso, I. Pisanty, y E. Ezcurra. Diagnóstico ambiental del Golfo de México, Volumen 1. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Instituto de Ecología A.C., Harte Research Institute for Gulf of México Studies. 1108 p.
- Keller, B. D., S. Airamé, B. Causey, A. Friedlander, D. F. Gleason, R. Grober-Dunsmore, J. Johnson, E. McLeod, S. L. Miller, R. S. Steneck, y C. Woodley, 2008. Marine Protected Areas, Chapter 8 p. 1-43. In: S.H. Julius, J.M. West J.S. Baron, L.A. Joyce, P. Kareiva, (eds.), Preliminary review of adaptation options for climate-sensitive ecosystems and resources. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA, 873 p.
- Kier G., H. Kreft, T. Ming-Lee, W. Jetz, P. L. Ibsch, C. Nowicki, J. Mutke, y W. Barthlott, 2009. A global assessment of endemism and species richness across island and mainland regions. *PNAS*, 106: 9322-9327.
- Kiihlhlann, D. H. H., 1975. Charakterisierung der korallenriffe vor Veracruz/Mexiko. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie*, 60:495-521. Citado por: Horta-Puga, G. 2003.
- Lara, M., C. Padilla, C. García y J.J. Espejel, 1992. Coral Reef of Veracruz Mexico I. Zonation and Community. Proceedings of the Seventh International Coral Reef Symposium, Guam, 1992, Vol. 1.
- Lirman D., P. W. Glynn, A. C. Baker, y G. E. Leyte-Morales, 2001. Combined effects of three sequential storms on the Huatulco coral reef tract, Mexico. *Bulletin of Marine Science*, 69(1): 267–278.
- López-Pérez, R. A., y A. López-García, 2008. Identificación de sitios prioritarios para la conservación de corales formadores de arrecifes en el estado de Oaxaca, México. *Hidrobiológica*, 18(3): 239-249.
- López Portillo J., y E. Ezcurra. 2002. Los manglares de México: una revisión. *Madera y Bosques*, No. especial: 27-51.
- Lowry, W. R., 1998. Preserving public lands for the future: the politics of intergenerational goods. Georgetown University Press. Washington D.C. 298 p.
- Machkour-M'Rabet, S., Y. Hénaut, P. Charruau, M. Gevrey, P. Winterton, y L. Legal, 2009. Between introgression events and fragmentation, islands are the last refuge for the American crocodile in Caribbean Mexico. *Mar. Biol.*, 56:1321–1333.
- McField M., N. Bood, A. Fonseca, A. Arrivillaga, A. Franquesa-Rinos, y R. M. Loreto-Viruel, 2008. Status of the Mesoamerica Reef after the 2005 Coral Bleaching Event. Chapter 5. p 45-60. In: C. Wilkinson, and D. Souter. Status of Caribbean coral reefs after bleaching and hurricanes in 2005. Global Coral Reef Monitoring Network, and Reef and Rainforest Research Centre, Townsville, 152 p.
- McLachlan, J. S., J. J. Hellmann, y M. W. Schwartz, 2007. A Framework for Debate of Assisted Migration in an Era of Climate Change. *Conservation Biology*, 21(2): 297–302.
- McLeod, E., y R. V. Salm, 2006. Managing Mangroves for Resilience to Climate Change. IUCN, Gland, Switzerland. 64 p.
- Medina-Rosas P., J. D. Carriquiry, y A. L. Cupul Magaña, 2005. Reclutamiento de Porites (Scleractinia) sobre sustrato artificial en arrecifes afectados por El Niño 1997-1998 en bahía de Banderas, Pacífico mexicano. *Ciencias Marinas*, 31(1A): 103-109.
- Metz B., O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, y L.A. Meyer (eds). 2007. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

- Millennium Coral Reef Mapping Project (MCRMP), 2004. Geomorphologic mapping of coral reef and other benthic structures database for the Mesoamerican Reef System. University of South Florida, Institute for Marine Remote Sensing (IMARS)
- Mohr, J., 2008. Biodiversity, Protected Areas, and Climate Change: A Review and Synthesis of Biodiversity Conservation in Our Changing Climate. Internal report:: Native Geographic, LLC /The Nature Conservancy, Global Protected Areas Unit. Arlington, Va. 48 p.
- Mulholland P. J., G. R. Best, C. C. Coutant, G. M. Hornberger, J. L. Meyer, Peter J. Robinson, J. R. Stenberg, R. E. Turner, F. Vera-Herrera, y R. G. Wetzel, 1997. Effects of Climate Change on Freshwater Ecosystems of the South-Eastern United States and the Gulf Coast of Mexico. *Hydrological Processes*, 11: 949 - 970.
- Mumby, P. J., Al. J. Edwards, J. E. Arias-González, K. C. Lindeman, P. G. Blackwell, A. Gall, M. I. Górczynska, A. R. Harborne, C. L. Pescod, H. Renken, C. C. C. Wabnitz, y G. Llewellyn, 2004. Mangroves enhance the biomass of coral reef fish communities in the Caribbean. *Nature*, 427(5): 533-536.
- Nellemann, C., Corcoran, E., Duarte, C. M., Valdes, L., DeYoung, C., Fonseca, L., Grimsditch, y G. (eds), 2009. Blue Carbon. A Rapid Response Assessment. United Nations Environment Programme, GRID-Arendal.
- Ochoa-Lopez, E., H. Reyes-Bonilla, y J. Ketchum-Mejia. 1998. Daños por sedimentación a las colonias coralinas del sur de la Isla Socorro, Archipiélago de Revillagigedo, México. *Ciencias Marinas*, 24(2): 233-240.
