Cambio Climático en México
un Enfoque Costero y Marino

Economía y usos de espacios costeros y marinos

Haces Zorrilla M.A., 2010. Enfoques para contemplar el cambio climático, p. 291-304. 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.

Enfoques para contemplar el cambio climático

Miguel Angel Haces Zorrilla

Resumen

El flujo energético proporcionado por el Sol permite al sistema Tierra sostener la vida. Este flujo emanado del Sol tiene la característica de ser permanente, es recibido por las capas exteriores de la atmósfera con fluctuaciones estacionales debidas a las condiciones en que gira la Tierra alrededor del Sol, fluyendo además la radiación que emite la Tierra hacia el espacio exterior. Estos flujos de energía son fijos en lapsos suficientemente largos y asegura la permanencia de los sistemas, y los cambios cuando suceden, son paulatinos, permitiendo a los sistemas adaptarse a los pequeños cambios de flujo energético. El cambio en el ritmo de uso de energía por el ser humano se incrementa y genera aumentos de temperatura en la capa atmosférica que impactan a un buen número de sistemas que operan en la Tierra y pueden desencadenar cambios que perjudiquen al ser humano y su entorno. Como los recursos son finitos y el crecimiento de la población mundial aumenta desde hace siglos, el hombre requiere realizar acciones con enfoques micro, que al realizarse masivamente impacten de manera macro la generación de desechos, especialmente los gases de efecto invernadero (GEI), reutilizando recursos en la misma proporción en que crece la población, y lograr disminuir la emisión de GEI. Para actividades industriales, debe reciclarse en la proporción en que aumente la actividad del sector, más el porcentaje que se requiera reducir los desechos para alcanzar la meta del año base de referencia.

Introducción

Las actividades antropogénicas, por la inmensa cantidad y diversidad de acciones que representan, tienen influencia en el medio ambiente por los cambios y modificaciones que se generan en este como respuesta a dichas actividades humanas.

El efecto diferencial de acciones en cantidades muy altas, como las actividades humanas, generan cambios macro en el sistema Tierra en lapsos a diferentes escalas de interés humano: desde instantes hasta siglos y milenios, por lo que reducir la magnitud de dichos cambios, por necesidad, pasan por acciones de compensación micro, realizadas por personas y familias, para revertir dichos cambios. Esta idea referida a los recursos utilizados por cada generación dejando a la siguiente generación al menos los mismos recursos *per cápita* fue propuesta por Bruntland (1972)[1] en la cumbre de Estocolmo (Suecia).

En el otro extremo, evitar actividades humanas se convierte en impedimento para el desarrollo sustentable, puesto que un recurso existe en cuanto lo utiliza el hombre como especie. No utilizar los recursos equivale a regresar a estados de desarrollos que reduciría la población masivamente si no se dispusieran de las facilidades y beneficios de los servicios llamados básicos que permiten vivir con calidad en el siglo XXI: agua potable, alimentación, disposición de las aguas servidas, sean grises, negras o industriales apropiadamente, energía, vivienda y servicios de salud.

Por los efectos de la fiebre denominada por la OMS como la influenza humana que aparece durante el mes de abril del año 2009 en nuestro país; la aviar que se espera puede presentarse en cualquier invierno o alguna semejante, se pensaría que los servicios de salud debería nombrarse en primer lugar; no hubo intención de nombrarse los servicios en algún orden o por sector económico en particular.

No hay razón por la que la protección ambiental y la justicia social estén en conflicto. El reto es desarrollar políticas que promuevan ambos. La explotación de los recursos naturales tiene como meta alcanzar el rendimiento máximo sustentable (Bojórquez y Ortega, 1988).

La población mundial gravita sobre el uso de los recursos disponibles a su alcance, donde: países, sociedades organizadas en estados, ciudades, villas, pueblos, grupos humanos menores, apuntalando su desarrollo o en conflictos que inhiben su crecimiento como grupo, todos buscando alcanzar estados de bienestar donde prive la tolerancia, el apoyo mutuo y una calidad de vida, considerada mejor, si se tienen períodos de la misma, aceptada por la persona en concordancia con su concepto de felicidad; en una palabra, dignificada como existencia humana.

Considerando la mayor riqueza de un ente su existencia; del ser humano, además, su conciencia, aparejada con la libertad de que dispone, limitada en cierta medida por la libertad de su semejante, por sus circunstancias como persona, especie y su medio; busquemos el desarrollo sustentable del ser humano para que éste pueda aspirar a una existencia con períodos de vida plenos; considerada la plenitud en sus dos aspectos básicos: el cuerpo y la mente; la parte

[1] Informe Brundtland, 1972, Estocolmo (Suecia), PNUMA.

biológica y la emotiva. Respecto a la primera que tenga salud, en el sentido amplio; respecto a la segunda, acepta la persona sus circunstancias: espirituales, culturales y físicas.

Lo anterior sin menoscabo de los esfuerzos que cada individuo puede realizar para alcanzar metas específicas afines a sus intereses particulares, sin perder de vista que su libertad empieza donde termina la del prójimo.

El medio físico, tiene capacidad de proporcionarle al hombre condiciones que le permitan conservar su riqueza primitiva, su existencia; el resto depende de las actividades propias de este y del conjunto de personas con las que vive y convive como persona. Los seres humanos organizados en sociedades tienen que procurar equilibrar su desempeño para alcanzar estados de desarrollos sustentables como sociedad y sus miembros busquen alcanzar existencias humanas plenas, al menos para la mayoría de la sociedad , y a la totalidad del grupo social satisfacerle las condiciones adecuadas para su salud, para su existencia física adecuada como persona, teniendo como meta, al menos, vivir sanamente, y al final de sus días, ser humanamente atendido por los servicios de salud de la sociedad en la que viva.

Las bases de la permanencia de las especies, incluida la humana, supone la permanencia de entornos con cambios paulatinos, al grado de que nuestra especie pueda adaptarse. Si los cambios son acelerados, en magnitud tal que imposibilitan la adaptación de la especie, ésta debe prever cómo encontrar adecuaciones forzadas que funcionen como adaptaciones tecnológicas y permitan a un número de especies y al humano entre ellas funcionar en ecosistemas sustentables. En caso de no lograr adecuaciones forzadas, lástima por nuestra especie. El mundo seguirá girando varios miles de millones de años más sin la compañía de la única especie con conciencia de si misma.

Nuestro Sol

La radiación solar total que llega a la Tierra, que para fines prácticos se puede considerar constante, con fluctuaciones entre valores medios de máximas y mínimas de 0.07% de la radiación media (figura 1), no son suficientes para producir cambios como indican las simulaciones con los modelos actuales que incluyen gases de efecto invernadero (GEI), por lo que es creíble que fundamentalmente éstos últimos son responsables de un alto porcentaje del cambio climático, como se comentan en estudios avalados por el IPCC[2].

Mediciones de la radiación solar total (recogida a través de todas las longitudes de onda) tomadas durante la era espacial se indican en la figura 1. ¿Qué es el mínimo solar y por qué debe importarnos?

Esta gráfica indica que durante los aproximadamente 32 años de registros, la radiación solar total fluctúa en límites que se pueden considerar estrechos, dado que de los promedios mínimos a los máximos se tiene 0.07% de variación, respecto de la media de 1 366 Wm^{-2}. Por

[2] Intergovernmental Panel on Climate Change, Fourth Assessment Report, Climate Change 2007.

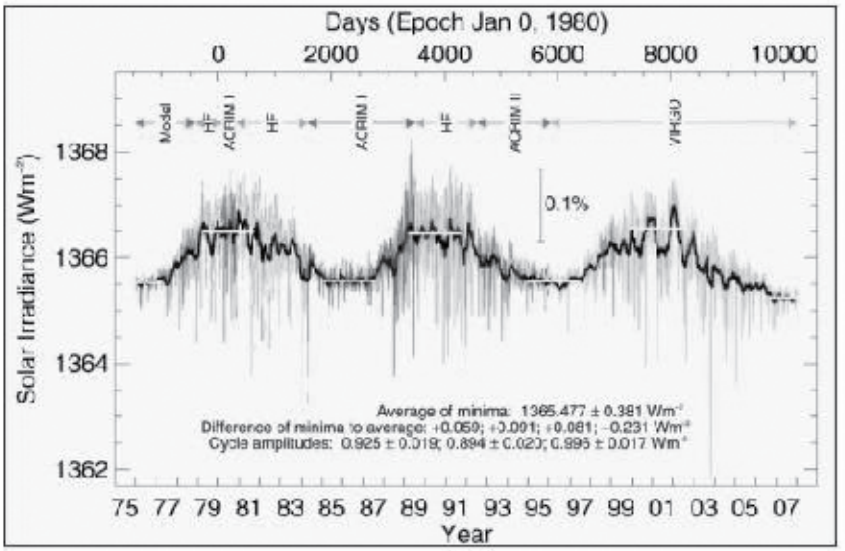

Figura 1. Radiación solar anual promedio y su variabilidad 1975-2007.
(http://www.pmodwrc.ch/).

supuesto nadie puede predecir si no tendrá el Sol algún eructo energético, pues no se conoce de la física solar interna lo suficiente como para modelar un comportamiento a largo plazo. Sin embargo, se puede modelar el cambio climático suponiendo condiciones medias de radiación solar, como alternativa creíble en periodos semejantes a las mediciones realizadas por los equipos instalados en los satélites.

Medidas tomadas cuidadosamente utilizando varias naves espaciales de la NASA[3] demuestran que el brillo solar se ha reducido un 0,02% en longitudes de onda visibles y un 6% en longitudes de onda del ultravioleta extremo desde que ocurrió el mínimo solar de 1996. Al menos hasta el momento, estos cambios no son suficientes como para revertir el curso del calentamiento global.

No obstante, la tecnología moderna no es capaz de predecir lo que ocurrirá después. Los modelos que han sido propuestos por decenas de destacados físicos solares están en desacuerdo, a veces en marcado contraste, respecto de cuándo terminará este mínimo solar y de cuán grande será el próximo máximo solar. Pesnell ha examinado la literatura científica y ha preparado un "gráfico de estilo piano[4] que muestra el rango de predicciones. La mayor incertidumbre surge de un hecho muy simple: nadie conoce por completo la física que subyace detrás del ciclo de una mancha solar.

[3] http://www.pmodwrc.ch/ 29/05/2009.
[4] http://ciencia.msf.nasa.gov/headlines/y2009/images/deepsolamminimum/pianopilot_spanish.jpg, 19/05/2009.

Límites del crecimiento

La NASA[5] intentó reproducir ecosistemas autónomos en espacios aislados de su entorno, alcanzando hasta 1.3 hectáreas las instalaciones autónomas; con la finalidad de definir necesidades de avituallamiento, por decirlo de alguna manera, durante viajes interplanetarios. Este experimento mostró la dificultad de reproducir sistemas autónomos permanentes para la supervivencia humana.

El crecimiento poblacional implica aumento y necesidad de satisfacer las demandas de recursos naturales, económicos, productivos, comerciales, administrativos, legales (de orden y control), culturales, sociales y las que adicionalmente se consideren.

El reto es: ¿Cómo asegurar mantener, ante el aumento de una población, los recursos necesarios para cada ser humano sin menoscabo para las futuras generaciones? Reciclar, consumir responsablemente, no desperdiciar, ahorrar, en resumidas cuentas, administrar los recursos con que se cuentan. Se considera que cada dólar invertido en prevención ahorra 8 dólares en mitigación (Sánchez, 2007).

El proceso de administrar es la gestión que, implica cambio de actitudes y generar valores para realizar esfuerzos tendientes a cerrar el ciclo: dejar para la siguiente generación al menos los mismos recursos *per capita*.

Dicho en otras palabras, cada elemento diferencial generador de residuos, conceptuado para fines prácticos como una persona o familia, debe reciclar en función del número de sus descendientes.

Meadows[6] vaticina referente al consumo de recursos en 1972: Si se mantienen las tendencias actuales de crecimiento de la población mundial, industrialización, contaminación ambiental, producción de alimentos y agotamientos de los recursos, éste planta alcanzará el límite de su crecimiento en el curso de los próximos cien años. El resultado más probable sería un súbito e incontrolable descenso tanto de la población como de la capacidad industrial.

Cambio climático

El cambio climático, se conceptúa como cambios en la estadística de las variables climáticas en períodos de tiempo de años, estandarizado en lapsos de 30 años por diferentes paneles, (IPCC, 2001).

La disponibilidad del agua se puede definir a través de diferentes índices; dependiendo del enfoque. Respecto a la flora se conceptúa el Índice de aridez:

$$Ia = (ETP - ETR) / ETP$$

Ia = Índice de aridez
ETP = Evapotranspiración potencial,
ETR = Evapotranspiración real.

[5] Biósfera II, http://en.wikipedia.org/wiki/Biosphere_2, 19/05/2009.
[6] D.L Meadows *et al.*, 1972. Los Límites del Crecimiento.

En donde se considera los valores de la manera siguiente:

Ia > 0.60 Altamente deficitarias

0.50< Ia < 0.59 Deficitarias

0.40< Ia < 0.49 Normales a deficitarias

0.15< Ia Excedentes

Otro índice que permite conocer la potencialidad pérdida de agua se indica en función de la capacidad teórica de evaporación que tiene la energía del sol incidente por unidad de superficie en cuerpos de agua, comparada con la lámina de agua precipitada, en lapso de un año, generandose el coeficiente llamado de sequedad (Campos, 2006).

CS= Rn/RIP

CS = Cociente de Sequedad

Rn = Radiación neta del Sol

RIP= Energía sola incidente necesaria para evaporar la precipitación media anual

La significación práctica del coeficiente de sequedad indica:

CS < 1 Zona boscosas humedas

CS = 1.0 Límite de zonas boscosas y pastizales

CS = 2.0 Inicio de zonas áridas

2.0 ≤ CS ≤ 7.0 Riesgo de desertificación

CS ≥ 7.0 Productividad biológica muy baja, se mantienen poblaciones humana solo en oasis

CS ≥ 10.0 Desierto, sin poblaciones humanas

La relación entre la precipitación y la temperatura, es definida como el Índice de Lang [7] que relaciona a dos de las principales variables involucradas en el clima, vinculadas ambas en el ciclo hidrológico.

IL = P/T

IL = Índice de Lang

P = Precipitación en mm

T= Temperatura en grados centrigrados

Los valores del Índice de Lang, generan la escala que se indica:

[7] www.idem.govco/files/atlas/clasificaciones%20climaticas.htm, 04/05/2009.

IL	Zonas Climáticas	Abreviatura
0≤ IL<20	Desierto	D
20≤ IL<40	Zona árida	Za
40≤ IL<60	Zona húmeda de estepa y sabana	Zhes
60≤ IL<100	Zona húmeda de bosques ralos	Zhbr
100≤ IL<160	Zonas húmedas de bosques densos	Zhbd
IL ≥ 160	Zonas hiper-húmedas de prados y tundras	Zhhpt

Rau y Wooten (1980), define ambiente como un concepto que incluye todo los aspectos que rodeen al ser humano y lo afectan de manera individual o colectiva, por lo cual puede definirse como el complejo de factores físicos, biológicos, sociales, culturales, económicos y estéticos que afectan a los individuos y comunidades y que determinan su forma, carácter, relaciones y supervivencia sobre un espacio y tiempo.

La Organización para la Cooperación Económica y Desarrollo (OECD)[8] , afirma que las actividades humanas ejercen presión sobre el medio ambiente, modificando la localidad y cantidad de los recursos naturales, generando los cambios y alteraciones del estado o condición del ambiente y las respuestas humanas a ellas deben incluir un compromiso organizado que apunte a reducir, prevenir o mitigar cambios indeseables, lo cual parece acertado.

Gestión ambiental

La aplicación de la Carta de Zaragoza, al conceptuar la gestión del agua con visión que trasciende el punto de vista antropocéntrico, como una gestión integrada de los recursos hídricos, que protegen al mismo tiempo la supervivencia del ser humano. [9]

De conformidad al Comité Consultivo Técnico de la Asociación Mundial del Agua (GWP),[10] la gestión integrada del agua se puede describir como: Un proceso que promueve el manejo y desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales.

La gestión permite entre los usuarios del recurso definir la equidad, que para cada grupo de usuarios, en los distintos escenarios que se presentan al usar los recursos naturales, es el más apropiado, para poder ser aceptado por todos los sectores usuarios. La definición de prioridades, puede generarse con metodologías *ad hoc* como el Proceso Analítico Jerárquico (Saaty, 1997).

[8] Organización para la Cooperación Económica y Desarrollo (OECD), 1979.
[9] Exposición Internacional del año 2008, Zaragoza, España, septiembre.
[10] www.gwpforum.org/gwp/library/GWP_lanza_nueva_Estrategia_Global.pdf, 03/05/2009.

La gestión ambiental contempla de manera integrada algunas interacciones entre el medio natural y el humano con los proyectos de infraestructura o industriales, o de desarrollo urbano que introducen modificaciones significativas al ambiente.

La identificación, evaluación, prevención, mitigación o compensación de estas modificaciones o impacto ambientales constituyen el objeto de la gestión ambiental (Ángel *et al.*, 1997). El inicio de una gestión ambiental se encuentra en la definición conceptual de un proyecto de desarrollo. El mismo autor, considera que la totalidad de los impactos no podrán ser manejados de manera apropiada a través de la gestión ambiental.

Sin embargo, concebir y conceptuar si pueden contribuir a manejar de manera adecuada los impactos ambientales; para con la gestión, alcanzar las metas concebidas y propuestas. La dificultad estriba en cambiar los usos y costumbres de la sociedad que usa y abusa de los recursos naturales sin importarles las generaciones futuras. Casos memorables para recordarlos y evitar que se presenten de nuevo abundan. Solo se requiere ver las manifestaciones de impactos ambientales, y darles seguimiento. Caso conocido por muchos es el de los tiraderos, basureros o disposiciones finales de la basura de los cascos urbanos. Una indicación apropiada, entre otras, es prohibir el uso de bosas de polietileno, teniendo que usar otro tipo de bolsa que sea ambientalmente amigable, es decir, degradables en términos de lapsos menores a la vida útil de los mismos basureros.

La gestión ambiental, se entiende como un proceso cíclico de mejoramiento continuo, en el que se va alcanzando gradualmente una mejor calidad ambiental; el inicio del ciclo se genera con la comunicación, el interés y la cooperación de la sociedad, que responden al verdadero sentido de la gestión ambiental, como una responsabilidad colectiva y compartida, donde los sectores de la sociedad: gobierno, usuarios de recursos, ONG, colegios de profesionistas, universidades, comunidad en general, desempeñan papeles complementarios.

El estudio de la gestión ambiental (Ospina, 2009) requiere definir algunos conceptos para considerar planteamientos, entre otros: la sensibilidad, la susceptibilidad, la adaptación de un sistema.

La sensibilidad: se define como el grado de afectación perjudicial o benéfica a un sistema por estímulos relacionados con el cambio del clima.

Grado de susceptibilidad: o incapacidad de un sistema de enfrentarse a efectos adversos del cambio climático, incluida la variabilidad y los extremos del clima. Es función de tipo, magnitud y rapidez del cambio, la variación a la que el sistema está expuesto, y de su sensibilidad y capacidad de adaptación.

Capacidad de adaptación: es la habilidad de un sistema de ajustarse al cambio climático para moderar daños posibles, potenciar oportunidades y enfrentar consecuencias nocivas

Siendo el agua un vector transversal de las actividades humanas, un cambio del clima implica cambios en la distribución espacio-temporal de los recursos hídricos; necesariamente impacta actividades humanas vinculadas con el uso y aprovechamiento del agua, es decir, la mayor parte de sus actividades.

Diferentes aplicaciones de modelos y estudios del cambio climático predicen impactos negativos en actividades humanas como (Gay, 2000):

- Reducción general del rendimiento de las cosechas en la mayoría de las regiones tropicales y subtropicales por aumentos previstos de la temperatura.
- Disminución general del rendimiento de las cosechas en latitudes medias por aumento de algunos grados centígrados en la temperatura.
- Menor disponibilidad del agua en muchas poblaciones con escasez actual del recurso, en particular las regiones subtropicales.
- Aumento en enfermedades transmitidas por vectores vinculados con el agua, y muerte de personas por el efecto de golpe de calor.
- Aumento extendido de riesgo por inundaciones para muchos asentamientos humanos a lo largo de las costas por efectos de fenómenos meteorológicos y por el aumento general del nivel medio del mar.

Impactos positivos pueden ser:

- Aumento en el rendimiento de las cosechas en algunas regiones a latitudes medias por aumento de la temperatura en algunos °C.
- Aumento posible del suministro de maderas en el mundo, en bosques con una ordenación adecuada.
- Aumento de la disponibilidad de agua en poblaciones de algunas regiones con escasez
- Menor mortalidad invernal en latitudes medias y altas.
- Demanda reducida de energía para calefacción debido a mayores temperaturas invernales.