- Ortiz-Pérez, M.A., y A. P. Méndez-Linares. 2000. Repercusiones por ascenso del nivel del mar en el litoral del Golfo de México. p- 73 -85. En: C. Gay García (Compilador). México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. Instituto Nacional de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, US Country Studies Program. México, 220 p.
- Palacio-Prieto J.L., G. Bocco, A. Velázquez, J. F.Mas, F. Takaki-Takaki, A. Victoria, L. Luna-González, G. Gómez-Rodríguez, J. López-García, M. Palma Muñoz, I. Trejo-Vázquez, A. Peralta Higuera, J. Prado-Molina, A. Rodríguez-Aguilar, R. Mayorga-Saucedo, y F. González Medrano, 2000. La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del Inventario Forestal Nacional 2000. *Boletín del Instituto de Geografía*, 43: 183-203.
- Pacheco-Ruiz, I., J. A. Zertuche González, A. E. Meling-López, R. Riosmena-Rodríguez, y J. Orduña-Rojas, 2006. El límite norte de *Rhizophora mangle* L. en el golfo de California, México. *Ciencia y Mar*, X(28): 19-22.
- Ramírez, G. P., y A. Lot, 1994. La distribución del manglar y de los “pastos marinos” en el Golfo de California, México. *An. Inst. Biol. Ser. Bot.*, 65 (1): 63-72.
- Ranefeld, J. W., 1972. The Stony corals of Enmedio Reef off Veracruz, México. M. S. Thesis, Oceanography. Texas A&M University, College Station. Texas. 104 p. Citado por: Horta-Puga, G., 2003.
- Reyes-Bonilla, H., y A. López-Pérez, 1998. Biogeografía de los corales pétreos (Scleractinia) del Pacífico de México. *Ciencias Marinas*, 24(2): 211-224.
- Reyes-Bonilla, H., J.D. Carriquiry, G.E. Leyte-Morales, y A.L. Cupul-Magaña. 2002. Effects of the El Niño-Southern Oscillation and the anti-El Niño event (1997–1999) on coral reefs of the western coast of México. *Coral Reefs*, 21: 368–372.
- Reyes-Bonilla, H., 2003. Coral reefs of the Pacific coast of Mexico. p. 331-350. En: J. Cortés (ed), Latin America Coral Reefs. Elsevier, Amsterdam.

- Royal Society, 2009. The Coral reef Crisis: scientific justification for critical CO₂ threshold levels of < 350 ppm. Output of the technical working group meeting at the Royal Society. London. Citado en: TEEB - The Economics of Ecosystems and Biodiversity. 2009. TEEB Climate Issues Update. September 2009.
- SEMAR, 2003. Acuerdo mediante el cual las secretarías de Marina, de Comunicaciones y Transportes, y de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, establecen medidas de seguridad en la Sonda de Campeche. Diario Oficial de la Federación, 11/09/2003
- SEDUE, 1991. Reglamento para el Uso y Aprovechamiento del Mar Territorial, Vías Navegables, Playas, Zona Federal Marítimo Terrestre y Terrenos Ganados al Mar. Diario Oficial de la Federación 21/08/1991
- Semarnap, 1997. México. Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. México D. F. 150 pp.
- Semarnap, 2000. Base de Datos Geográfica del Inventario Forestal Nacional 2000. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca - Instituto de Geografía de la UNAM. 1 Capa ArcGIS.
- Snedaker, S., J.C. Clark, y I. Olmsted. 1991. The Status of Biodiversity in Quintana Roo, Yucatán. Division of Marine Biology and Fisheries, The Rosentiel School of Marine and Atmospheric. University of Miami, Florida, USA. 37 p.
- Spalding M. D., C. Ravilious, y E. P. Green. 2001. World Atlas of Coral Reefs. UNEP World Conservation Monitoring Centre. University of California Press, Berkeley, USA. 424 p.
- Torrescano N., y G. A. Islebe, 2006. Tropical forest and mangrove history from southeastern Mexico: a 5000 yr pollen record and implications for sea level rise. *Veget. Hist. Archaeobot.*, (2006)15: 191–195.
- Tunnell, J. W., 1992. Natural versus human impacts in the Southern Gulf of Mexico coral reef resources. Proceedings of the Seventh International Coral Reef Symposium. Guam, 1:300-306. Citado por: Horta-Puga, G. 2003.
- UNEP/IUCN, 1988. Coral reefs of the World. Volume I: Atlantic and Eastern Pacific. UNEP Regional Seas Directories and Bibliographies. IUCN, Gland, Switzerland y Cambridge, UK/UNEP, Nairobi, Kenya, xlvii + 373 pp., 38 maps.
- Veron J.E.N., O. Hoegh-Guldberg, T.M. Lenton, J.M. Lough, D.O. Obura, P. Pearce-Kelly, C.R.C. Sheppard, M. Spalding, M.G. Stafford-Smith, y A.D. Rogers, 2009. The coral reef crisis: The critical importance of <350 ppm CO₂. *Marine Pollution Bulletin* 58: 1428–1436.
- West, J.M., y R.V. Salm, 2003. Resistance and resilience to coral bleaching: Implications for coral reef conservation and management. *Conservation Biology*, 17: 956-967.
- WWF, 2002. Base de datos de arrecifes coralinos generada para: P. A. Kramer, P. R. Kramer and M. McField (eds.). Ecoregional Conservation Planning for the Mesoamerican Caribbean Reef. World Wildlife Fund. Washington D. C. 140 p.