Por lo que ante efectos encontrados, son necesarios análisis de escenarios climáticos futuros, considerando la vulnerabilidad de los diferentes sistemas y sectores, y la elaboración de estrategias de adaptación.

Conforme al Grupo de Trabajo III (GWIII) del IPCC (2001), define al escenario como una descripción coherente e internamente consistente de un posible estado futuro del mundo.

Lecciones aprendidas

Es fundamental las valuaciones de impacto del cambio climático, para valorar la adaptación y la vulnerabilidad de ecosistemas y estimar alternativas de posibles condiciones futuras. Estimar esas condiciones por regiones permite a su vez suponer los impactos en actividades humanas en particular.

Para México, Ospina (2009), indica bajo el supuesto de escenarios A2 y B2, con los modelos GFDLCM20 y MPIECH-5 se generan reducción en el Índice de Lang, a excepción de la condición A2, B2 de la región hidrológica XII de la CNA, con aumentos que tienden a la baja, en las primeras cinco décadas, teniendo una leve tendencia al aumento el mismo Índice de Lang, en los tres últimos quinquenios simulados. En las cuatro regiones hidrológicas: IX,X,XI y XII de la CNA, durante todo el período simulado hasta el 2080, el Índice de Lang se reduce, por lo

que la relación de precipitación se verá disminuida, según los dos modelos utilizados con los escenarios A2 y B2, aplicables por el supuesto desarrollo a futuro de nuestro país.

Lo anterior da credibilidad –en cuanto a la tendencia– a la reducción de la precipitación, lo que indica que se debe contemplar, al menos para mantener las disponibilidades reales de agua en los mismos niveles *per capita*, volver a usar el recurso en porcentajes al menos iguales a las reducciones de las precipitaciones para conservar la disponibilidad *per capita*.

Dada la imposibilidad de competir con la naturaleza y sus ciclos, debemos concentrarnos en capacitar sectores de la población, para sobrellevar los cambios e incertidumbres que la variabilidad del clima genera en la vida de las sociedades.

Garantizar la seguridad alimentaria implica, entre otras, retomar costumbres que se han ido perdiendo, *vr. gr.* producir a nivel familiar las frutas, verduras y la producción de compotas que consume una familia. Tener una producción de alimentos familiar, implica asegurar durante semanas o meses alimento suficiente para mantener la salud y enfrentar contingencias que impactan en la alimentación de las familias, como eventos de ciclones, inundaciones, ciclos económicos difíciles, esperando a que lleguen los meses de abundancia, es decir de suministros suficientes y asequibles.

Una meta para reducir el impacto del CC relacionado con la bioenergía y nutrición[11], es esforzarnos para alcanzar la meta de reducir a la mitad la desnutrición para el año 2015.

Para nuestro país representa enfocarnos a buscar estrategias que puedan ser retomadas por la comunidad en general, poniendo énfasis en los antecedentes culturales y retomar los caminos abandonados como la producción de alimentos en huertas familiares. Esto requiere, dependiendo de la tecnología utilizada, de algunas decenas de metros cuadrados hasta al algunos cientos de metros cuadrados de huerta para satisfacer a una familia tipo.

Retomando a Cohen[11], la seguridad alimentaria tiene cuatro dimensiones: disponibilidad, acceso, seguridad de suministro y sanidad del alimento. Estas dimensiones en unidades familiares se pueden alcanzar con esfuerzos realizables y probados con anterioridad durante generaciones. El reto es cambiar actitudes y costumbres nuevas por las anteriores ya probadas para obtener suministros en casa.

Experiencias y uso técnico de material biológico (semillas), agua, sol y nutrientes existen en un buen número de lugares, la capacitación vía presencial o a distancia, también, por lo tanto es una alternativa de mitigación y de sobrevivencia apropiarnos de las experiencias de producción de alimentos a escala familiar para convivir con el cambio climático.

Evaluación, metas y compromisos. Base científica

La nueva evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC)[12] el cual está patrocinado de manera conjunta por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Am-

[11] Marc J. Cohen, FAO IFPRI, Mayo, 2008.

biente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM), pronostica un calentamiento de moderado a devastador, rango de 1.4 a 5.8 °C en los próximos cien años.

Puntos clave del Tercer Panel del IPCC indica la fuerte evidencia de que gran parte del problema del calentamiento observado en los últimos 50 años se atribuye a actividades antropogénicas. La certidumbre en la capacidad de los modelos para realizar proyecciones futuras del clima ha aumentado desde el informe del IPCC de 1995.

La reconstrucción de los datos climáticos de los últimos 1 000 años, así como las estimaciones de la modelación de las variaciones climáticas naturales, sugieren que el aumento de la temperatura observada en los últimos 100 años no es lo usual, originado no sólo por causas naturales.

Datos de los registros históricos del hemisferio norte, indican que el aumento de la temperatura en el siglo XX probablemente ha sido el mayor de cualquier siglo de los últimos 1 000 años; y parece ser que la década de los años 1990 la de mayor temperatura registrada y 1998 el más caluroso.

Desde 1750, la concentración atmosférica de bióxido de carbono (CO_2) aumentó en un 31%, de 280 partes por millón a cerca de 367 ppm en la actualidad. La concentración de CO_2 del presente no había sido excedida en los últimos 420 000 años y probablemente tampoco en los últimos 20 millones de años. Las proyecciones indican que el nivel de los mares aumentara de 0.09 a 0.88 metros en el período de 1990 al 2100.

Sugerencias y recomendaciones

Los problemas planteados por la tercera valuación del IPCC son:

1. Los científicos estiman que es real el peligro de que el clima cambie rápida y espectacularmente en los decenios y siglo venideros. ¿Podemos controlar esta situación?
2. Si no se conocen con certeza las consecuencias de un problema, ¿Se hace caso omiso del problema o se trata de encontrarle alguna solución?
3. En el problema del cambio climático hay una injusticia fundamental, que exacerba las relaciones ya problemáticas entre las naciones ricas y pobres. Habida cuenta de que las emanaciones derivadas de la utilización de energía constituyen la causa principal del cambio climático, habrá una presión creciente para que todos los países reduzcan el consumo de carbón y petróleo. También habrá presiones (e incentivos) para que se adopten tecnologías avanzadas tendientes a limitar los perjuicios en el futuro, pero el costo de éstas puede ser elevado.
4. Si todo el mundo empezara a consumir más y a darse la buena vida, ¿Podría soportarlo nuestro planeta?

[12] Coordinación del Program de Cambio Climático, Tercer Informe de Evaluación del IPCC "Cambio Climático 2001. " La Base Científica".

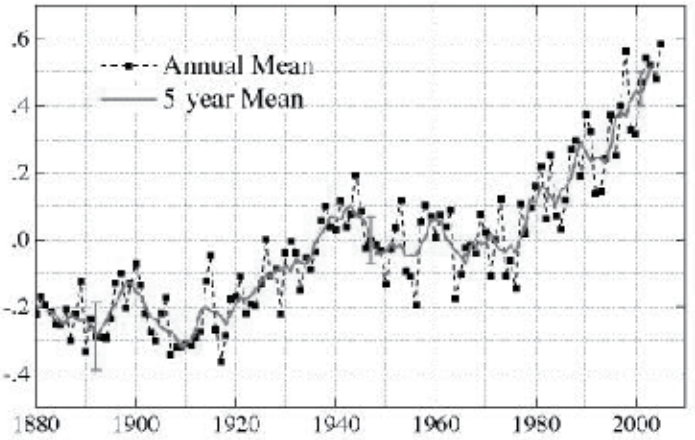

Figura 2. Temperatura media de la atmósfera 1880-2000.
(http://data.iss.nasa.gov/gistemp/2008/.

5. Las emisiones siguen creciendo, ¿No es el momento de tomar alguna medida seria?
6. ¿Cómo podemos hacer para que nuestro comportamiento y nuestras economías no perjudiquen al clima?
7. ¿Cómo se dividirá la labor y se distribuirá la carga de forma equitativa?
8. Sólo quiero gastar en esto el mínimo necesario!

Como conclusión puede sintetizarse la necesidad de la gestión para prevenir y generar el reciclado de los recursos tanto como nos sea posible. Para las actividades industriales, debe reciclarse en la proporción en que aumente la actividad del sector, más el porcentaje que se requiera reducir los desechos para alcanzar la meta a partir del año base.

En la figura 3, en que se observa el reciclado de un recurso, abscisas número de ciclos de reutilización, y en el eje de las ordenadas en cientos por ciento de reutilización. Se percibe que empieza a ser significativo los ahorros del recursos a medida que aumentan el número de ciclos de reutilización, por ejemplo, si tomamos el uso del agua en riego por goteo en sistemas de riego radicular aéreo, que humedece solamente la zona radicular, el agua que escurre al depósito se recicla volviendose a bombear otra vez para la zona radicular. En la gráfica se indica que con 14 ciclos de reutilización con 40% de eficiencia, el recurso agua se usa el equivalente al 151%; para ciclos de reciclados con eficiencia del 95% por ciclo, sí se usa el recurso durante 14 ciclos se alcanza hasta el 1 055%. Nuestro reto es reciclar los recursos que utilizamos la mayor cantidad de veces para aumentar la disponibilidad de los recursos que son finitos.

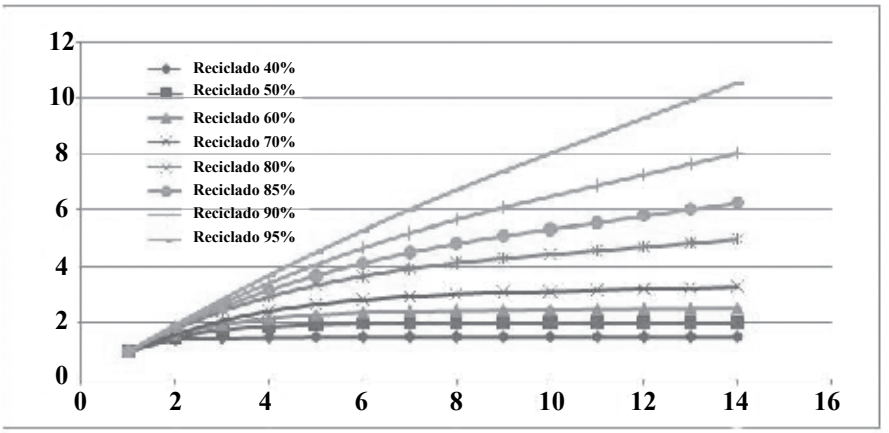

Figura 3. Ciclos de reutilización de un recurso.

Literatura citada

Ángel E., L. C. Villegas y S. I. Carmona, 1997. Gestión ambiental en proyectos de desarrollo; una propuesta desde los proyectos energéticos. Fondo FEN, Santa Fe de Bogotá, 232 p.

Bojórquez T.L. y R.A. Ortega, 1988. Las Evaluaciones de impacto ambiental, conceptos y metodologías. Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur, A. C. Publicación 2.

Campos Aranda DF., 2006. Índice de Aridez. *Revista Tláloc-AMH*, No 36, Enero-Abril.

Gay C., 2000. México: Una visión hacia el siglo XXI. El Cambio Climático en México. Resultados de los Estudio de vulnerabilidad del País. Semarnap; UNA, USCSP. 220 p.

IPCC, 2001 Third Assessmente Report Impacts, Adaptation and Vulnerability, Climate Change, Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report, Intergovermental Panel on Climate Change, WMO-UNEP. 110 p.

Rau, JG., y DC. Wooten, 1980. Environmental Impact Analisis. Handobook. New York; McGraw-Hill.

Saaty, T.L., 1997. Toma de decisiones para líderes:el proceso analítico jerárquico la toma de decisiones en un mundo complejo, RWS Publications.

Sánchez S. R., 2007. Desarrollo de recursos hídricos, Organización Mexicana de Meteorólogos AC. XVI Congreso Mexicano de Meteorología, Ed. Internacional, 12 al 16 de Nov/2007, Veracruz, México.

Ospina JE., 2009, Efectos del cambio climático en la generación hidroeléctrica con énfasis en proyecciones de generación transmisión eléctrica en Colombia, Tesis de Doctorado, UNAM.

Solana-Sansores L. R., 2010. Efectos sociales, económicos y políticos del cambio climático en las pesquerías mexicanas. p. 305-318. 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.

Efectos sociales, económicos y políticos del cambio climático en las pesquerías mexicanas

L. Rafael Solana-Sansores

Resumen

La pesca constituye una actividad importante en el desarrollo de México por su contribución en la seguridad alimentaria, como fuente de empleos, en la recaudación de impuestos y en la captación de divisas. Por su parte, el cambio climático tiene un efecto directo en los ecosistemas acuáticos y por tanto en los recursos que lo habitan, impactando directamente en la actividad pesquera. Sus efectos pueden ser directos e indirectos, con la consecuente modificación de la oferta de productos pesqueros en el mercado. Además, tiene un impacto en la infraestructura portuaria y en las comunidades humanas de la costa. Por ello, es necesario el desarrollo de políticas públicas para mitigar sus efectos en las pesquerías, como el desarrollo de marcos institucionales y legales que consideren y respondan a tratados sobre el cambio climático y la incertidumbre producida por la sobreexplotación de los recursos, la contaminación y los cambios de las condiciones hidrológicas. Entre otras acciones es necesario: Implementar el Código de Conducta para la Pesca Responsable; el establecimiento de acuerdos nacionales y multilaterales, que permitan la movilidad de las flotas; el combate de la pesca ilegal; programas de promoción del consumo local y regional de los recursos; el diseño de sistemas tempranos de prevención contra desastres naturales; la realización de estudios de evaluación del riesgo de cambio climático y su impacto social, evaluando escenarios de mitigación y alternativas de adaptación y finalmente la promoción la investigación sobre los impactos en el corto y mediano plazo del cambio climático.

Introducción

La actividad pesquera tiene un lugar fundamental en el desarrollo de un país. Entre sus contribuciones se pueden destacar las siguientes:

1. Los sistemas pesqueros contribuyen a la producción de alimento y de proteínas de bajo costo.
2. Contribuye de manera relevante a la seguridad alimentaria en el mundo, en particular de muchas regiones de América Latina y de México.
3. Es una actividad que genera ingresos a las poblaciones humanas de muchas regiones, especialmente las que viven en las zonas costeras.
4. Para un país, la actividad pesquera es una fuente generadora de empleos directos e indirectos, y, por tanto, también de recaudación de impuestos.
5. Además de ello, contribuye de manera significativa a la captación de divisas por la comercialización de los productos derivados de la pesca.

En suma, la pesca es un elemento clave en el desarrollo local y regional.

En México, por ejemplo, los productos de la pesca utilizados para el consumo humano directo durante 2007, de acuerdo con las cifras preliminares de las estadísticas oficiales, alcanzaron un volumen de producción de 1 173 065 toneladas, sólo en captura directa. Entre estos productos destacan: la sardina, el calamar, el atún, la escama en general y el camarón, los cuales pueden alcanzar precios razonables para el consumo de las clases populares y contribuyen enormemente a la seguridad alimentaria nacional. Asimismo, la pesca para muchas comunidades mexicanas es la única actividad posible en sus lugares de residencia, por lo que contribuye al arraigo de personas dentro de las mismas. De esta forma, durante 2006 se registraron más 279 mil empleos directos en la pesca. Del mismo modo, la actividad pesquera en México genera al año una importante captación de divisas; durante el año de 2006 se obtuvieron divisas por la venta de productos pesqueros por más de 680 millones de dólares, alcanzando una balanza comercial positiva de más de 193 millones de dólares.

Dada la importancia de la pesca en el mundo y la creciente preocupación manifestada por las sociedades de todos los países por el calentamiento global, durante la 27 sesión ordinaria de la Conferencia Pesquera (COFI, por sus siglas en inglés) de la Organización de la Agricultura y la Alimentación (FAO) de las Naciones Unidas, se planteo la necesidad de implementar estudios para identificar los factores clave de los posibles efectos del cambio climático sobre la pesca. Específicamente, se planteó la necesidad de responder a las siguientes preguntas: 1) ¿Cómo se adaptará la industria pesquera al cambio climático? y 2) ¿Qué políticas pesqueras se deberán adoptar para el cambio climático? Estas mismas preguntas se deberán plantear en México, de tal forma que las respuestas contribuyan a plantear políticas públicas que mitiguen los efectos del cambio climático en lo ambiental, social y económico de los sistemas pesqueros del país.

La actividad pesquera y el cambio climático

El cambio climático tiene un efecto directo en los ecosistemas acuáticos y las actividades que allí se desarrollan, como es el caso de la pesca. Sus efectos pueden distinguirse a diferentes niveles y sobre los diferentes elementos que lo componen. Entre ellos se pueden mencionar:

- Efectos en los elementos físicos y ambientales en los ecosistemas,
- Efectos en la biomasa de los peces y en la vulnerabilidad de las poblaciones,
- Efectos en las operaciones pesqueras y en la infraestructura portuaria,
- Efectos en las comunidades humanas de la zona costera.

Los primeros dos elementos residen dentro de los ecosistemas marinos, mientras que los aspectos de la producción (operaciones pesqueras e infraestructura) y sociales, son de carácter independiente a la problemática ecológica. Sin embargo, las interrelaciones de estos dos componentes son fuertes y los efectos del cambio climático repercutirán en todos ellos.

El cambio climático y su impacto en los ecosistemas marinos

El cambio climático, fenómeno definido como una variación estadística en el estado medio del clima o en su variabilidad y que persiste durante un período prolongado de años, tendrá sin lugar a dudas un efecto importante en la actividad pesquera y en los sistemas naturales en los que se realiza. Sus efectos, en general, se observarán principalmente en los siguientes aspectos: 1) Un cambio importante en el acceso a los recursos pesqueros y 2) La consecuente modificación de la oferta de productos pesqueros en el mercado nacional e internacional. En el primer aspecto, se considera que un cambio en los elementos del clima, como sería una elevación de la temperatura media en el mar, ocasionaría migraciones importantes de los recursos pesqueros de sus lugares tradicionales. Por ejemplo, algunos recursos que actualmente llevan sus ciclos de vida en los trópicos podrán acceder a sitios de latitudes templadas. Además de ello, el calentamiento gradual de las primeras capas de la superficie marina permitiría un mayor desplazamiento de los organismos que habitan en ellas hacia mayores profundidades. Esto último, por ejemplo, se ha observado en las pesquerías de atún en el Pacífico oriental cuando ocurren anomalías térmicas, como el fenómeno global denominado Oscilaciones del Sur - El Niño (ENSO, por sus siglas en inglés).

El cambio climático tendrá un efecto en el acceso de recursos pesqueros, el cual puede ser positivo o negativo. Al modificarse los ecosistemas marinos, los patrones de distribución y abundancia de peces, sus movimientos migratorios y sus áreas de crianza y alimentación tenderán a variar. De este modo, las flotas pesqueras tendrán que adaptarse a estos nuevos escenarios y modificar su comportamiento. Estas modificaciones de los patrones de pesca repercutirán en los rendimientos pesqueros y en la oferta de productos pesqueros en los mercados locales, nacionales e internacionales.

Entre los cambios que se podrán observar en los ecosistemas marinos, destacan:

1. La modificación de la distribución de los recursos pesqueros, dado los cambios del tamaño y la productividad de sus hábitats.
2. Cambios en la productividad los ecosistemas marinos, principalmente tropicales y subtropicales, debido a la elevación de la temperatura.
3. La modificación de los procesos fisiológicos de los recursos pesqueros. Por ejemplo, los peces tranzonales como el atún y similares modificarán su velocidad de nado; los camarones peneidos modificarán su velocidad de crecimiento individual y en el total de las lagunas costeras se observarán cambios importantes en la velocidad de transmisión de materia y energía entre los elementos de la red alimenticia.
4. Se afectará la estacionalidad de los procesos biológicos: cadenas tróficas, épocas de reproducción y otros.
5. Se incrementará el riesgo de invasión de especies en los ecosistemas y de enfermedades.
6. Se incrementará la frecuencia y estacionalidad de los patrones climáticos. Un ejemplo clásico es el denominado ENSO.
7. Se observarán cambios importantes en las trayectorias e intensidad de eventos catastróficos, como la presencia de huracanes en las zonas tropicales.
8. Se incrementará el nivel del mar, la acidificación del agua y los cambios en los regimenes de precipitación pluvial.
9. Se observarán incrementos en los flujos de los ríos hacia los cuerpos de agua costeros, afectando a las comunidades de arrecifes coralinos, los estuarios, la dinámica de las lagunas costeras y otros.

Estos y otros factores deberán entenderse para diseñar políticas públicas con objetivos claros y dirigidos a mitigar los efectos del cambio climático. Estas políticas deberán basarse en el conocimiento científico; en el impulso en el desarrollo tecnológico; en la disminución del uso de combustibles, cuyas emisiones contribuyen al cambio climático; que enfaticen en la protección de los ecosistemas marinos; que sean sensibles a las necesidades de los grupos vulnerables (*e.g.* grupos indígenas y mujeres) y que tengan vocación de desarrollo para las comunidades costeras que viven de la pesca. Las políticas públicas, desde su diseño, deben ser incluyentes e involucrar a todos los sectores de la sociedad: académico, industrial, social y otros.

El cambio climático y sus impactos en los sistemas sociales y económicos

Los sistemas pesqueros involucran dos factores importantes: El humano y el recurso pesquero (que incluye a todo su entorno). En el factor humano, el cambio climático tendrá un considerable efecto en su dinámica, repercutiendo en: la oferta de alimento, dinámica del empleo, captación de contribuciones (impuestos) y desequilibrios en la balanza comercial.

Se considera que el cambio climático contribuirá en una redistribución espacial de los recursos pesqueros. Esto demandará cambios en las operaciones pesqueras tradicionales y en la

oferta de los productos. En especies altamente migratorias, por ejemplo, podrá observarse una participación más activa de otras especies que tradicionalmente contribuían de manera marginal a la pesquería. Por ejemplo, en 2008 y años recientes, en el Pacífico Oriental se observó una presencia importante del barrilete (*Katsuwomus pelamis*) en las capturas de los países que faenan en esa región, alcanzando un porcentaje en la captura total cercano al 50%. Esto también pudiera ocurrir con otras pesquerías.

El cambio climático provocará efectos adversos en la infraestructura pesquera. La mayor cantidad de esta infraestructura reside en la línea de costa y esta expuesta a las condiciones medioambientales. El calentamiento del clima provoca un incremento en las probabilidades de formación de huracanes, muchos de ellos con trayectorias dirigidas hacia los puertos pesqueros.

El desarrollo de muchos sistemas pesqueros se basa en circuitos migratorios que desarrollan los peces y organismos marinos durante un ciclo anual o mayor. En condiciones diferentes provocados por el cambio climático estos circuitos se verán fuertemente afectados. Esto repercutirá en los patrones de migración de los pescadores, inestabilidad en sus comunidades de origen y mayor costo de las operaciones por un gasto mayor de energéticos.

Los efectos comentados en el párrafo anterior se ven reflejados en otras dimensiones de la sociedad. Entre los más palpables se encuentran los siguientes:

1. Se observará cambios de ocupación de los pescadores, al no poderse adaptar a la nueva dinámica de los recursos pesqueros;
2. Mayor flujo migratorio de personas ajenas a las comunidades, tanto de entradas como de salidas;
3. Reducción de la diversidad de los empleos. Los sistemas pesqueros demandan una gran cantidad de empleos indirectos para el procesamiento primario de las capturas. En muchas comunidades costeras estas labores las llevan a cabo las mujeres, por lo que se verán seriamente afectadas en sus ingresos;
4. Un incremento en la competencia por el acceso a los recursos y a los mercados.

Finalmente todo esto se traducirá en un incremento importante de la demanda energética.

Otro elemento en el que el cambio climático afectará a los sistemas pesqueros es en la seguridad alimentaria. Esta puede ser vista en cuatro dimensiones: la variación, la estabilidad, la accesibilidad y la utilización del producto de la pesca. En cuanto a la variación en la oferta de productos del mar, ya sea positiva o negativa, ésta finalmente traerá incertidumbre en los mercados y en los consumidores. En cuanto a la estabilidad de los recursos pesqueros, los actuales modelos de evaluación y manejo, tal vez no sean capaces de predecir los volúmenes de biomasa y por tanto los administradores serán incapaces de asegurar el abasto. En cuanto a la accesibilidad de las clases populares ésta dependerá de la oferta del producto, el incremento de precio, la competencia de oferta y la asimetría de la información. El último elemento es la utilización de los productos; ésta dependerá de los cambios de rango y calidad de los productos que se oferten. Todas estas incertidumbres en las aristas de la seguridad alimentaria serán elementos de inestabilidad en la cadena de mercado y provocarán cambios en las preferencias del consumidor. Los efectos, sin embargo, no solamente son negativos, sino también pudieran

ayudar en la seguridad alimentaria(*e.g.* accesos a nuevos productos). Sin embargo, de todos modos estos cambios generan un incremento en la incertidumbre del consumidor. Finalmente el cambio global generará un incremento en la demanda energética para satisfacer la seguridad alimentaria.

Estado del arte: la importancia de la pesca en México y el cambio climático

La pesca en México ha jugado un papel importante en la producción de alimentos de alto valor nutrimental. Aunado a esto, muchos de los productos de la pesca son de bajo precio, por lo que contribuyen a la seguridad alimentaria. Para analizar el efecto del cambio climático en la pesca mexicana y tomando en cuenta su importancia en los aspectos mencionados, se analizan desde una perspectiva estadística algunos de los indicadores como son: la producción pesquera, algunos factores de la producción y la comercialización.

En México, de acuerdo con la Carta Nacional de la Pesca (CNP, 2004 y 2006), se reconocen actualmente 53 pesquerías establecidas, distribuidas a lo largo de sus dos litorales: 32 en el Pacífico y 21 en el litoral del Golfo de México y Caribe mexicano; algunas de ellas desarrolladas en aguas interiores. Estas pesquerías, de acuerdo a su cobertura y su regionalidad, pueden constituir varias unidades de manejo, como en el caso del camarón del Golfo de México, donde al menos se reconocen tres: en las costas de Tamaulipas y norte de Veracruz, en la sonda de Campeche y en el Caribe mexicano. De esta forma, las 53 pesquerías mexicanas constituyen un total de "75 unidades de manejo" e impactan a un total de 589 especies marinas, que comprenden prácticamente todos los taxas, como moluscos, equinodermos, crustáceos, algas, peces y eslasmobranquios (CNP, 2004 y 2006). El grado de aprovechamiento de cada especie, unidad de manejo pesquero o pesquería es diferente. De esta forma, se puede observar que algunos recursos han sido sobreexplotados, como sería el caso del mero rojo (*Epinephelus morio*) en la sonda de Campeche; la lebrancha (*Mugil curema*) en la Laguna Madre, Tamaulipas; el caracol rosado (*Strombus gigas*) en el Caribe mexicano y el abulón (*Haliotis spp.*) en la costa occidental de Baja California. Otros están adecuadamente explotados, por lo que se considera que su rendimiento es óptimo; este es el caso del atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*), en ambos litorales; el ostión de placer (*Crassostrea virginica*); en las costas de Tabasco; el pulpo rojo (*Octopus maya*), en Yucatán y Campeche; la langosta roja de Baja California (*Panulirus interruptus*); la curvina golfina (*Cynoscion othonopterus*) en el Alto Golfo de California; el tiburón azul (*Prionace glauca*) y, hasta el momento, el atún aleta azul (*Thunnus thynus*) en el Pacífico Oriental. Otros se consideran recursos pesqueros potenciales como el pez espada (*Xyphias gladius*) en el Golfo de México y la almeja generosa (*Panopea generosa*) en los dos litorales de la península de Baja California. La percepción del estatus de grado de aprovechamiento puede verse distorsionado por efectos del cambio climático, por lo que será necesario realizar cambios importantes en su evaluación para internalizar dichos efectos.

En la figura 1 se presenta una evolución histórica de la producción pesquera en México, de acuerdo con las cifras del Anuario Estadístico de Pesca (2006). En el mismo se puede apreciar al menos tres etapas. Desde los años cuarentas hasta mediados de los sesentas la producción pesquera registrada en México nunca fue superior a las 500 mil toneladas y su importancia se consideraba marginal. Sin embargo, a partir de los años setentas, México adoptó una política agresiva de fomento a la pesca. Durante esos años se consolida el sector pesquero, se crea la Secretaría de Pesca, se desarrolla un sistema integral de manejo de los productos pesqueros bajo la denominación de Productos Pesqueros Mexicanos y se apoya material y económicamente a los grupos pesqueros, tanto de corte social como industrial. El resultado de esa política fue un incremento considerable en la producción, alcanzando cifras superiores al millón de toneladas de captura. Aunado a lo anterior, a nivel nacional e internacional se empieza a observar una preocupación cada vez más acentuada por la seguridad alimentaria. Bajo esta óptica se define a los productos pesqueros como elementos clave en la producción de alimento barato y de alto valor nutrimental. Por último, se observa que a partir de la década de los ochentas, dado los fuertes problemas económicos del país el crecimiento pesquero se frenó y a mediados de los años ochentas, incluso, sufrió una fuerte caída. Posterior a ese decremento, durante los últimos veinte años la producción pesquera se ha estabilizado, observándose trayectorias cíclicas en la producción en alrededor de 1.4 millones de toneladas de peso desembarcado. Sin embargo, en 2007 (cifras preliminares) se observa una caída en la producción de casi un 25% con respecto al año anterior, lo cual no se había observado en toda la historia de la pesquería. Este fuerte decremento puede marcar el inicio de un régimen pesquero distinto, atribuible a factores como el cambio climático.

En México, los productos pesqueros han jugado un papel relevante en la seguridad alimentaria. En la figura 2, se presenta una serie temporal del precio promedio por kilo de las principa-

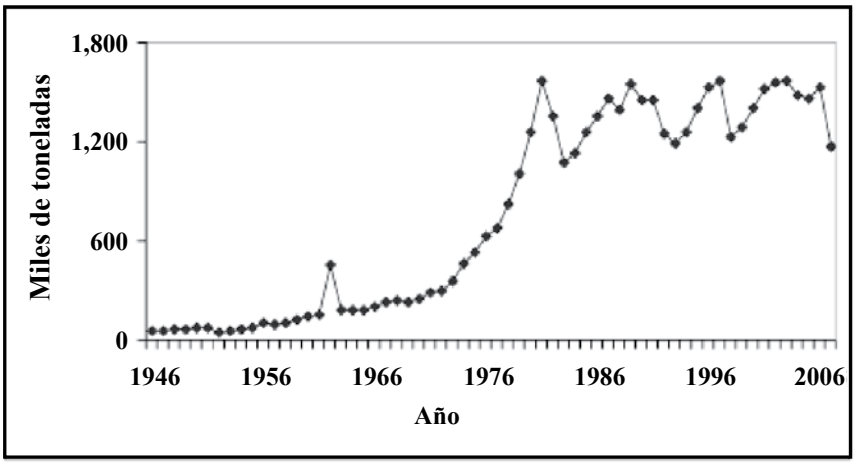

Figura 1. Producción pesquera en México, 1946 - 2007.

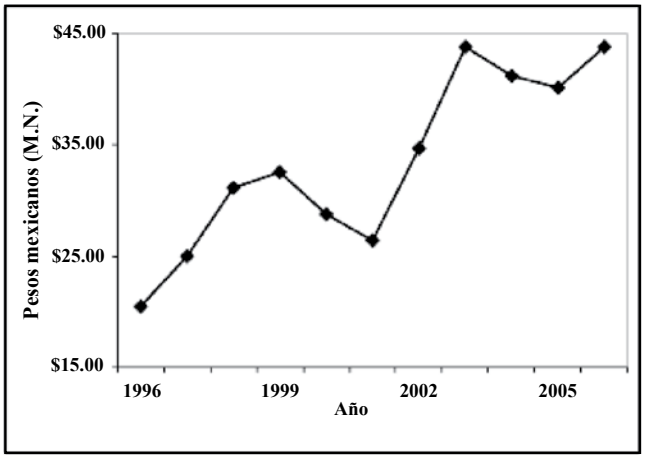

Figura 2. Precios de los productos pesqueros de mayor demanda en los mercados populares. En el eje vertical se grafica el precio promedio por kilo de las principales especies de escama. Precios registrados en el Distrito Federal (Sagarpa, 2006).

les especies de peces que se demandan en los principales centros de consumo. Entre las especies consideradas destacan el bagre marino (*Bagre marinus*), cazón (*Rizophriodon terranovae*) la lisa (*Mugil cephalus*), la tilapia (*Tilapia* spp.), el mero (*Epinephelus* spp.), la sierra (*Scomberomorus* spp.) y otros, todos ellos al alcance de las clases populares. De acuerdo con las estadísticas oficiales, los precios de estos productos son menores a otras fuentes de proteínas equivalentes, como sería el caso de los productos ganaderos. Estos precios permanecen relativamente bajos debido a que los costos de producción son bajos. Por ejemplo, para la producción de peces en las lagunas costeras o en la zona costera, los viajes de pesca suelen ser de un día y a lugares en donde se sabe que existe una abundante biomasa poblacional de las especies objetivo. Además de ello, los pescadores de una manera empírica o por el consejo de autoridades o científicos en la materia, siguen patrones de comportamiento y señales para la localización de importantes cardúmenes de peces. Este conocimiento se tiene tanto en pesquerías oceánicas como costeras. Por ejemplo, en la pesca mexicana del atún en el Pacífico Oriental, los equipos de pesca se orientan por la localización de aves marinas o manadas de delfines. Por otro lado, un ejemplo del uso de señales del ecosistema por las flotas pesqueras en la zona costera, es en la pesca de la curvina golfina (*C. othonopterus*) en el Alto Golfo de California. En esta última pesquería, además de que la flota pesca exclusivamente en los días en las que se desarrollan las mareas vivas y el recurso es más vulnerable, es frecuente que los pescadores busquen al ave marina llamada gallito de mar (*Sterna antillarum*), para localizar los cardúmenes. Todo este conocimiento permite a las flotas disminuir el consumo de combustibles (energéticos), lo cual seguramente repercute en los precios finales al consumidor. Bajo este marco de relación entre el conocimiento del ecosistema con los precios de los productos pesqueros, el cambio climático expresado en un cambio físico de los promedios de las variables ambientales, pudiera afectar seriamente esta frágil relación entre la producción "de bajo costo" y la seguridad alimentaria en México.

Otro aspecto importante de la pesca en México es su capacidad de generación de empleos. En la figura 3 se presenta la dinámica del crecimiento de empleos generados directamente por la actividad de pesca. Como se puede observar, desde hace más de 15 años la generación de empleos anuales es siempre positiva, con una tasa pequeña de alrededor del 1%. Los empleos referidos son de personas dedicadas a la extracción de los recursos pesqueros, por lo que se supone que prácticamente todos residen en la zona costera, en el caso de la pesca marina. De este modo se supone que las personas dedicadas a esta actividad establecen su hogar en la región costera y contribuyen al desarrollo del lugar. Su contribución, al estar registrados dentro de la actividad de la pesca es por medio de los pagos tributarios por impuestos, al hacer uso de los recursos pesqueros de la nación.

En muchas ocasiones, los grupos pesqueros establecen rutas de migración anual, de acuerdo con la dinámica espacial de los recursos pesqueros. Este, por ejemplo, es el caso de los pescadores de tiburón y especies afines en el Pacífico, quienes, dependiendo de la época del año, establecen campamentos temporales o semi-permanentes a lo largo la costa desde Jalisco hasta Baja California. Por otro lado, también se observa frecuentemente dentro de un mismo sitio un cambio en la especie pesquera objetivo de acuerdo con los ciclos biológicos naturales. Por ejemplo, en el Alto Golfo de California, los grupos pesqueros en la épocas de invierno y los primeros meses de primavera aprovechan las migraciones reproductivas de la curvina golfina (*C. othonopterus*). Posteriormente, en los meses de primavera y parte del verano, realizan un cambio de equipos de pesca para dirigirse a la especie de escama marina, como la sierra (*Scomberomorus* spp.) y el chano (*Micropogonias megalops*). En otra época del año, durante los meses de verano y otoño, muestran una actividad predominante en la pesca del camarón azul (*Litopenaeus stylirostris*) y café (*Farfantepenaeus californiensis*). Ciclos semejantes se observan en la Laguna Madre (Tamaulipas) y en las lagunas costeras de Veracruz: camarón – escama marina dentro de los cuerpos de agua costeros – escama en la zona costera – tiburón y en la península

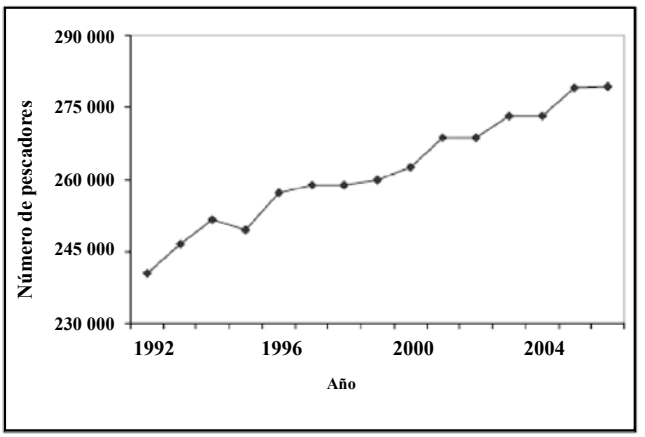

Figura 3. Número de empleos directos generados por la actividad pesquera, referido al número de pescadores registrados oficialmente (Anuario Estadístico de Pesca, 2006).

de Yucatán: pulpo – escama marina – tiburón. El conocimiento de los ciclos biológicos en los ecosistemas marinos, permiten generar riqueza, asentamientos humanos estables, desarrollo, empleos e impuestos, que favorecen a las poblaciones humanas asentadas en la costa. De este modo, cambios en el ambiente provocados por el cambio climático podría fuertemente afectar en todos estos aspectos de la actividad pesquera.

La infraestructura pesquera en México esta desarrollada sobre la línea de costa, expuesta a los cambios ambientales, de corto, mediano y largo plazo. De acuerdo con el Anuario Estadístico de Pesca (Sagarpa, 2006), existe un total de más de 34 km de infraestructura de atraque, distribuida a lo largo de los dos litorales: 41% en el Pacífico y 59% en el Golfo de México y el Caribe Mexicano. Asimismo, existen 355 plantas industriales de la pesca, dedicadas al congelado (65%), enlatado (14%), reducción (4%) y otras (16%). Además, en los últimos años, se han incrementado fuertemente las actividades acuaculturales en México, de tal forma que se ha dedicado gran parte de las costas mexicanas al desarrollo de infraestructura para la producción de crías de diversas especies marinas, granjas camaroneras y de engorda de recursos marinos. Esta infraestructura ha sido desarrollada en buena medida, de acuerdo a las necesidades de las poblaciones de pescadores, así como también de las condiciones ambientales y oceanográficas prevalecientes en las diversas zonas del país. De este modo, una modificación global en los ambientes naturales, como es el caso del cambio climático, podría seriamente afectar a la infraestructura pesquera. Por ejemplo, las variaciones de temperatura del aire y de la superficie del mar controlan en un alto porcentaje la intensidad y la dirección de los huracanes que llegan regularmente a las dos costas mexicanas; esto también es cierto, en cuanto a la duración de la temporada de huracanes. De esta forma, los efectos de estos eventos catastróficos para las comunidades humanas residentes de las zonas costeras pudieran ser bastante considerables, principalmente al no contar con información precisa de los cambios en el ambiente y programas preventivos contra desastres naturales acordes con las necesidades.

La captación de divisas es un elemento importante de aporte de la pesca al desarrollo de México. En las figuras 4a y 4b, se presentan los valores de captación de divisas y de la balanza comercial, de los productos pesqueros mexicanos. Se observa que durante los últimos 10 años el flujo de divisas al país ha sido estable, en alrededor de 600 millones de dólares. Entre los principales productos que se comercializan en el exterior, destacan: el camarón, el atún y similares; el pulpo y la langosta. El atún, es una especie tranzonal que transita por prácticamente todo el océano. En el Atlántico se desplaza desde el Golfo de Guinea hasta el Golfo de México y de regreso, y se considera que en todo ese océano existe una sola población de esa especie de pez. En el otro litoral mexicano, se considera la existencia de una sola población de atún en la región denominada Océano Pacífico Oriental. Los otros recursos de importancia en el comercio internacional se consideran costeros y dependen en buena medida de la dinámica de intercambio de materiales entre el mar y la tierra. Por ejemplo, el camarón para completar su ciclo de vida, en estado de postlarva penetra a los cuerpos de agua costeros para su crecimiento, el cual depende en gran medida de los aportes de nutrimentos de los ríos que desembocan en las lagunas costeras. En el océano el cambio climático puede ocasionar efectos en la dinámica

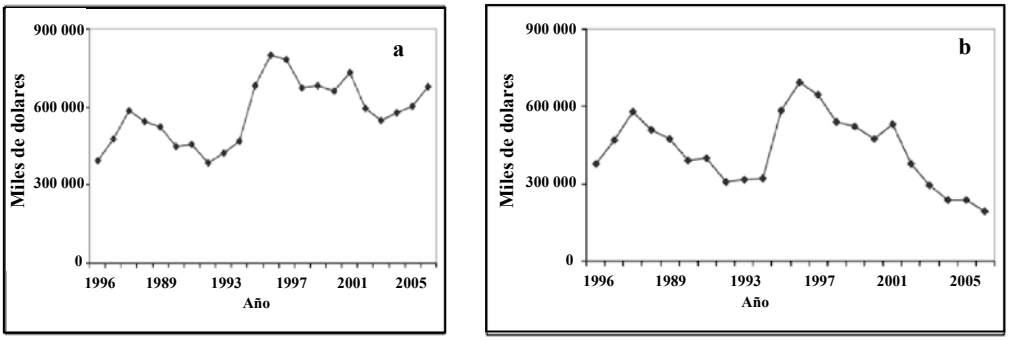

Figura 4. Divisas y balanza comercial de los productos pesqueros en México. (Anuario Estadístico de Pesca, 2006).

de las corrientes, en la variación de la profundidad de la termoclina y en la localización de los frentes oceánicos. Todos estos elementos oceanográficos permiten orientar los ciclos migratorios de los peces tranzonales, de tal manera que cambios importantes en ellos finalmente repercutirán en el comportamiento de los peces, en la accesibilidad de los cardúmenes a los pescadores y por tanto en la captura de estos organismos y en la captación de divisas. Del mismo modo, la dinámica y régimen de las lluvias en los continentes se verá afectado en mayor grado por el calentamiento global. Esto ocasionará un diferencial en los escurrimientos de los ríos, el cual repercute en el aporte de nutrientes a las lagunas costeras y su consecuente efecto en el crecimiento del camarón. Esto, finalmente, ocasionará un cambio en la producción natural de las poblaciones de camarón, en su captura y finalmente en la oferta al mercado de camarón proveniente de la pesca.

En la figura 4b se presenta la dinámica de los últimos 24 años de la balanza comercial. Se observa que a pesar de que los volúmenes de producción de manera general se han mantenido, actualmente en el país existe una mayor entrada de productos pesqueros. Esto entre otras cosas se debe a los tratados que se han firmado con otros países, los cuales ha permitido mayor intercambio. Por ejemplo, se observa un fuerte incremento de importación de productos denominados "otros comestibles" en las cifras oficiales (Sagarpa, 2006). Estos se refieren en gran medida, a productos de consumo popular como la comercialización de especies de mojarra y tilapia proveniente de países orientales. Este incremento en el flujo de estos productos indica que la demanda por productos de la pesca en México pudiera haberse incrementado. Si esto es cierto, la producción nacional (principalmente de escama) no satisface al mercado nacional y por tanto es necesaria la importación de productos pesqueros. El cambio climático, al afectar la producción y sus costos (incremento de gastos de combustibles), por afectar los ciclos en los ecosistemas marinos y en el conocimiento de la distribución y abundancia por parte del pescador, podrá contribuir a que cada vez más la balanza comercial se invierta y seamos más dependientes de los productos pesqueros del exterior.

Hasta ahora se han presentado algunos elementos de la pesca que pudieran ser afectados por el cambio climático. Estos indicadores mencionados son: producción pesquera, precios de los productos pesqueros, empleos, infraestructura, y captación de divisas y balanza comercial. A continuación, estos factores serán analizados bajo el contexto de las preguntas vertidas en la reunión 27 de la COFI de la FAO, mencionadas en la primera sección de este capítulo y algunas propuestas de desarrollo de políticas públicas.

Sugerencias y recomendaciones: desarrollo de políticas pesqueras en México frente al cambio climático

El cambio climático definitivamente tiene y tendrá un impacto en la estructura y la función de los sistemas pesqueros en México. Por lo anterior, es necesario empezar a dar soluciones a los problemas de su efecto en la pesca, mediante la adopción de estrategias y políticas públicas tanto a nivel local, regional y nacional. En principio, todos los caminos de mitigación de los efectos del cambio climático conducen irremediablemente a resolver el consumo energético, éste se traduce en la reducción del esfuerzo pesquero y la capacidad de las flotas pesqueras, reduciéndose de manera palpable la demanda de combustibles. Consecuencia de esta necesidad, es importante desarrollar programas de innovación tecnológica tanto en los sistemas de captura, como de transformación y distribución de los productos pesqueros, los cuales incluyan dentro de sus objetivos la reducción de la demanda de combustibles. Esto evidentemente, deberá estar alineado con un vigoroso impulso a la investigación y desarrollo que de solución al cada vez mayor consumo de energía. México ha dado algunos pasos al respecto; ejemplos de ellos son el uso de arrecifes artificiales, el desarrollo de redes de pesca más eficientes, la utilización de tecnología de localización de peces y otros elementos. Sin embargo, falta mucho por hacer para disminuir los efectos del cambio climático.

A manera de conclusión, algunos elementos para desarrollar políticas públicas para mitigar los efectos del cambio climático en las pesquerías en México, los cuales fueron discutidos en un taller de trabajo sobre el tema de calentamiento global y pesca (FAO, 2008):

1. Desarrollar marcos institucionales y legales que consideren y respondan a tratados sobre el cambio climático y la incertidumbre producida por la sobreexplotación de los recursos pesqueros, la contaminación y los cambios de las condiciones hidrológicas;
2. Implementar de manera completa el Código de Conducta para la Pesca Responsable, acompañado de enfoques de manejo ecosistémico de las pesquerías;
3. Establecer acuerdos nacionales y multilaterales, para facilitar la movilidad de las flotas que respondan a los cambios de distribución de los recursos pesqueros;
4. Combatir de manera frontal la pesca ilegal, no reportada y no reglamentada (IUU, por sus siglas en inglés);
5. Incrementar la resiliencia de las comunidades pesqueras en la costa, por medio de apoyos para desarrollar estrategias de vida adaptativas en la costa. Ejemplo de estos elementos:

disposiciones de acceso recíproco a los recursos pesqueros y mecanismos de resolución de conflictos;

6. Explorar políticas para promover el consumo local y regional de los productos acuáticos;
7. Respaldar iniciativas como los derechos de propiedad y otros incentivos, para reducir el esfuerzo pesquero en la sobreexplotación de los recursos;
8. Eliminar los subsidios perniciosos y los incentivos perversos, semejantes a subsidiar las flotas pesqueras en: combustibles, fondos directos e impuestos;
9. Ligar la administración de los riesgos con la planeación para el desarrollo, especialmente en la planeación costera; aplicar soluciones de ingeniería adecuada;
10. Diseñar Sistemas Tempranos de Prevención contra desastres naturales. (*e.g.* Sistemas de monitoreo ambiental eficientes, puertos de abrigo y refugio, robustecer los cuerpos de salvamento en el mar, y dotar a los gobiernos de municipios costeros suficientes fondos de financiamiento para el manejo de riesgo de desastres y otros);
11. Realizar evaluaciones del riesgo de cambio climático y su impacto social, evaluando escenarios de mitigación y alternativas de adaptación;
12. Promover la investigación sobre los impactos en el corto y mediano plazo del cambio climático para respaldar la identificación de los focos rojos, el desarrollo de estrategias de adaptación y mitigación, incluyendo mecanismos de financiamiento y de reducción de riesgos. Integrar los resultados al sistema de Planeación Nacional y,
13. Crear elementos adaptables de planeación de largo plazo, que incluyan la promoción de la resolución pesca como un elemento estratégico para la reducción de la pobreza y programas de acción de adaptación nacional.

Nótese que todo ello esta ligado con el uso eficiente de los combustibles y energéticos, para la producción, transformación, distribución y comercialización de los productos pesqueros.

Literatura citada

FAO, 2008. Report of the Workshop Expert on Climate Change implications for Fisheries and Aquaculture. Fisheries Report 2008; 870. 32 p.

CNP Instituto Nacional de la Pesca, 2004. Carta Nacional de Pesca, 2004. Diario Oficial de la Federación, 15 de marzo de 2004. México.

CNP Instituto Nacional de la Pesca, 2006. Carta Nacional de Pesca, 2006. Diario Oficial de la Federación, 25 de agosto de 2006. México.

Sagarpa, 2006. Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca, 2006. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. México. 219 p.

Flores Nava A., 2010. Una reflexión sobre el impacto del cambio climático en las actividades acuícolas costeras de México. p. 319-334. En: E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, y 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.

Una reflexión sobre el impacto del cambio climático en las actividades acuícolas costeras de México

Alejandro Flores Nava

Resumen

La acuicultura se expande a escala global a la tasa más elevada de todas las actividades de producción primaria. En México, el crecimiento alcanzó más del 23% entre 2004 y 2006, empleando directamente a 25 000 personas y ubicándose en prácticamente todos los estados con litoral. Sin embargo, el sector enfrenta desafíos muy importantes de cara a los efectos posibles del Cambio Climático Global (CCG). Estos incluyen aspectos biológicos, directamente sobre los organismos en cultivo; ecológicos sobre los sistemas naturales donde se cultivan, tales como estuarios y borde costero y económicos asociados a riesgos de destrucción de infraestructura por eventos meteorológicos extremos y reducción en la disponibilidad de insumos como semilla y alimentos suplementarios. Los modelos predictivos de inundación por la elevación del nivel medio del mar (ENMM) en el territorio nacional, demuestran la vulnerabilidad de zonas acuícolas principalmente en el sur de Tabasco y Campeche, en el Golfo de Tehuantepec y en menor medida en algunos puntos de la zona Pacífico Norte. Se presenta una matriz empírica de regionalizada del tipo, magnitud y probabilidad de eventos extremos en las cuatro regiones acuícolas litorales del país, y se ofrecen diversas acciones de gestión y política para preparar mejor al sector en relación con los impactos posibles del CCG.

Introducción

La acuacultura continúa siendo la actividad productora de alimentos de más rápido crecimiento a escala global con 8.7% promedio anual sostenido durante los últimos 30 años (FAO, 2008a). Los avances científicos y tecnológicos en las áreas que inciden en la producción acuícola aunados a la expansión de mercados, han estimulado el crecimiento de la superficie de cultivo de especies acuáticas en todas las regiones del mundo; han propiciado la intensificación productiva y han ampliado el espectro de especies cultivadas en las últimas tres décadas.

Este incremento sostenido, de mantenerse, permitiría augurar que la brecha entre la oferta de proteína de origen acuático y la demanda proyectada para los próximos 25 años, sea estrechada significativamente por la contribución acuícola, alcanzando por primera vez en la historia el 47% de la oferta mundial de productos pesqueros. En este sentido, la importancia de la actividad acuícola se ha reflejado no sólo en la producción de especies de alto valor comercial, sino en el incremento de la contribución del pescado al aporte total de proteínas en la dieta de los países de bajos ingresos y con déficit alimentario (PBIDA), alcanzando 18.5% (FAO, 2008a).

En México, la acuicultura ha mantenido su expansión, el país se ubica entre los 10 países con mayor tasa de crecimiento, alcanzando 23.3% entre 2004 y 2006 (FAO, 2008a), ocupando una superficie superior a 120 000 ha dedicadas al cultivo de organismos acuáticos, y empleando aproximadamente a 25 000 personas en todo el territorio nacional (Conapesca, 2006).

Sin embargo, esta tendencia podría verse afectada en escalas hasta hoy no cuantificadas, por fenómenos derivados del cambio climático global. En este sentido, se esperan cambios negativos por alteraciones ecológicas y fisiográficas, aunque también se prevén cambios positivos relacionados con la ampliación espacial y temporal de zonas con condiciones térmicas adecuadas para el desarrollo de algunas especies. Estas alteraciones tendrán consecuencias directas en la dimensión humana de las pesquerías y las actividades acuícolas, por lo que su análisis resulta imperativo, para la instrumentación de políticas nacionales orientadas a contender, fundamentalmente, con los efectos negativos esperados en los sectores económicos.

La presente contribución pretende describir los posibles cambios directos en las actividades acuícolas del país, derivados de las alteraciones climáticas que inciden directa e indirectamente en este sector; así como sugerir alternativas para su inclusión en políticas sectoriales.

El sector acuícola de México: una síntesis de su diversidad, geografía y características

La acuicultura en México cuenta con una larga tradición que data de finales del siglo XIX, cuando se construyó el primer centro piscícola en el estado de México para el cultivo de la trucha arco iris introducida de Estados Unidos (Arredondo y Lozano, 1996). Sin embargo, ha sido en las últimas dos décadas que el sector se ha fortalecido y expandido como resultado de la conjunción de diversos factores que incluyen: i) aspectos estructurales como los cambios en la legislación que han permitido la incursión de capital privado en el cultivo de especies anterior-

mente reservadas a las sociedades cooperativas, así como la promulgación de la Ley de Pesca y Acuacultura Sustentables; ii) aspectos tecnológicos como la introducción exitosa al país de tecnologías de cultivo provenientes de otros países con mayor desarrollo acuícola, como el caso del cultivo del camarón y la tilapia, además de la creación de instituciones de formación e investigación acuícola que han permitido el acompañamiento del desarrollo sectorial a nivel regional, y iii) la diversificación económico-productiva de empresas de capital privado y del sector social, que permitió la canalización de inversiones al sector, estimulada por la creciente demanda de productos acuícolas en los mercados internacionales.

Aun cuando se reporta el cultivo de 40 especies de peces, crustáceos, moluscos y anfibios, la producción acuícola de mayor volumen e impacto económico es generada fundamentalmente por siete especies tanto de ambientes estuarino-marinos, como dulceacuíciolas (tabla 1).

La producción acuícola mexicana se ha intensificado gradualmente como reflejo de los avances tecnológicos y tendencias globales. El uso de altas densidades de cultivo para incrementar la productividad, ha demandado la introducción de sistemas de aireación, un manejo hidráulico más intensivo, y el empleo de alimentos suplementarios con alto contenido protéico.

La práctica de la acuacultura como actividad económica, se ha extendido a todo el país y en todas las escalas, desde la producción de pequeña escala, familiar o comunitaria que emplea recursos muy limitados y destina sus cosechas a complementar la alimentación e ingreso familiares, hasta las empresas verticalizadas que producen en forma intensiva especies de alto valor comercial en infraestructura de alta tecnología y en zonas costeras o espacios oceánicos, con fines de exportación.

El Programa Rector Nacional de Acuicultura y Pesca de la Comisión Nacional de Pesca y Acuacultura (Conapesca, 2008), establece como meta de producción acuícola nacional para el año 2030, un millón de toneladas, lo que representa un incremento de casi 4 veces la producción actual. Sin duda el potencial existe en términos de superficie con vocación acuícola aún no explotada, considerando que el país cuenta con más de 11 000 km de litorales; 12 500 km^2 de lagunas costeras y 6 500 km^2 de aguas interiores. El desafío para alcanzar esta meta será, además de los factores tecnológicos y de mercado, adaptarse al cambio climático.

Tabla 1. Producción acuícola de las principales especies cultivadas en México (Conapesca, 2006).

Especie	Producción (Tons)	Ambiente de cultivo
Camarón	111 306	Estuarino, marino
Tilapia	69 214*	Agua dulce
Ostión	43 495*	Estuarino, marino
Carpa	22 504*	Agua dulce
Trucha	4 232	Agua dulce
Atún	3 806	Marino
Bagre de canal	2 503	Agua dulce

* Incluye pesquerías basadas en la acuacultura.

La figura 1 muestra la geografía acuícola del país. Si bien todos los estados con litoral cuentan con unidades de producción acuícola costera y/o marina, es la región noroeste del país, la que contribuye con el 90% de la producción acuícola nacional y presenta la mayor tasa de expansión y perspectivas de crecimiento.

En el Golfo de México, la actividad acuícola ha presentado un crecimiento más modesto, aun cuando todos los estados de este litoral cuentan con producción acuícola. Tamaulipas es la entidad con mayor desarrollo, seguida de Campeche. El Caribe presenta el menor desarrollo acuícola del país.

Existe una amplia gama de infraestructura y sistemas de producción acuícola empleados en México, de acuerdo con la especie, el nivel de intensificación de la producción y el ambiente de cultivo. Estos incluyen sistemas basados en tierra firme; en embalses y cuerpos de agua continentales; en planicies costeras; en sistemas estuarinos; en la zona intermareal y en la zona oceánica. Ambientes todos, sobretodo los costeros, que suponen una mayor vulnerabilidad a los efectos identificados del cambio climático.

Cambio climático y acuicultura: una mirada a los análisis internacionales

Desde la creación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) en 1988, constituido por expertos de la Organización Meteorológica Mundial y del Programa de Naciones Unidas para el Ambiente con el mandato de proveer de información objetiva sobre los cambios y efectos del clima a los niveles de toma de decisión en gobiernos,

Figura 1. Regiones acuícolas del país y especies que se cultivan (Modificado de Conapesca, 2008).

los acelerados cambios en los patrones climáticos globales que afectan ecosistemas y naciones, han estimulado la formación de grupos de trabajo diversos, tanto en el seno del IPCC, como en otros organismos, con el objeto de analizar los efectos y pronosticar la velocidad de los cambios; así como emitir recomendaciones para su mitigación (*e.g.* la Conferencia de las Naciones Unidas para el Ambiente y Desarrollo en 1992 y el nacimiento del Programa de Naciones Unidas para el Ambiente en 1993).

En este marco, los efectos del cambio climático global (CCG) en los ecosistemas acuáticos han sido objeto de múltiples análisis de forma más específica tanto por el IPCC como de otras organizaciones, abordando los efectos posibles sobre la disponibilidad del recurso agua y sobre la biodiversidad acuática (Le Roy *et al.*, 2002; UNEP, 2003; Bates *et al.*, 2008). De igual forma, un creciente número de trabajos científicos a escala mundial, ha permitido alimentar de forma objetiva las discusiones de estos grupos expertos (Carpenter *et al.*, 1992; Burkett y Kussler, 2000; Hobday *et al.*, 2006; Wrona *et al.*, 2006). De las conclusiones de los estudios se desprenden consensos sobre los efectos más probables para las próximas décadas sobre los ecosistemas acuáticos que incluyen:

- El incremento en la temperatura resultante del cambio climático, alterará tanto procesos ecológicos fundamentales, como la distribución de especies acuáticas por consecuencia.
- Desaparición de comunidades de manglar por incremento de la intrusión marina, con consecuencias directas en las comunidades asociadas.
- La estacionalidad reproductiva de las especies se verá afectada directamente por cambios fisiológicos causados por el incremento en la temperatura del agua, e indirectamente por las modificaciones resultantes en el hábitat.
- El incremento térmico a niveles superiores al umbral de tolerancia máxima de las comunidades de coral, y los procesos de acidificación marina, ya están teniendo un efecto letal en varias zonas del mundo, con efectos directos en las comunidades asociadas.
- Los cambios en los patrones de precipitación alterarán las condiciones hidrológicas que gobiernan la productividad de los ecosistemas acuáticos y los ciclos de inundación y reducción en humedales, propiciando cambios en la estructura de las poblaciones.
- La productividad acuática en muchas regiones se verá igualmente afectada por la redisposición de nutrientes hasta hoy atrapados bajo capas de hielo que se derriten gradualmente.
- El movimiento de una mayor masa de agua por efecto de la elevación del nivel del mar, alterará la salinidad y procesos de mezcla en zonas estuarinas, con afectación directa en la fisiología de las comunidades que las habitan.
- Si bien se prevé, en lo global, un incremento en la precipitación pluvial por efecto de un incremento en la concentración de vapor de agua en la atmósfera, existen zonas, entre ellas algunas regiones de México, donde se pronostica una reducción con efectos de sequía meteorológica muy severa, lo cual tendrá un efecto directo en la cantidad y calidad del agua en cuerpos de agua continentales y zonas estuarinas.

El desarrollo de modelos predictivos de los efectos del cambio climático a escala global ha evolucionado en nivel de sofisticación, lo cual se refleja en la última generación de modelos de circulación general (MCG), que integran las componentes oceánica y atmosférica. No obstante, dada la relativamente baja resolución de estos modelos y su naturaleza teórica, ofrecen mayor utilidad para escenarios de largo a muy largo plazos, con posibilidades limitadas para emitir pronósticos en escalas temporales cortas.

Los impactos del CCG sobre la pesca y la acuicultura, han sido objeto de análisis de forma reciente. En el sector pesquero los estudios se han concentrado en los efectos sobre las principales pesquerías globales como atún (Loukos *et al.,* 2003) y bacalao (Brander, 2005), mientras que los efectos sobre la acuicultura, han sido abordados desde la década de 1980, probablemente debido a la mayor vulnerabilidad evidenciada por este sector, por ejemplo, reflejada en alteraciones ambientales que originaron epizootias sin precedente que diezmaron la camaronicultura ecuatoriana (Cornejo-Grunauer, 1988).

La preocupación por los posibles efectos en el sector acuícola de diversos países, ha estimulado el análisis, la modelación y la preparación para los diversos escenarios posibles, en algunos casos de forma general sobre el sector acuícola en su conjunto (Handisyde *et al.,* 2006; FAO, 2008b), o sobre sectores acuícolas nacionales (Johannes, 2004; Hobday y Matear, 2005), e incluso, sobre sub-sectores acuícolas de forma específica (McCauley y Beitinger, 1992).

De las conclusiones derivadas de estos análisis sectoriales, se desprende que el cambio climático presenta amenazas serias para la sostenibilidad del sector acuícola, a través de impactos directos del incremento térmico gradual, y a los eventos extremos (inundaciones o huracanes) asociados. La magnitud de los efectos dependerá de las condiciones ambientales locales.

Los impactos sobre el sector acuícola pueden agruparse en: i) efectos de orden biológico, que directamente inciden sobre los procesos ecológicos y fisológicos de ambientes y organismos en cultivo, respectivamente; ii) efectos de orden económico, los ejercidos directamente sobre la infraestructura de cultivo y la producción, o indirectamente asociados a la producción, y iii) efectos de orden social, que son la resultante de uno o varios de los anteriores, que impactan a las comunidades que dependen directa o indirectamente del sector acuícola.

Efectos de orden biológico

Muchos ecosistemas acuáticos son directamente empleados como ambientes de cultivo; tal es el caso de los sistemas estuarinos abiertos donde se cultivan moluscos o peces; o la zona oceánica donde se cultivan atunes en jaulas flotantes. Al elevarse la temperatura de estos sistemas naturales, la fisiología de los organismos acuáticos, incluida su estacionalidad reproductiva, se verán modificadas. De igual forma, el incremento en la salinidad de los estuarios por una mayor intrusión marina causada por la elevación del nivel del mar, provocará estrés fisiológico en los organismos en cultivo, con consecuencias directas en morbilidad y mortalidad.

La productividad natural se verá alterada, principalmente en latitudes más templadas y frías, con posibles impactos positivos como la apertura de nuevas zonas de cultivo donde antes las condiciones no eran favorables, y con la probable invasión de otras especies competidoras.

Efectos de orden económico

El incremento en intensidad y frecuencia de eventos extremos como inundaciones o huracanes en diversas regiones acuícolas, representa uno de los principales riesgos del cambio climático sobre el sector. La destrucción de infraestructura acuícola, en su mayor parte ubicada en zonas costeras, tiene efectos devastadores y en algunos casos irreversibles en la economía de comunidades rurales, lo mismo que la pérdida de cosechas. De igual forma, los escapes de organismos exóticos, resultantes de estos eventos, representan riesgos ecológico-económicos con posible afectación a pesquerías locales.

Por otra parte, la estocasticidad generada por anomalías climáticas sobre las cosechas agrícolas o sobre la captura de recursos pesqueros que son insumos esenciales en la elaboración de alimentos acuícolas, también tiene un efecto directo en la disponibilidad y precio de estos insumos para la producción. Estos efectos indirectos son más tangibles en los productores de pequeña escala.

Efectos de orden social

Los efectos anteriores, en forma individual o combinados, tendrán repercusión en las comunidades asociadas al sector acuícola, no sólo en el plano económico, sino propiciando procesos de relocalización hacia zonas menos vulnerables o de mejores condiciones para cultivar, tal como ocurre con comunidades agrícolas.

Otras dimensiones sociales como la ocupacional se verán afectadas directa o indirectamente, al substituir actividades de producción primaria como la acuicultura, por actividades con menor riesgo. La reducción en la disponibilidad de insumos y productos acuícolas tendrá efectos en precios, lo cual inducirá consecuentemente cambios en hábitos alimenticios en algunas zonas.

Una proporción importante de la población global depende para su seguridad alimentaria de productos pesquero-acuícolas, por lo que los efectos negativos enunciados limitarán el acceso a estos alimentos en algunos casos.

Estos son algunos de los tipos de impactos identificados a escala global, aplicables a las condiciones de prácticamente todas las regiones, incluyendo México. La magnitud de los efectos y su temporalidad sin duda son sitio-dependientes y la precisión con la que pueden construirse modelos predictivos es todavía lejana a la deseable para la toma de decisiones con certidumbre. La tabla 2 presenta una matriz del nivel de impacto esperado en cultivos que se desarrollan en los tres ambientes de cultivo asociados a la zona marino-costera.

Tabla 2. Posibles efectos del cambio climático en ecosistemas empleados como ambientes de cultivo y su impacto sobre la infraestructura y/o los organismos cultivados.
(0= no afectación; ¤ moderada; ¤¤= considerable; ¤¤¤= severa y x= efecto positivo).

Fenómenos asociados al cambio climático	Zona oceánica	Zona estuarina	Planicie costera
Calentamiento	¤¤	¤¤	¤
Incremento en la salinidad	0	¤¤¤	¤¤¤
Inundación	0	¤	¤¤¤
Mayor productividad primaria	x	xxx	x
Cambios en comunidades vegetales	0	¤¤¤	¤
Mayor incidencia de huracanes	¤¤¤	¤¤¤	¤¤¤
Alteraciones en la hidrodinámica	xx	¤¤	¤
Incremento en la profundidad local	¤	¤¤	0
Florecimiento de algas tóxicas	¤¤¤	¤¤¤	¤¤¤
Sedimentación excesiva	¤¤	¤¤¤	¤¤
Invasión de competidores/depredadores	¤	¤¤¤	0
Intrusión de microbiota patogénica	¤¤¤	¤¤¤	¤¤¤
Disminución de juveniles reclutables	¤¤¤	¤¤¤	0
Reducción en volumen de agua disponible	0	¤¤	¤¤¤

El impacto del cambio climático en la acuicultura mexicana: un esbozo de lo probable

Dado el principio de integralidad, cualquier alteración ambiental sobre los sistemas naturales y socio-económicos del territorio nacional, tendrá una repercusión en mayor o menor medida en la acuicultura mexicana y sus componentes. No obstante, el grado de afectación estará determinado por el nivel de vulnerabilidad de la población asociada al sector. Así, el término vulnerabilidad tiene dos acepciones; una geográfica, relacionada con el grado de exposición a, e incidencia de, fenómenos derivados de anomalías del clima en una región determinada, y otra asociada al nivel de desarrollo de la población y el sector (en este caso acuícola), lo cual guarda estrecha relación con el nivel de adaptación a los cambios.

En México la vulnerabilidad social al cambio climático es, en general, muy elevada. El sector acuícola mexicano, por su parte, está integrado por sub-sectores que presentan distintos grados de vulnerabilidad. Desde el punto de vista del nivel de desarrollo, es posible diferenciar a tres sub-sectores: i) acuacultura industrial; i) acuacultura comercial de mediana escala y iii) acuacultura de pequeña escala y escasos recursos. La tabla 3 ofrece una descripción comparativa del grado de vulnerabilidad de estos sub-sectores.

Es evidente que el grado de vulnerabilidad es inversamente proporcional al nivel de desarrollo y a la escala de los productores; así, ante una contingencia, los pequeños productores de es-

Tabla 3. Descripción comparativa de rasgos de desarrollo de los sub-sectores acuícolas de escala en México y su nivel de vulnerabilidad a contingencias asociadas al cambio climático.

Característica	Acuacultura industrial	Acuacultura comercial de mediana escala	Acuacultura de pequeña escala y escasos recursos
Nivel de desarrollo tecnológico.	Elevado, capacidad de asimilación de oportunidades tecnológicas.	De medio a elevado, dependiente de su relación con otros productores o el gobierno.	Básico, caracterizado por experiencia empírica y dependiente de asistencia técnica pública.
Disponibilidad de capital.	Elevada con acceso a recursos crediticios comerciales.	Limitada, con acceso a recursos crediticios gubernamentales.	Muy limitada, con acceso parcial a fondos de fomento.
Robustez de infraestructura ante eventos extremos.	Media a elevada; reforzada de acuerdo al entorno.	En general no preparada para eventos extremos.	Precaria, sin posibilidades de soportar eventos extremos.
Flexibilidad y capacidad de adaptación a cambios.	Elevada. Facilidad para cambiar especies en cultivo y modificar infraestructura.	Media con tendencia creciente en relación a eventos biológicos (epizootias). Muy limitada en relación a eventos meteorológicos extremos.	Nula. Carencia de conocimientos y recursos.
Fragilidad sanitaria.	Baja. Tecnología y manejo adecuados.	Baja a media. Creciente concientización estimulada por el mercado.	Alta. Carencia de conocimientos y recursos.
Nivel de bioseguridad.	Medio a elevado, con creciente implantación de esquemas de seguridad biológica forzada por el mercado.	Medio a elevado, con creciente implantación de esquemas de seguridad biológica forzada por el mercado.	Muy baja a nula.
Fragilidad financiera ante volatilidad de precios de insumos.	Baja. Cuentan con reservas y flexibilidad.	Baja.	Alta.
Posibilidad de reiniciar en caso de destrucción.	Alta.	Limitada.	Nula.
Nivel general de vulnerabilidad general del sub-sector	Baja.	Media.	Alta.

casos recursos tendrían una mínima capacidad de reacción y prácticamente nulas posibilidades de reiniciar actividades.

Por lo que se refiere a la vulnerabilidad de los productores acuícolas mexicanos asociada a las regiones donde se ubican, en un intento por contar con un referente geográfico basado en la información disponible a partir de modelos predictivos de elevación del nivel medio del mar (ENMM), la figura 2 compara las zonas de mayor densidad acuícola en las costas mexicanas, con

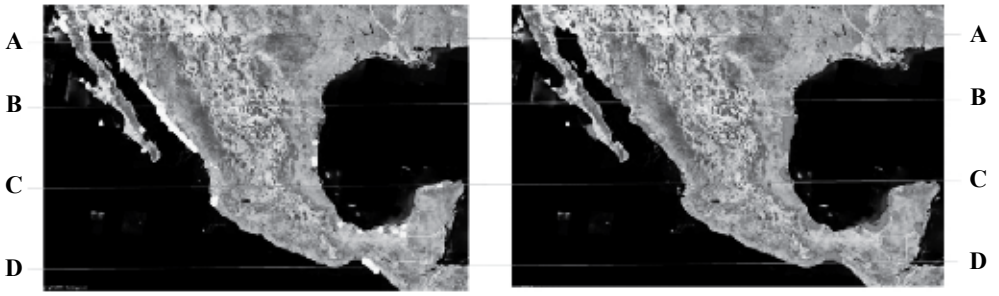

Figura 2. Zonas con mayor densidad acuícola costera en México (izquierda) y zonas identificadas como de mayor vulnerabilidad a procesos de elevación del nivel medio del mar (derecha). (Construido a partir de mapas de áreas vulnerables a CCG de Weiss y Overpeck, 2005).

las zonas identificadas como de mayor vulnerabilidad a la elevación del nivel medio del mar provocada por calentamiento global.

La imagen que señala en forma meramente indicativa los puntos litorales mexicanos con mayor propensión a inundaciones por su condición de zonas bajas con respecto al nivel del mar, ha sido derivada de la cartografía modelada de Weiss y Overpeck (2005), de la Universidad de Arizona, considerando un escenario de inundación provocada por una ENMM de un metro.

Las regiones más vulnerables se ubican en el Golfo de México, principalmente las costas de Tabasco y Campeche, en el borde costero y la margen continental de la laguna de Términos, donde se estima una afectación de hasta 20 km tierra adentro. Aquí se localizan zonas ostrícolas, algunas granjas camaroneras y piscícolas. En el Golfo centro, en las planicies costeras aledañas al corredor Veracruz-Alvarado, con afectación por inundación de hasta 47.5 km tierra adentro (CICC, 2007), y en el norte las áreas aledañas a las lagunas costera de Tamiahua-Pueblo Viejo en Veracruz. Esta región centro y norte del Golfo de México integran la zona de producción ostrícola más importante del país. Alta vulnerabilidad igualmente presentan en Tamaulipas los sistemas lagunares de La Pesca, principal zona de producción camaronícola del estado, y Laguna Madre.

En el litoral Pacífico se advierte la posibilidad de inundaciones en el golfo de Tehuantepec, importante zona productora de camarón, mientras que se predice un menor impacto en el resto del litoral del Pacífico; no obstante, algunas zonas asociadas a planicies costeras bajas y sistemas estuarinos de Sinaloa y Sonora, son también incluidas en escenarios de afectación por inundaciones marinas.

El grado de afectación a la infraestructura acuícola costera, en caso de cumplirse el escenario predictivo de elevación de un metro, estará determinado de forma específica por el sitio de ubicación de cada granja. Sin embargo, es altamente probable que las granjas ubicadas en el litoral del Golfo de México sur y en el Golfo de Tehuantepec, sean las más vulnerables a procesos de inundación.

Por otra parte, un posible impacto cuya magnitud es difícil anticipar, pero que afectará a todas las unidades acuícolas asentadas directamente en ecosistemas estuarino-costeros, es la modificación de la salinidad y la hidrodinámica propiciada por la ENMM en las zonas intermareales y estuarinas con producción acuícola de moluscos bivalvos. Esto es relevante para ambos litorales del país.

Aun cuando la información disponible localmente es escasa, y la naturaleza errática de los fenómenos meteorológicos derivados de las alteraciones del clima hacen prácticamente imposible predecir escenarios a escala micro-regional en el corto plazo, las evidencias históricas en términos de frecuencia, ámbito geográfico de influencia e intensidad, aunadas a predicciones derivadas de modelos globales interpolados a escala regional, permiten trasladar posibles efectos del CCG a la franja costera de las regiones acuícolas del país. La tabla 4 presenta los efectos probables del cambio climático global sobre las distintas regiones acuícolas del país.

Esta tabla es meramente indicativo de la posibilidad de eventos asociados al CCG en las regiones acuícolas, y no se desprende de información científica local basada en series históricas suficientes como para establecer temporalidad y certeza en la predicción. Sin embargo, si pretende alertar sobre posibles eventos extremos en función de la vulnerabilidad de diversas áreas incluidas en dichas regiones.

Resulta difícil emitir una opinión en torno a la magnitud y temporalidad de los efectos económicos sobre las poblaciones dependientes de la actividad acuícola directa o indirectamente. No obstante, si se considera que la población directamente asociada a las actividades acuícolas en México superaba las 25 000 personas, cifra que puede bien multiplicarse por un factor de 6 si se consideran los miembros de las familias dependientes de estos trabajadores, y los empleos indirectos del sector. Más del 80% se ubican en las zonas costeras del país, donde, además, se produce más del 87% de la producción acuícola nacional (Conapesca, 2006).

La contribución de la acuicultura a la economía mexicana en el año 2004 (último dato oficial disponible), se estimó en 4 700 millones de pesos; esto es una contribución del 0.047% al PIB nacional, de lo cual el cultivo de camarón y de atún, aportaron el 64 y el 10%, respectivamente (Conapesca, 2008). Ambos cultivos se concentran principalmente en la región del Pacífico Norte, en los estados de Sonora y Sinaloa, para el caso del camarón, y Baja California para el atún.

Estos cultivos han sostenido tasas de crecimiento elevados (>65% en el caso del camarón en una década), con derrama económica y empleo para múltiples comunidades, por lo que cualquier afectación derivada de fenómenos asociados al CCG tendría un efecto económico y social de alto impacto negativo.

Por otra parte, en el Golfo de México, la producción de ostión en los estados de Campeche, Tabasco, Veracruz y Tamaulipas, aunado a las granjas camaroneras y piscícolas, emplean a más de 1 500 familias con al menos 3 empleos indirectos asociados a cada empleo directo. Este litoral es el que presenta una mayor vulnerabilidad por su condición de menor altitud con respecto al NMM.

Tabla 4. Probabilidad e intensidad teórica de eventos extremos asociados al CCG, en las regiones acuícolas costero-marinas de México (Cuadro construido con interpolación de fuentes de información en: Magaña *et al.,* 2004; Weiss & Overpeck, 2005; Handisyde *et al.*, 2006).

Región acuícola	Tipo de impacto	Intensidad	Amplitud geográfica	Probabilidad
Pacífico norte	Inundaciones			
	Huracanes			
	Afectación en manglares			
	Erosión de playas			
	Sequía meteorológica			
	Salinización			
Pacífico sur	Inundaciones			
	Huracanes			
	Afectación en manglares			
	Erosión de playas			
	Sequía meteorológica			
	Salinización			
Golfo de México	Inundaciones			
	Huracanes			
	Afectación en manglares			
	Erosión de playas			
	Sequía meteorológica			
	Salinización			
Golfo-Caribe	Inundaciones			
	Huracanes			
	Afectación en manglares			
	Erosión de playas			
	Sequía meteorológica			
	Salinización			

Baja	Moderada	Media	Amplia	Elevada	Severa

Acciones de política recomendadas para mitigar los posibles efectos del CCG en el sector acuícola mexicano

Las aproximaciones al problema del CCG sobre la acuicultura hasta hoy han sido tangenciales a escala global y México no es la excepción. El sector de la pesca y la acuicultura no forma parte de los sectores para los cuales existen acciones de política para mitigación en la Estrategia Nacional del Cambio Climático, instrumento formulado por la Comisión Inter-secretarial de Cambio Climático del Gobierno Federal Mexicano. Esto puede ser reflejo del peso económico que el sector tiene en la canasta económica del agro mexicano.

Sin embargo, la tasa de crecimiento de la actividad (>23% entre 2004 y 2006); la población crecientemente dependiente en forma directa o indirecta de este sector, y los riesgos ambientales asociados a la destrucción de infraestructura acuícola por fenómenos atribuibles a CCG, demandan la inclusión sin demora de la acuicultura en el marco de la Estrategia Nacional, así como otras atendibles desde el marco institucional del sector.

Algunas recomendaciones pertinentes para atender las necesidades del sector acuícola mexicano de cara a los posibles impactos del CCG se enlistan a continuación:

- La carencia de información científica orientada a la medición de cambios puntuales en la fisiografía y ecología costeras en México, como resultados de anomalías climáticas, hace prácticamente imposible la aplicación de modelos que permitan pronosticar los tipos y magnitud de efectos del CCG en la acuicultura. Es imperativo invertir en la obtención de información sistemática, de calidad, y en las variables que los especialistas determinen como indicadoras de cambios que afecten al sector acuícola.
- La actividad acuícola mexicana crece a tasas superiores a otras actividades de producción primaria. En consecuencia, la contribución sectorial a la economía y el empleo, es y será de gran relevancia para el país y debe ser reconocida de forma más específica tanto en la Estrategia Nacional de Cambio Climático, como en otros instrumentos de política sectorial de los gobiernos estatales y federal.
- Es indispensable elaborar la cartografía de la vulnerabilidad de las zonas acuícolas mexicanas. Este ejercicio resultaría sencillo considerando que se cuenta con mapas de vulnerabilidad territorial al CCG, por lo que su inserción a través de análisis espacial sería poco complicado y podría hacerse de inmediato.
- Contando con un mapa de vulnerabilidad de las zonas acuícolas, es deseable la consideración de áreas críticas (*e.g.* la margen continental de la laguna de Términos), para la decisión sobre la expansión de la frontera acuícola y, en su caso, sobre las medidas de ingeniería de protección física a ser implementadas, como condicionales de las autorizaciones de operación.
- Los efectos del CCG ya se reflejan en una mayor volatilidad de precios de materias primas como granos y harina de pescado, provocadas por una mayor estocasticidad en las capturas y cosechas mundiales. Es por lo tanto indispensable contar con un sistema de

información accesible y oportuno al productor, que le permita tomar decisiones con la mayor anticipación posible.

- Es fundamental incorporar a los análisis-base para los esquemas de ordenamiento acuícola (en este caso costero), los pronósticos de fenómenos derivados del CCG con la mejor información científica disponible.
- Es muy importante diseñar, con la participación de los principales actores de cada sector acuícola regional del país, un plan de preparación y reacción a contingencias, acorde con las amenazas identificadas localmente en torno al CCG.
- Revisar, con mayor profundidad, las posibles alteraciones en la estacionalidad reproductiva de especies cultivadas en zonas estuarino-marinas, y de especies en cultivos basados en pesquerías (como el atún), para redefinir las vedas y las zonas de captura.
- Diseñar una estrategia sanitaria preventiva más sólida y formular un programa de reacción sectorial a posibles epizootias. Esta acción demanda la revisión de las normas sanitarias establecidas, para adaptarlas a las nuevas condiciones que impondrá el CCG.
- Es importante fortalecer los esquemas de generación de capacidades *in situ* en comunidades costeras dependientes de la acuicultura. Esto les permitirá prepararse mejor o, en casos extremos, decidir sobre su relocalización o cambio de actividad de cara a la magnitud y tipo de efectos del CCG.
- La creación de un fondo de contingencias meteorológicas sobre la acuicultura, o bien, la ampliación de la cobertura de seguros, para incluir a los estratos más básicos de la producción, permitirán una mayor resiliencia en los productores más vulnerables.
- La planificación sectorial deberá incorporar análisis probabilísticos para el manejo del riesgo y la incertidumbre, dadas las condiciones de variabilidad ambiental que inciden directamente en la producción acuícola, sobretodo en aquella practicada en sistemas abiertos.
- La gestión del sector acuícola, desde la perspectiva de políticas públicas, requiere una atención separada y específica, distinta de la del sector agrícola o del pesquero, donde la mayoría de las veces se le incluye. La naturaleza de los sistemas acuáticos les hace vulnerables a mayor diversidad de efectos que los sistemas terrestres, y difiere en necesidades de las del sector pesquero. No obstante, el análisis territorial y de gestión de la actividad, debe hacerse con un enfoque eminentemente sistémico, considerando la armonización de todos los sectores involucrados en el uso común de recursos.
- La promoción de mecanismos de organización de los productores tales como las asociaciones o los sistemas-producto, son un eficaz instrumento para el fortalecimiento de capacidades y apoyos intra-gremiales que pueden ayudar a anticipar o mitigar los efectos negativos del CCG.
- Es cada vez más importante la participación de México en los grupos internacionales sobre CCG. Los acuerdos y acciones recomendadas por los diversos grupos de trabajo y comisiones, debieran transmitirse a los diversos sectores involucrados, y traducirse en acciones de preparación o mitigación.

Literatura citada

Arredondo, J.L., y S.L. Lozano, 2003. La acuicultura en México. Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa. México. 266 p.

Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu, y J.P. Palutikof (eds.), 2008. El Cambio Climático y el Agua. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Secretaría del IPCC, Ginebra, 224 p.

Brander, K.M., 2005. Cod recruitment is strongly influenced by climate when stock biomass is low. *ICES Journal of Marine Science,* 62(3):339-343.

Burkett, V., y J. Kussler, 2000. Climate Change: Potential Impacts and Interactions in wetlands of the United States. *Journal of the American Water Resources Association,* 36:313-320.

Carpenter, S.R., S.G. Fisher, N.B. Grimm, y J.F. Kitchell, 1992. Global change and freshwater ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematics,* 23:119-139.

CISCC, 2007. Estrategia Nacional de Cambio Climático. Comisión Inter-secretarial de cambio climático. Semarnat/Sagarpa/SE/SENER/Sedesol/SCT/SRE. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. Disponible en: www.semarnat.gob.mx/Documents/Estrategias_libro_completo_compress2.pdf

Conapesca, 2006. Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca. Comisión Nacional De Pesca y Acuacultura. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. Disponible en: www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/anuario_2006

Conapesca, 2008. Diagnóstico y Planificación Regional de la Pesca y la Acuacultura en México. Comisión Nacional de Pesca y Acuacultura. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México. Disponible en: www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/programa_rector_nacional_de_pesca_y_acuacultura_su

Cornejo-Grunauer, P., 1988. Variaciones climáticas: El fenómeno de El Niño-Oscilación Sur en la acuicultura del Ecuador. *Boletín CENAIM,* 41:5-7.

FAO, 2008a. Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura 2008. Departamento de Pesca y Acuicultura. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 218 p.

FAO, 2008b. Report on the Expert Workshop on Climate Change Implications in Fisheries and Aquaculture. April 7-9, 2008. Rome. FAO Fisheries Report No. 870. FAO, Rome.

Johannes, M.R.S., 2004. Adapting to climate variation and change in Canadian aquaculture. *Aquaculture Association of Canada Special Publication,* 8:51-55.

Handisyde, N.T., L.G.Ross, M.C. Badjeck, y E.H. Allison, 2006. The effect of climate change on world aquaculture: a global perspective. Department for International Development, London, UK. Disponible en: www.aqua.stir.ac.uk/GISAP/gis-group/climate.php

Hobday, AJ., y R. Matear (eds), 2005, Review of climate impacts on Australian fisheries and aquaculture: implications for the effects of climate change. Report to the Australian Greenhouse Office, Canberra, December 2005. Greenhouse Office, Canberra, Australia.

Hobday, AJ., T.A. Okey, E.S. Poloczanska, y A.J. Richardson (eds.), 2006. Impacts of climate change on Australian marine life. Report to the Australian Greenhouse Office, Canberra, September 2006. Greenhouse Office, Canberra, Australia.

IPCC, 2007. Climate Change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II. In: L. Parry, Martin, O F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden, and C.E. Hanson, (eds.). Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 1000 p.

Le Roy, P.F., M.M. Brinson, y J.W. Day Jr ., 2002. Aquatic ecosystems and global climate change. Potential impacts on inland freshwater and coastal wetland ecosystems in the United States. Prepared for the Pew Center on Global Climate Change

Loukos, H., P. Monfray, L. Bopp, y P. Lehodey, 2003. Potential changes in skipjack tuna (*Katsuwomus pelamis*) from a global warming scenario: modeling approach and preliminary results. *Fisheries and Oceanography,* 12:474-482.

McCauley, R., y T. Beitinger, 1992. Predicted effects of climate warming on the commercial culture of the channel catfish *Ictalurus punctatus*. *GeoJournal,* 28(1):61-66.

Magaña, V., J.Matías-Mendez, R. Morales, y C. Millán, 2004. Consecuencias presentes y futuras de la variabilidad del cambio climático en México. p. 204-213. En: J. Martínez, y A. Fernández (Coordinadores). Cambio Climático: una visión desde México. Instituto Nacional de Ecología. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.

UNEP, 2003. Review of the Interlinkages between Biological Diversity and Climate Change, and Advice On the Integration of Biodiversity Considerations into the Implementation of the United Nations Framework Convention on Climate Change and Its Kyoto Protocol. UNEP/CBD/SBSTTA/91/11.

Weiss, J., y J.T. Overpeck, 2005. Climate change and sea level. Environmental Studies Laboratory. Department of Geosciences. University of Arizona. http://www.geo.arizona.edu/dgesl/research/other/climate_change_and_sea_level/sea_level_rise/north_america/images/lg/slr_na_1meter_lg.htm

Wrona, F.J., T.D. Prowse, J.D. Reist, J.E. Hobbie, L.M.J. Levesque, y W.F. Vincent, 2006. Climate change effects on aquatic biota, ecosystem structure and function. *Ambio,* 35(7):359-369.

Barradas, P., 2010. Cambio climático y actividades agropecuarias y forestales en zonas costeras, p. 335-346. 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 y actividades agropecuarias y forestales en zonas costeras

Pilar Barradas M.

Resumen

En este trabajo se presenta la información correspondiente al sector agropecuario y forestal del país, se trata de enfatizar estas actividades en las zonas costeras y el impacto que el cambio climático podría tener en las mismas. De igual manera, se analizan las políticas públicas existentes para promover dichas actividades, los objetivos declarados de la administración pública ante el fenómeno climático, los resultados registrados por la presencia de fenómenos meteorológicos cada vez más intensos y los problemas que se detectan ante la falta de mayores acciones para hacer frente a los mismos. Al final se efectúan recomendaciones sobre la necesidad de realizar mayor investigación multidisciplinaria regional, la urgencia de instrumentar políticas públicas congruentes que atiendan de manera integral los problemas y la incorporación de los gobiernos y organizaciones locales en las mismas.

Entorno sectorial

La República Mexicana cuenta con una superficie total de 1 964 381.7[1] kilómetros cuadrados de los cuales el 3.8% corresponde a zonas costeras, constituye una de las reservas biológicas más importantes del mundo, y se considera a nivel internacional como uno de los doce países con mayor biodiversidad.

Para 2009 se calcula que la población es de 107.55 millones[2], de los cuales más del 60% vive en ciudades mayores a 15 000 habitantes, solamente 26% habita en comunidades rurales.

El Producto Interno Bruto (PIB) de México en 2008[3] fue de 8 928 mmp a precios de mercado, el sector servicios representó 55.6%, la industria 23.9% y el sector agropecuario y forestal solamente aportó 3.5%.

De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)[4], la superficie destinada a uso agrícola representa 11.7% del total, con una producción de 824 666 toneladas, sin embargo la balanza alimentaria continúa siendo deficitaria, en 2008 primer año en que se abre la frontera en el renglón agropecuario por el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), las importaciones de cereales (trigo, maíz, arroz y sorgo) se elevaron en 56% entre enero y octubre, con respecto al mismo período del año anterior.

Por su parte el área dedicada a producción ganadera alcanza 130 millones de hectáreas, en cuanto a la población de ganado se registraron un total de 23.3 millones de cabezas de bovinos, 9.0 millones de cabezas de ganado porcino y 339.8 millones de aves.

En términos generales, México gastó 19 mil 347[5] millones de dólares en la importación de 23 clases distintas de alimentos durante los 10 meses mencionados de 2008, lo que implica un aumento de 26 por ciento respecto de los 15 mil 292 millones de dólares que se gastaron en igual periodo de 2007.

Esto significa que el país, aún con la superficie que tiene dedicada a la producción agrícola y pecuaria no cuenta con la capacidad suficiente para garantizar la seguridad alimentaria de la población y que por tanto, buena parte los alimentos básicos que se consumen son pagados con recursos provenientes de otros sectores (*e.g.* venta de petróleo), recursos que podrían aplicarse para atender otros esquemas que permitieran el desarrollo sostenido.

En la parte forestal se tiene que alrededor del 70%[6] del país (137.7 millones de ha cuadradas) están constituidos por bosques (18%), selvas (16%) y matorrales (30%), de la superficie forestal, aproximadamente el 80% pertenece a comunidades y ejidos; en el quinquenio 2000 – 2005 la tasa de deforestación, de acuerdo a los reportes de la FAO[7], disminuyó situándose en 260 mil hectáreas al año, del 2000 al 2005, sin embargo esto representa una pérdida del manto forestal

[1] Indicadores Geográficos. INEGI, 2000.
[2] Indicadores Demográficos para México, Conapo, 2009.
[3] Reportes Preliminares Banco de México, 2009.
[4] VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal. INEGI. 2008.
[5] Balanza Comercial México, INEGI. 2009.
[6] Compendio de Estadísticas 2000, Dirección General de Estadística. Semarnat, 2002.
[7] Reporte Forestal. FAO 2006.

no recuperable y en los últimos años habría que sumar las pérdidas registradas por los impactos de los huracanes y los incendios forestales.

Previsiones respecto a impactos del cambio climático

De acuerdo a los estudios de vulnerabilidad[8] que se han desarrollado en el país para determinar los posibles efectos del cambio climático se tienen los siguientes resultados, en los cuales se enfatizan las modificaciones de aptitud de suelos para el cultivo de maíz, debido a que es la base de la alimentación de las familias rurales:

El norte del país presenta los índices más graves de sequía, que van desde fuerte a muy severa. Los resultados de un posible aumento en el nivel del mar revelan que, en esta región, la costa del Golfo se vería afectada en el delta del Pánuco en Tamaulipas, concretamente en la zona deltaica del río Bravo, dadas sus características geomorfológicas.

Para los estados de la zona centro, la sequía, aumentaría en severidad afectando a los estados de Veracruz y Michoacán, principalmente. Este último estado presentaría también un alto grado de vulnerabilidad a la desertificación en más de 50% de su superficie, junto con Jalisco, Colima y Nayarit,

Los campos de cultivo de maíz de temporal en Jalisco, Nayarit, Colima y el norte de Michoacán pasarían de ser medianamente aptos y aptos a no aptos, disminuyendo el potencial agrícola de estos estados.

En las costas del Golfo de México y del Mar Caribe se presentan regiones susceptibles al ascenso del nivel del mar, específicamente en el delta de los ríos Grijalva-Usumacinta en Tabasco, en las costas del noreste de Campeche y en la región de Sian Ka'an, esta última considerada como reserva de la biosfera.

En la actividad agrícola, la mayor parte de la superficie está considerada como medianamente apta para el cultivo del maíz de temporal, con excepción de las costas de Guerrero y Oaxaca, consideradas como no aptas. Tabasco, parte de Campeche y Chiapas se consideran como aptas. Sin embargo, en ésta última se encuentra gran parte de las selvas del país.

De darse un cambio climático la superficie apta desaparecería de las zonas sur y sureste del país; la franja costera, considerada como no apta, se extendería hacia el interior. La mayor parte de la península de Yucatán se volvería no apta.

Se prevé que al menos el 50% de los ecosistemas forestales se vean afectados y en las zonas costeras debido a la tendencia en el incremento del nivel del mar las áreas de mayor vulnerabilidad se registran en Tabasco (Complejo Deltaico) Tamaulipas (Laguna deltaica del río Bravo), Veracruz (Laguna de Alvarado, río Papaloapan), Yucatán (Los Petenes), Quintana Roo (Bahías de Sian Ka´an y Chetumal).

[8] Ramos, Julia. Avances de México ante el cambio climático. INE. México, 2001- 2002.

Estas son las previsiones realizadas para el país y consideran que los cambios se presentarán en el primer siglo del segundo milenio.

Sin embargo, en la última década la presencia de fenómenos atípicos se ha hecho más frecuente: sequías prolongadas, lluvias fuera de temporal y por su impacto social y económico la serie de huracanes en el sur del país: Mitch en 1998, Isidoro en 2002, Stan, Emily y Wilma en 2005 y Dean en 2007.

Cuyas repercusiones han sido evaluadas en el momento posterior al fenómeno y que para su atención los gobiernos han instrumentado acciones específicas, que, sin embargo, en el transcurso del tiempo no han conseguido el restablecimiento efectivo de las actividades ni del patrimonio de los habitantes de las zonas rurales afectadas.

Así también, se han presentado incendios forestales que ocasionaron la pérdida de importantes zonas de manto forestal que aunadas a la tala inmoderada por el proceso de ganaderización representaron una pérdida de 380 mil hectáreas de bosque al año, en los últimos quince años.

Sector agropecuario y forestal y políticas públicas

En México el desarrollo de las actividades económicas del sector están fuertemente vinculadas a la gestión gubernamental, por ello resulta importante revisar las vertientes de las políticas públicas, por una parte las dedicadas a la promoción de las actividades y por otra las políticas reactivas a los sucesos meteorológicos más violentos, particularmente huracanes, que se pueden atribuir en gran parte a este cambio climático, por último se cosideran las políticas destinadas a los esquemas de mitigación y adaptación que se están instrumentando en el país y sus posibles efectos.

Las actividades primarias practicadas en la mayor parte de las zonas costeras se dividen en dos grandes rubros: una buena parte está orientada a la subsistencia, se trata de pequeñas unidades familiares que practican el auto consumo, el nivel de tecnología aplicado es bajo y se rige por prácticas tradicionales en la agricultura con escaso uso de agroquímicos, básicamente por falta de recursos monetarios, los niveles de pobreza son altos a excepción de algunas comunidades casi totalmente dedicadas a la pesca; y, por otra parte, plantaciones comerciales que se caracterizan por ser monocultivos inducidos a gran escala, cuya producción se destina a la exportación con una producción intensiva y presentan altos índices de pobreza entre sus trabajadores.

Las políticas públicas que promueven el desarrollo del sector se han caracterizado por su generalidad impulsando programas nacionales de subsidios, sin matices regionales que puedan coadyuvar a un mejor manejo por zonas; y han incentivado la producción con el uso de semillas mejoradas no siempre aptas parael lugar, lo cual tiene como consecuencia la pérdida del material vegetativo adaptado a las condiciones de cada área. También, a través del subsidio, han incrementado el uso de agroquímicos que ocasionan mayores niveles de contaminación y dependencia. Y no se promueven, de manera razonable las prácticas de riego que coadyuven a la optimización del agua.

Por otra parte, los incentivos a la ganadería se basan en un modelo que no es compatible con la conservación en estas zonas de equilibrio tan precario. Se trata de ganadería extensiva con pastizales inducidos, no siempre los mejores para las condiciones de suelo, luego de una tala total de los terrenos, con uso de alambre para delimitar y donde el índice de agostadero es como máximo de 0.9, es decir que cada semoviente requiere al menos 1.1 hectáreas para su alimentación.

Este esquema ha orientado a las pequeñas unidades de producción campesina (diversificada) hacia la pérdida de la sustentabilidad, incrementando los niveles de deforestación, así como la dependencia hacia el subsidio al no alcanzar el nivel de capitalización necesario para la rentabilidad.

La actividad forestal por su parte, se concentra en la producción maderable, prácticamente extractiva, sin optimizar aún la parte correspondiente a productos no maderables.

En las comunidades dedicadas a la producción de carbón, los permisos son escasos y regularmente el intermediario que acopia el producto y lo revende es quien capitaliza las ganancias.

La política pública orientada en este aspecto está desarrollando instrumentos que permitan el aprovechamiento sustentable a los poseedores del recurso, la figura básica para esto se denomina Unidad de Manejo Ambiental Forestal (UMAFOR) e incluye los estudios pertinentes para el uso óptimo de los recursos, no obstante este es un instrumento relativamente nuevo y los anteriores planes de manejo han sido agotados por lo cual, en algunos lugares la tala ilegal es una realidad, entre otros factores, porque la administración pública no cuenta con los mecanismos suficientes de supervisión y las carencias de las comunidades ocasionan que se permita esta práctica para contar con algún ingreso monetario extra.

Un punto que llama la atención es que las autoridades del sector no consideren el pago de servicios ambientales como captura de carbono o recuperación de mantos freáticos en todos los polígonos de áreas forestales, si bien es cierto que no toda la cubierta vegetal tiene la misma capacidad, sería importante privilegiar áreas existentes que están proporcionando dichos servicios actualmente y sin embargo, en muchos casos se consideran las zonas a reforestar para efectuar dichos pagos (áreas potenciales), dejando sin esa posibilidad a regiones que pueden considerarse prestadoras reales de dichos servicios.

En la otra vertiente, las políticas que orientan los programas de apoyo en caso de contingencias se caracterizan por intentar resolver los problemas inmediatos, en el caso de los huracanes se hace especial énfasis en la atención previa con la reubicación de las personas que se encuentran en mayor situación de peligro y en la atención inmediata posterior con apoyos específicos de despensas y algunas prendas de ropa, sobre todo cobijas, para los primeros días.

Adicionalmente, luego de un levantamiento de daños se apoya a los productores con una cantidad de recursos monetarios que no alcanza a cubrir más allá de un mes de gastos, aunque las pérdidas, en el caso de infraestructura, siembras o ganado, resultan ser mucho mayores.

En los pocos casos que se cuenta con seguros, el proceso es largo y se deben realizar muchos trámites, como resultado los afectados logran cobrar, en ocasiones, hasta un año después del meteoro.

La experiencia en el caso de la agricultura es que el tiempo posterior al huracán es un periodo perdido, ya que los suelos han quedado afectados y prácticamente ningún producto que intenten sembrar tendrá una cosecha significativa. En este rubro no se cuenta con investigaciones que permitan a los productores tener los elementos que apunten a neutralizar estos efectos y recuperar por lo menos los niveles de producción previos al temporal.

Actualmente y pese a la recurrencia de estos fenómenos y las afectaciones de mayor magnitud no se tienen políticas específicas que deriven en programas e instrumentos eficientes que permitan establecer acciones de previsión, manejo y pronta recuperación de las personas y actividades que estén siendo afectadas.

Por otra parte, el impacto en las áreas forestales es incalculable; las pérdidas no solamente se restringen a las especies vegetales, también la fauna es afectada y al perder sus fuentes de alimentación se reubican o inciden en las tierras de labor o en los centros poblacionales, asimismo los apiarios se destruyen o las abejas abandonan por escasez de floración para nutrirse.

Otra consecuencia importante de estos impactos es que generan las condiciones para la aparición de incendios de gran importancia.

En este aspecto, las acciones permitidas por las políticas públicas solamente alcanzan a paliar una parte de las necesidades con la permisión del aprovechamiento de maderas caídas en los ejidos que cuentan con planes de manejo forestal y la emisión de permisos temporales para quienes no cuentan con este tipo de plan.

Asimismo, como parte de la prevención de incendios, posterior a los huracanes, se efectúa un estudio para determinar el riesgo por los volúmenes de material combustible, lo cual permite establecer cuadrantes específicos de contingencia, las zonas de mayor riqueza forestal, las áreas de población y en razón de ello se realizan brechas "cortafuego" con maquinaria pesada y se contrata en forma temporal a algunos productores para apoyar estas acciones, lo cual resulta en ingresos adicionales para quienes participan.

Esta dinámica impacta de manera negativa en las comunidades rurales de las zonas, ya que cada vez se registran fenómenos meteorológicos más intensos cuyos efectos impiden la recuperación de la actividad económica, y ocasiona un círculo vicioso de pobreza, ya que ante los fenómenos los productores pierden su escaso patrimonio con muy pocas probabilidades de recuperarlo en el corto plazo y las políticas de restricción aplicadas, por ejemplo el impedimento de quemas agrícolas para sembrar nuevamente, o la pérdida del estatus de manejo forestal en los ejidos, originan que los productores se queden sin mayor opción de sobrevivencia y en muchos de los casos vendan sus tierras a grandes corporaciones, que le darán usos intensivos, y permanezcan en el campo como jornaleros o emigren a las ciudades a engrosar las filas de subempleados o desempleados.

Por otra parte, la atención a plantaciones comerciales no difiere en mucho de lo ya manifestado, en algunos casos donde se trata de ejidatarios no siempre se aplica el aseguramiento y en las plantaciones privadas la suma obtenida por los daños no alcanza a igualar los ingresos que se habrían obtenido en cosechas normales.

No obstante, los problemas que ya se presentan en el país en las actividades agropecuarias y forestales, de acuerdo a los estudios los impactos serán mayores, para esto en México se prevén políticas que hagan frente al proceso entre las cuales se tienen las llamadas políticas de mitigación que serían reactivas al hecho y de manera proactiva o preventiva sería deseable tener políticas de prevención.

Previsiones internacionales

De acuerdo al Informe Stern[9] la reducción de la despoblación forestal es un medio altamente rentable de reducir las emisiones de gases invernadero.

En dicho documento se manifiesta que de acuerdo a los cálculos efectuados las emisiones resultantes de la despoblación forestal son muy significativas, habiéndose calculado que representan más del 18% de las emisiones globales, porcentaje superior al producido por el sector mundial del transporte.

Para ello se recomienda como necesaria la introducción urgente de medidas que permitan conservar las zonas restantes de bosques naturales. Ello requerirá planes piloto en gran escala para explorar planteamientos eficaces que combinen medidas nacionales y apoyo internacional.

A nivel nacional, la definición de derechos de propiedad de las tierras forestales y la determinación de los derechos y responsabilidades de los terratenientes, comunidades y taladores forestales es un factor clave de toda gestión eficaz de los bosques. Esto debería llevar consigo la participación de las comunidades locales, el respeto de derechos informales y estructuras sociales, trabajar con objetivos de desarrollo y reforzar el proceso de protección forestal.

Los esfuerzos de adaptación de los países en desarrollo deberán acelerarse y recibir apoyo, entre otros, mediante la asistencia internacional.

Adicionalmente en el informe se manifiesta que el cambio climático afectará más tempranamente y con mayor intensidad a los países en desarrollo más pobres, a pesar de que son los que menos han contribuido a causar el problema.

Sus bajos ingresos dificultan el financiamiento a la adaptación, por lo que la comunidad internacional tiene la obligación de prestar apoyo para este proceso. Sin dicho apoyo, existe un grave peligro de que su desarrollo se vea socavado.

Los países en desarrollo deberán determinar por sí mismos su política de adaptación, dentro del contexto de sus propias circunstancias y aspiraciones. Un crecimiento y desarrollo rápidos mejorará la capacidad de adaptación de estos

[9] Stern, W. La Economía del Cambio Climático. UK Government 2006.

Política nacional

A nivel nacional se han considerado en el marco global de la planeación, algunos objetivos denominados de *Sustentabilidad Ambiental* [10] que consideran 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.

Por tanto, diseñar y desarrollar capacidades nacionales de adaptación es un elemento indispensable y urgente en la planeación del desarrollo. Para ello se promoverá la consideración de los riesgos asociados con el cambio climático en las iniciativas de desarrollo socioeconómico.

Esto requerirá la integración y coordinación de disciplinas, instituciones y grupos de expertos los cuales deberán considerar aspectos tales como los efectos del cambio climático sobre la seguridad alimentaria, las condiciones de pobreza y desigualdad social, así como otros factores que pueden condicionar la capacidad adaptativa.

La evaluación de los impactos, la vulnerabilidad y las posibilidades de adaptación al cambio climático de los distintos sectores deberán integrarse y adecuarse considerando las características de los distintos ámbitos geográficos regionales o subregionales de México, con el objeto de orientar las estrategias de uso, planificación y gestión del territorio.

En este sentido se buscará preservar y fortalecer las funciones de amortiguamiento que existen en las cuencas hidrológicas y ecosistemas costeros, restaurar cuerpos de agua que permitan mantener las capacidades de almacenamiento de agua, fortalecer al Servicio Meteorológico Nacional, los sistemas de vigilancia epidemiológica y al Sistema Nacional de Protección Civil, desarrollar estrategias de conservación de suelos, entre otras acciones.

Se considera prioritario: impulsar medidas de adaptación a los efectos del cambio climático; para enfrentar estos efectos, será necesario desarrollar capacidades preventivas y de respuesta ante los impactos adversos previsibles. Éstas incluyen la generación de información y conocimiento sobre la vulnerabilidad de distintas regiones y sectores del país, así como de los impactos potenciales, el desarrollo de estrategias específicas y el trabajo coordinado de las distintas instancias del gobierno y la sociedad.

Para lo cual se proponen como estrategias:

a) Promover la inclusión de los aspectos de adaptación al cambio climático en la planeación y quehacer de los distintos sectores de la sociedad.
b) Desarrollar escenarios climáticos regionales de México. Para disponer de información precisa sobre los impactos del cambio climático en el territorio, se requiere sistematizar la información climática, geofísica y oceánica y desarrollar nuevos estudios de clima a escalas nacional y regional. También hace falta mayor y mejor información científica sobre el comportamiento de los ecosistemas ante el cambio climático. Resulta indispensable el uso de información climática en la planeación y en la toma de decisiones sobre acciones preventivas o de emergencia ante un evento extremo ya que esta información,

[10] Poder Ejecutivo. Plan Nacional de Desarrollo 2006 – 2012.

no es sólo útil para prevenir efectos desfavorables, sino también para el aprovechamiento de ciertos eventos favorables.

c) Evaluar los impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en diferentes sectores socioeconómicos y sistemas ecológicos. Ya que la vulnerabilidad ante la variabilidad climática y a los efectos del cambio climático tiene que ver con factores como el crecimiento poblacional, la pobreza, las condiciones de salud pública, las características de los asentamientos humanos, la existencia y condiciones de la infraestructura disponible y el deterioro ambiental.

Así, también se manifiesta que se ha mantenido una política de desarrollo nacional consistente con una decidida acción para mitigar la emisión de Gases con Efecto Invernadero (GEI). Esto corresponde con un ambicioso programa de reforma estructural, entre lo que resalta una importante serie de cambios en materia de regulación e instituciones que favorecen un desarrollo ambientalmente amigable ante la apertura comercial.

Principales acciones de mitigación

Para el sector agropecuario y forestal de México se han desarrollado y adaptado algunos programas públicos que impulsan formas de mitigación ante el fenómeno, sin embargo se debe mencionar que aún enmarcadas en el Plan de Desarrollo Nacional, no alcanzan a contar con las particularidades regionales tan necesarias para atender de manera eficiente el fenómeno.

Las principales acciones de mitigación en el sector agrícola están contenidas en los programas que anteriormente se integraban en la llamada Alianza para el Campo, actualmente denominados programas en co-ejercicio, que son impulsados por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (Sagarpa), sin el concurso de los gobiernos estatales y mucho menos los municipales, aún cuando en ambos casos los gobiernos locales aportan un porcentaje monetario para hacer un fondo común y ejercer, a través de solicitudes de los productores, dichos recursos.

Es decir, en diferentes dependencias de la Federación se diseñan los programas en forma unilateral, centralizada y con criterios generales, sin considerar las diferencias entre las distintas regiones del país, ni tipologías del productor, y que resultan en la oferta de bienes y servicios aislados que en pocos casos es posible que el productor los incorpore en un proyecto integral.

Adicionalmente, ese mercado de activos y servicios supuestamente a disponibilidad del productor, está distribuido en 58 programas, con responsables, reglas y tiempos diferentes, por lo cual articular proyectos integrales donde se garantice la rentabilidad en principio y la sustentabilidad es una posibilidad negada, por tanto queda limitado, de antemano, un desarrollo regional que considere la vulnerabilidad, en este caso de las zonas costeras.

Resulta de particular relevancia este hecho ya que la política pública de desarrollo agropecuario está estrechamente vinculada al objetivo de seguridad alimentaria que en México se promueve como prioridad desde los años 90, y que sin embargo aún con la promoción de esquemas productivos que la administración pública considera como más eficientes, la balanza

alimentaria del país sigue registrando saldo negativo, lo cual significa que la importación de alimentos es mayor a la exportación de los mismos.

Es importante mencionar que los productos importados sean básicamente grandes cantidades de maíz, trigo y arroz y que en el primer año de apertura comercial con el Tratado de Libre Comercio, tan sólo la importación de maíz haya crecido en 67%, lo cual indica que la productividad promedio del país no alcanza los estándares deseables, por su parte México registra superávits en los productos que no son básicos y provienen de grandes plantaciones comerciales tal como el café.

Esto significa que las políticas de apoyo más eficiente se han dirigido a productos de exportación, que están en manos de particulares y corporaciones y no se vinculan en forma alguna al objetivo declarado de la seguridad alimentaria.

Por otra parte, para la actividad forestal, se tiene un esquema similar a través de la Comisión Nacional Forestal, es en este sector donde se observa una gama más amplia de opciones que se distribuyen en programas orientados a atender los efectos del cambio climático, entre los que destacan:

- Programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos.
- Programa para Desarrollar el Mercado de Servicios Ambientales por Captura de Carbono, los derivados de la Biodiversidad y para fomentar el establecimiento y mejoramiento de los Sistemas Agroforestales (PSA-CABSA).
- Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas (ANP).
- Sistema de Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA).

Asimismo, también esta instancia maneja un mayor número de actividades de investigación en el sector, entre las que se pueden mencionar:

- La modelación de la deforestación en México e implicaciones para proyectos de captura de carbono.
- Uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura.
- Índice de carbono para México.
- Proyecto Manejo Sustentable de Laderas (PMSL).
- Evaluación del potencial de captura de carbono en comunidades indígenas y campesinas del estado de Oaxaca.
- Captura de carbono en los suelos de México y Centroamérica (Bioma A).
- Obtención de factores de emisión nacionales en el sector agropecuario.
- Diseño de una estrategia de restauración ambiental y prevención de incendios.

Sin embargo, el problema resulta similar al mencionado anteriormente, ya que dichos programas emanan de una política pública cuya intención básica es muy importante pero que en la práctica carece de enfoque, direccionalidad y firmeza en la ejecución, así nuevamente los poseedores del recurso se encuentran con una amplia oferta de programas con bienes y servicios cuya diversidad hace muy difícil concatenar las acciones en un proyecto integral a mediano plazo que asegure la resolución de sus problemas y coadyuve a su desarrollo.

Conclusiones

Ante la realidad del cambio climático que se está viviendo es indispensable impulsar en la práctica los objetivos de la política de sustentabilidad; solamente en la medida en que los tomadores de decisiones integren las conclusiones emanadas de los estudios multidisciplinarios y se instrumenten en políticas públicas, con programas integrales que tengan un enfoque claro y se reduzcan los trámites para acceder a los apoyos, se podrán articular las acciones que permitan atender de manera eficiente, las particularidades del desarrollo regional.

Asimismo, habrá que orientar esfuerzos para hacer de la coordinación interinstitucional una realidad y lograr los objetivos de la seguridad alimentaria, ya que con los cambios previstos en el clima, este es uno de los temas prioritarios para países como México, que aún no consolida su desarrollo, ni tampoco ha logrado soberanía en el rubro de la producción de alimentos.

Habrá que impulsar decididamente acciones de investigación regional para contar con información veraz y tener la posibilidad de instrumentar medidas a nivel nacional que incorporen las cualidades de cada zona.

La investigación deberá considerar los ámbitos físicos - ambientales, sociales - humanos y económico – productivos con el fin de tomar medidas pertinentes desde una perspectiva integral.

En el mismo sentido, es primordial también promover mayor investigación en las áreas de economía ambiental por zona, ya que para la población en general y para quienes toman decisiones en especial, es conveniente tener claridad sobre los costos y beneficios que tendrá el llevar a cabo o no diferentes acciones para la producción y la protección del ambiente.

Sería importante de igual manera, que las políticas públicas consideren a los gobiernos y las organizaciones locales, así como las características y necesidades específicas de cada región para que los resultados tengan mayor impacto y se logre un esquema de desarrollo sustentable.

Es imprescindible privilegiar la participación de las comunidades en la toma de conciencia y las acciones a realizar para enfrentar de manera eficaz los efectos del cambio climático.

Asimismo, es conveniente recuperar las experiencias locales en el uso y manejo de los recursos naturales ya que en numerosas ocasiones las prácticas ancestrales son más respetuosas con el ambiente, cuentan con mayor aceptación en las localidades rurales y no generan dependencia de insumos externos.

También es recomendable promover la recuperación de materiales vegetativos criollos ya que tienen mayor capacidad de adaptación a condiciones regionales específicas que las llamadas semillas mejoradas.

Por último, el tema básico que se debe considerar es la educación, ya que en la medida que todos los habitantes del país cuenten con la información necesaria y con datos claros respecto a las consecuencias de este fenómeno será posible obtener el compromiso y la cooperación para mitigar y prevenir los daños asociados al mismo.

Azuz Adeath, I., L. Silva, E. Rivera-Arriaga, A. Ortega y J.C. Chávez, 2010. El turismo y el cambio climático. p. 347-360. 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.

El turismo y el cambio climático

Isaac Azuz Adeath, Lidia Silva, Evelia Rivera-Arriaga, Alfredo Ortega y Juan Carlos Chávez

Resumen

A nivel global la actividad turística es una importante fuente generadora de riqueza y empleo, con su consecuente aporte a la reducción de la pobreza. Sin embargo, esta industria contribuye con el 5% de las emisiones de gases de efecto invernadero a través de la transportación masiva de personas alrededor del mundo y del consumo de materia y energía en los centros de hospedaje y recreación. En México esta actividad contribuye aproximadamente con el 8% del Producto Interno Bruto (pib) y los destinos de playa, ubicados en la mayoría de los estados costeros, reciben el 66% de la inversión privada de este sector. En el presente capítulo se presentan algunos elementos que deberán ser considerados por las autoridades competentes y los prestadores de estos servicios, con la intensión de disminuir su contribución al cambio climático y también, para que tomen acciones encaminadas a mitigar y adaptarse a los posibles impactos potenciales del mismo.

Antecedentes

La Segunda Conferencia Mundial sobre Cambio Climático y Turismo realizada en Davos, Suiza en octubre del 2007, convocada por la Organización Mundial del Turismo (OMT), el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (PNUMA), la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y apoyada por el Foro Económico Mundial, puso de manifiesto el interés y preocupación de la comunidad internacional en el binomio: turismo y cambio climático.

La Organización Mundial del Turismo, de la cual forma parte México desde 1975, ha reconocido en diversos foros (*e.g.* UNWTO, 2003, 2007a, 2007b, 2007c), que la actividad turística contribuye con el cambio climático, debido entre otros factores al movimiento masivo de personas, el cual fue a nivel mundial del orden de los 900 millones de arribos en el 2007, fundamentalmente por medio de dos mecanismos:

a) Emisiones de gases de efecto invernadero, asociadas al uso de medios de transportes terrestres y aéreos por parte de los turistas.
b) Altos consumos de energía, asociados al uso de las facilidades hoteleras como: aires acondicionados, calefacciones, secadoras de pelo, bombas para el mantenimiento de albercas, iluminación, entre otros.

Tal como lo establece Frangialli (2007a), el turismo no tan solo es un generador del cambio climático, sino que también reciente de manera directa sus efectos, a través del impacto en las economías, sobre todo en los países altamente dependientes del mismo, del aumento acelerado del nivel del mar, de la desertificación, de la pérdida de cobertura vegetal, del derretimiento de las nieves y glaciares, de la pérdida de diversidad biológica y del blanqueamiento de los corales.

La Declaración de Davos (2007), establece una serie de compromisos por parte de los países firmantes, entre otras cosas, establece un marco de referencia para la acción al 2012 en la industria turística, con base en el Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC) y el Protocolo de Kioto, que permita implementar acciones concretas en el sector, para mitigar y adaptarse al cambio climático, empleando mecanismos técnicos, financieros y de capacitación en los países menos desarrollados, que apoyen a los operadores y a la actividad turística sustentable, con políticas, estrategias y planes de acción tendientes a reducir y mitigar los efectos del cambio climático.

La propia Organización Mundial del Turismo acepta que la actividad turística (*e.g.* transportación y estancias) contribuye con 5% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero. Sin embargo, también hace notar que el turismo genera riqueza, crea empleo y contribuye a reducir la pobreza (Frangialli, 2007b).

La OMT ha dado pasos decididos para disminuir su contribución al cambio climático; ha especificado una serie de estrategias (*e.g.* instrumentos voluntarios, económicos y normativos) encaminadas a reducir el uso de energía, hacer un uso más eficiente de la misma, usar más energías renovables y establecer sumideros para el secuestro de carbono (UNWTO, 2007).

En el año 2005, México ocupó el séptimo lugar mundial por el numero de llegadas de turistas internacionales, las cuales ascendieron a 21.9 millones. Los ingresos derivados de las

personas que visitaron el país pasaron de 3 200 millones de dólares en 1980 a 11 800 millones en el 2005, dando trabajo la actividad aproximadamente a 5.4% del personal ocupado del país (DATATUR-Sectur, 2009).

Entre septiembre del 2007 y septiembre del 2008, la inversión privada en el sector turismo de México, creció aproximadamente 30% (Sectur, 2008). Dicha inversión se centró fundamentalmente en los estados mexicanos con litoral (aproximadamente 95%), de manera particular, Quintana Roo y Nayarit concentraron cerca del 50% de dicha inversión. El comportamiento de esta variable en los estados costeros se muestra en la figura 1.

De acuerdo con información de la Secretaría de Turismo de México (Sectur, 2008), en septiembre del 2008, se habían invertido en el país 830 millones de dólares en hoteles, siendo 69% de dicha inversión en destinos de playa.

Por otra parte, la información económica del sector turismo, recabada en el Censo Económico del 2004 (INEGI, 2009), se presenta en la figura 2. Dicha figura muestra un comparativo de tres variables: Unidades Económicas (UE), Personal Ocupado (PO) y Remuneraciones (REM), respecto al valor medio nacional, exclusivamente para el sector turismo en los estados costeros.

La figura 2 muestra algunos aspectos interesantes, por ejemplo: los estados costeros que mayor número de unidades económicas tienen dedicadas al sector turismo son Veracruz, Tamaulipas, Jalisco y Michoacán. Quintana Roo, a pesar de no tener un número muy elevado de unidades económicas, tiene el mayor número relativo de personal ocupado del sector. Chiapas y Michoacán, a pesar de tener un número relativo de unidades económicas y personal ocupado por arriba de la mediana nacional, las remuneraciones derivadas de la actividad turística están

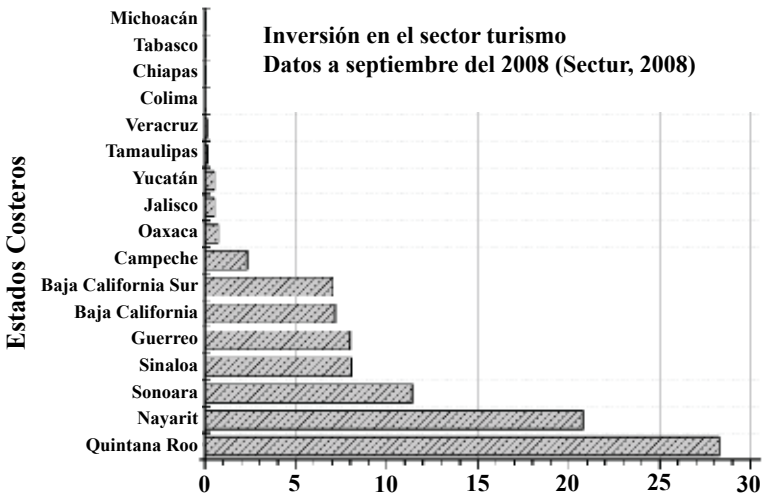

Figura 1. Inversión turística privada en los estados costeros mexicanos al mes de septiembre del 2008. Gráfica de los autores a partir de datos de Sectur (2008).

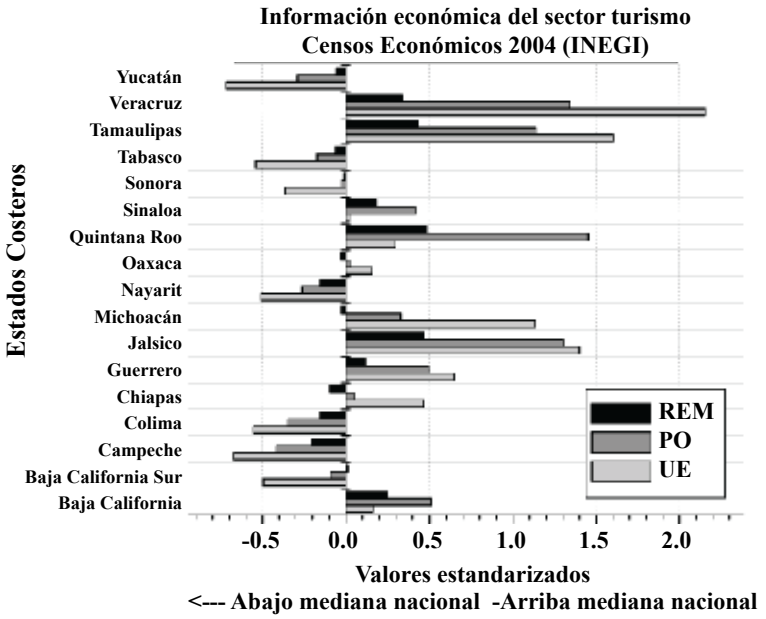

Figura 2. Información económica del sector turismo para los estados costeros de México. Grafica de los autores a partir de información del Censo Económico 2004 (INEGI, 2009).

por debajo de la mediana nacional. En contraste, Baja California Sur, a pesar de tener un número de UE y PO inferior a la mediana nacional, las remuneraciones derivadas están por encima de la misma.

Es importante señalar que no toda la actividad turística de los estados costeros se centra en la zona costera, como ejemplo se podrían mencionar el caso de Michoacán, donde a pesar de tener un número importante de UE dedicadas al turismo, tiene una zona costera poco desarrollada.

Datos demográficos recientes, confirman que los desarrollos turísticos establecidos en la zona costera pueden funcionar como polos de atracción de población.

La tabla 1, presenta los municipios con frente litoral que mayores crecimientos poblacionales experimentaron en el periodo 2000-2005, para cada estado costero, y el cambio que experimentaron en el Índice de Marginación (Conapo, 2000 y 2005). Cambios positivos en el Índice de Marginación significan que empeoraron las condiciones durante el periodo de análisis, mientras que negativos significan mejoras en el nivel de marginación. En el estado de Michoacán, ningún municipio costero registró un aumento poblacional, debido a los procesos de migración.

Se debe observar que en aquellos municipios que experimentaron el mayor crecimiento porcentual (*e.g.* Los Cabos Baja, California Sur; Benito Juárez en Quintana Roo y Bahía de Banderas en Nayarit) se ubican importantes zonas de desarrollo turístico (renglones sombreados).

Tabla 1. Crecimiento poblacional en los municipios costeros con frente litoral y cambio en el "Índice de Marginación" durante el periodo 2000-2005. Se presenta la información del municipio que mayor crecimiento absoluto presentó.

Estado	Municipio	Crecimiento absoluto	Porcentaje de crecimiento	Cambio nivel de marginación	Grado de marginación 2005
Baja California	Tijuana	199 880	16.51	0.0341	Muy Bajo
Quintana Roo	Benito Juárez	153 158	36.48	0.1596	Muy Bajo
Sonora	Hermosillo	92 009	15.09	0.0394	Muy Bajo
Baja California Sur	Los Cabos	58 693	55.65	0.0703	Muy Bajo
Veracruz	Veracruz	54 933	12.01	0.0382	Muy Bajo
Sinaloa	Culiacan	48 193	6.46	-0.0165	Muy Bajo
Tamaulipas	Matamoros	44 016	10.53	0.0524	Muy Bajo
Jalisco	Puerto Vallarta	35 640	19.29	0.0391	Muy Bajo
Campeche	Carmen	27 912	16.22	-0.0158	Bajo
Nayarit	Bahía de Banderas	23 931	40.01	-0.0362	Muy Bajo
Colima	Manzanillo	12 699	10.15	0.0092	Muy Bajo
Chiapas	Tapachula	10 746	3.96	0.1146	Medio
Tabasco	Comalcalco	9 136	5.55	-0.2613	Medio
Guerrero	José Azueta	9 061	9.48	0.0675	Bajo
Oaxaca	Juchitán de Zaragoza	7 357	9.37	0.0387	Medio
Yucatán	Tizimín	5 449	8.50	-0.0584	Alto
Michoacán	Ninguno	n.a	n.a.	n.a.	n.a.

Asimismo, es importante resaltar que en la mayoría de los municipios costeros analizados, el grado de marginación es muy bajo (10 de 16); sin embargo, en 11 de los 16, las condiciones empeoraron ligeramente entre el año 2000 y el 2005 (valores positivos).

El turismo en México y el cambio climático

Resulta preocupante que en la Secretaría de Turismo (Sectur) de México, no exista ninguna estrategia clara para afrontar el cambio climático.

En el "Estudio de Gran Visión del Turismo en México: Perspectiva 2020" (Sectur, 2000), se menciona el término "cambio climático" una sola vez, en el contexto de los problemas ambientales globales, sin darle mayor énfasis ni proponer estrategias acordes para el país.

También resulta sintomático de la desvinculación entre dependencias del gobierno federal, el que no haya participado la Sectur en la elaboración de la "Estrategia Nacional de Cambio Climático. México 2007" (CICC, 2007), ni se encuentre incluida dentro de la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático de México.

Es hasta el Plan Sectorial 2007-2012 que la Secretaría de Turismo propone como Línea Acción 2.1.6 la *promoción de acciones de adaptación y mitigación de los efectos del cambio climático en los destinos turísticos principalmente en las costas* (PS-Sectur, 2007).

En este punto resulta importante definir, en primer lugar ¿cuáles serán los efectos del cambio climático que tendrán impacto en la actividad turística de México?

El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático, establece en su último informe (IPCC, 2007), entre otros puntos fundamentales que:

- El calentamiento del sistema climático es inequívoco, como evidencian ya los aumentos observados del promedio mundial de la temperatura del aire y del océano, el deshielo generalizado de nieves y hielos, y el aumento promedio mundial del nivel del mar.
- El calentamiento antropogénico de los tres últimos decenios ha ejercido probablemente una influencia discernible a escala mundial sobre los cambios observados en numerosos sistemas físicos y biológicos.
- La alteración de la frecuencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos, sumada al aumento del nivel del mar, tendrán previsiblemente efectos extremadamente adversos sobre los sistemas naturales y humanos.
- La incorporación de carbono de origen humano en los océanos los ha acidificado, los efectos de esta acidificación sobre la biósfera marina todavía no están monitoreados de manera generalizada, pero se espera que tenga un efecto negativo sobre los organismos marinos que producen caparazón y sobre las especies que dependen de ellos.
- El calentamiento de origen humano y el aumento del nivel del mar proseguirán durante siglos debido a la magnitud de las escalas de tiempo asociadas a los procesos y retroefectos climáticos, incluso aunque se estabilizaran las concentraciones de (GEI).
- El calentamiento antropogénico podría producir impactos abruptos o irreversibles, en función de la rapidez y magnitud del cambio climático.

En este sentido, la actividad turística se verá afectada, en primer lugar por los cambios en la temperatura global del aire. Dichos cambios pueden ocasionar alteraciones en las condiciones naturales de cultivo de productos característicos de los estados costeros (*e.g.* café, cocos, frutas tropicales, etc.) que pudieran ser de interés para los turistas, tanto desde una perspectiva puramente paisajística (*e.g.* campos de cultivo de café o cocotales), como desde el punto de vista económico (*e.g.* aumento en el costo de productos, disminución de variedades, etc.) o cultural. Por otra parte, se deberá considerar un mayor gasto de energía en las instalaciones y vehículos, asociado al uso de aires acondicionados, por periodos de tiempo más largos.

El aumento en la temperatura global o regional del océano tendría un alto impacto sobre la distribución y diversidad de especies de flora y fauna marina con la consecuente afectación, por ejemplo, de zonas turísticas dedicadas al buceo, la observación de paisajes subacuáticos, así como a la pesca deportiva.

De mayor importancia para la actividad en periodos de tiempo cortos, resulta el impacto ocasionado por las modificaciones en los patrones de los fenómenos meteorológicos extremos (*e.g.* intensidad y frecuencia) y el aumento acelerado del nivel del mar en periodos más largos.

El posible aumento en la energía del oleaje, asociado a la presencia de sistemas tropicales de mayor intensidad, producirá un transporte sedimentario más dinámico, con el consecuente incremento en la erosión costera, la cual pondría en riesgo gran parte de la infraestructura costera que se ubica en las zonas de playa, e incluso la permanencia de este rasgo de la morfología costera (*e.g.* playas).

Si además de aumentar la intensidad de los sistemas tropicales, su frecuencia de ocurrencia se incrementa, los perfiles de playa tendrían menos tiempo para establecer las condiciones de equilibrio naturales y esto traería como resultado una mayor vulnerabilidad de la infraestructura costera.

Por otra parte, la incidencia en territorio nacional de un mayor número de sistemas tropicales y con mayor frecuencia, repercutirá en los niveles de lluvia y escorrentía, pudiendo producir inundaciones en las zonas bajas, con los conocidos impactos sobre la infraestructura existente y la población.

Adicionalmente, la mayor escorrentía asociada a los procesos pluviales extremos, tendría asociados dos impactos colaterales que repercutirían en las condiciones costeras. Por una parte el aporte de contaminantes y basura de la cuenca alta hacia las zonas bajas se incrementaría (impactando la salud del ecosistema, de la población civil y la calidad paisajística), y por la otra, la pérdida de suelo fértil de la cuenca alta tendría impactos en las economías locales que se sustentara en la agricultura y la ganadería.

En términos de salud pública, el cambio climático tiene vertientes asociadas al desarrollo turístico. La Organización Mundial de la Salud ha reconocido que este fenómeno puede modificar los límites geográficos y estacionalidad de enfermedades infecciosas transmitidas por vectores (*e.g.* malaria y denge) y por alimentos (*e.g.* salmonelosis), cuya frecuencia es máxima en los meses más cálidos (OMS, 2008). Es conocido que estos padecimientos son temidos por los turistas que visitan las zonas costeras, y al incrementarse su frecuencia de ocurrencia, pudiera tener un impacto económico negativo por la disminución de visitantes, además de los costos económicos asociados.

En el caso particular de México, desde los años 90, se reconocía que el incremento del turismo nacional e internacional y el auge de los centros de playa, habían transformado el ambiente de las zonas tropicales del país, favoreciendo y creando focos de reproducción del vector del dengue (Narro-Robles y Gómez-Dantés, 1995).

Datos recientes muestran la gravedad del problema. La figura 3 muestra el porcentaje de casos (respecto al total nacional) de paludismo (*falciparum y vivax*) y dengue (normal y hemorrágico), que se han presentado en los estados costeros.

Considerando ambos vectores (paludismo y dengue), los estados costeros que mayor número de casos han registrado durante el periodo de análisis son: Chiapas (23.5%), Veracruz (21.6%) y Sinaloa (10%). En el caso del paludismo, Chiapas, Oaxaca y Sinaloa son los estados más afectados y concentran un poco más del 80% de los casos reportados. En el caso de Chiapas y Sinaloa la información histórica muestra una tendencia decreciente. Respecto al dengue, Veracruz, Guerrero, Sinaloa y Colima concentran aproximadamente 60% de los casos que se

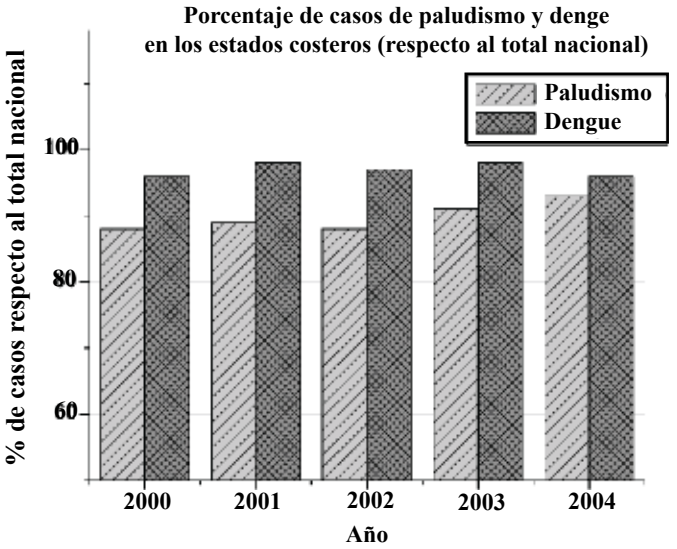

Figura 3. Porcentaje respecto al total nacional, de casos de paludismo y dengue que se han presentado en los estados costeros de México durante el periodo 2000-2004. Grafica de los autores a partir de información de la Secretaría de Salud (2009).

han presentado en los estados costeros. Lo limitado de la información no permite establecer tendencias claras, pero se observan pulsos, posiblemente estacionales en la ocurrencia del padecimiento.

La carencia de una estrategia integral de desarrollo del sector turismo y la poca importancia que le ha dado al fenómeno del cambio climático en sus procesos de planeación y promoción, generan en la actualidad contradicciones, conflictos, pérdidas económicas, riesgos sociales e incluso desastres que deben ser atendidos con prontitud.

Por ejemplo, la figura 1 y la tabla 1 muestran respectivamente que por una parte Quintana Roo y Nayarit son los estados que mayor inversión (y por lo tanto promoción) han recibido, y por la otra, dichos estados al igual que Baja California Sur tienen municipios costeros con las tasas de crecimiento poblacional relativas más altas. Sin embargo, Baja California Sur y Quintana Roo son los estados costeros que históricamente han sido afectados por un mayor número de ciclones.

De los 20 huracanes más intensos que han impactado a México durante el periodo de 1970 al 2006, 10 de ellos lo han hecho en Baja California Sur, Quintana Roo o Nayarit (Hernández-Unzón, 2007). Resulta sorprendente que ni Baja California Sur ni Quintana Roo hayan recibido apoyos económicos del Fondo para la Prevención de Desastres Naturales (FOPREDEN, 2009) durante el periodo 2004-2009.

Durante el 2007 se presenta en el Pacífico un huracán intenso "Henriette" (Categoría 4-5) que impacta Baja California Sur y Sonora. En la vertiente del Atlántico "Dean" (Categoría 5) con rachas de 350 km/h impacta los estados costeros de Quintana Roo, Campeche y Veracruz.

La temporada ciclónica en el Atlántico para el año de referencia fue por arriba de lo normal (Hernández-Unzón, 2008).

Además del riesgo para la población civil, los costos económicos de mantener segura la infraestructura costera ubicada en zonas de alto riesgo ciclónico, son lógicamente elevados y se incrementarán al paso del tiempo.

En un estudio presentado por Rivera-Arriaga *et al.* (2004), se analizó el impacto económico que ocasionó el huracán Isidoro al pasar por el estado de Campeche en el verano del 2002. Los datos presentados por la Secretaría de Desarrollo Social del estado de Campeche reportaron una cantidad de aproximadamente 1 430 millones de pesos en daños ocasionados a 11 sectores consultados. Por otra parte, el estudio de campo realizado por los investigadores mostró, a partir de una serie de entrevistas y encuesta que el sector de servicios sufrió pérdidas estimadas en 2 600 millones de pesos.

Los efectos directos e indirectos de los sistemas tropicales que impactan regularmente las costas mexicanas, pueden crear problemas de larga duración que afecte al sector turismo. Un claro ejemplo de este tipo de problemas serían los procesos de erosión que vienen ocurriendo en la zona de Cancún. El mar y la playa son los recursos naturales más buscados y apreciados por los turistas que visitan este destino del estado de Quintana Roo, sin embargo la erosión costera no tan solo ha reducido el ancho de las playas (pérdida de material sedimentario,) sino que ha puesto en riesgo la infraestructura adyacente. Reportes recientes de prensa (diciembre del 2008) publicados en la páginas oficiales de las Secretarías de Turismo y de Medio Ambiente y Recursos Naturales, hablan de una inversión de 800 a 1 000 millones de pesos para recuperar las playas.

A partir del análisis de los recursos otorgados en el periodo 2004-2008 por el Fondo de Desastres Naturales (Fonden, 2009), el cual es un instrumento financiero dentro del Sistema Nacional de Protección Civil, que apoya a las entidades federativas, en la atención y recuperación ante fenómenos naturales; y considerando exclusivamente los eventos en los cuales se reportaba explícitamente el impacto de algún sistema tropical ("ciclón tropical", "tormenta tropical", "huracán") sobre los estados costeros, se calculó un gasto superior a los 17 000 millones de pesos.

Dichos recursos se canalizaron fundamentalmente a través de secretarías federales y estatales relacionadas con: medio ambiente, comunicaciones y transportes, salud, educación y desarrollo social. Para el ejercicio fiscal 2008, los reportes presentados por el Fonden (2009), considerando todos los estados y eventos (no tan solo costeros ni sistemas tropicales), indican que aproximadamente 84% del monto total se destinó a Sedesol (urbano y vivienda) y a SCT (federal y estatal), lo que conduce a suponer que los mayores daños se presentaron en la infraestructura existente.

Acciones de planeación y medidas de mitigación

La información presentada muestra de manera clara que el desarrollo turístico en México, no se ha dado de manera ordenada, y esto ha traído como consecuencia afectaciones ambientales, sociales y económicas, que repercuten de manera directa o colateral sobre la propia actividad. Por diversos mecanismos, el cambio climático podría acrecentar en el futuro inmediato estos problemas, por lo que es necesario tomar una serie de acciones, entre las cuales se proponen:

- La planeación del desarrollo urbano en zonas costeras debe seguir de manera rigurosa el principio precautorio, en este caso con un carácter adaptativo a las condiciones cambiantes del medio, asociadas a los efectos del cambio climático (*e.g.* modificaciones en las temperaturas del aire, aumento acelerado del nivel del mar e incremento en la frecuencia en intensidad de eventos meteorológicos extremos).
- En zonas de alta vulnerabilidad, donde exista infraestructura turística, se deberán contemplar y aplicar medidas a mediano plazo para su reubicación.
- En zonas críticas donde exista infraestructura turística que no pueda ser reubicada, se deberán tomar medidas para protegerla *(e.g.* creando infraestructura de protección), tomando en cuenta en todo momento la dinámica natural de la zona y los procesos y recursos ambientales presentes.
- Los planes de protección civil, se deberán elaborar tomando en consideración zonificaciones que consideren el nivel de riesgo y vulnerabilidad de la infraestructura y la población.
- Se deberá realizar una campaña preventiva/educativa que busque cambiar el concepto de "desastre natural", por el de fenómeno natural que puede producir impactos negativos sobre actuaciones humanas mal planeadas.
- En la definición de los Programas Estatales de Cambio Climático se deberán involucrar de manera decidida las autoridades turísticas federales, estatales y de los municipios costeros, las distintas cámaras empresariales que agrupan a hoteleros y prestadores de servicios turísticos, organizaciones de la sociedad civil involucradas con el sector y a todos los usuarios potenciales.

Por otra parte, es necesario que los desarrolladores turísticos contemplen en sus planes de actuación, medidas que ayuden a controlar y a disminuir el calentamiento global, y que las autoridades regulen estas actividades de manera rigurosa, con el fin de lograr un desarrollo más sustentable de la actividad.

En este contexto se proponen una serie de sugerencias para que los desarrollos turísticos, tanto futuros como los actuales, sean más sustentables ambientalmente hablando. Para que estas sugerencias sean provechosas, deberían estar legisladas a nivel de Normas Oficiales, que fuesen vinculantes y obligatorias.

Fase de construcción

Durante esta fase, tanto para reducir la "Huella Ecológica", como para reducir la Emisión de Gases Invernadero (GEI), se proponen las siguientes medidas:

1. Construir básicamente con materiales propios de las localidades circundantes.
2. En caso de utilizar materiales de origen vegetal, tales como: madera, troncos, hoja de palma, etc., estos deben contar con algún "Certificado" que asegure que provienen de "Plantaciones Sustentables", las cuales, una vez normadas, pudieran recibir apoyos económicos del gobierno (conservación de servicios ambientales).
3. El diseño del desarrollo turístico debe ser elaborado con una visión de optimización, tanto para la energía térmica como para la iluminación, con el objetivo de que desde la orientación de las edificaciones, se reduzca la necesidad de la utilización de aires acondicionados, lámparas y focos para iluminación.
4. La construcción debe desarrollarse con materiales lo más térmicamente aislante posible.
5. El diseño arquitectónico y paisajístico de las edificaciones deberá tomar en cuenta el medio ambiente circundante y, en el caso de edificaciones cercanas al mar, elementos tanto estructurales como de ornato, que resistan los posibles vientos y oleaje de los sistemas tropicales.
6. Toda obra de protección costera que se realice en instalaciones turísticas (*e.g.* hoteles, marinas, malecones, etc.), deberá tomar en consideración la dinámica litoral (*e.g.* transporte de sedimentos) y el aumento acelerado del nivel del mar en su diseño. Será necesario usar valores extremos en el diseño y no valores promedio.

Fase de operación

Durante esta fase, las siguientes recomendaciones pretenden contribuir a reducir la "Huella Ecológica", y a disminuir la "Emisión de Gases Invernadero":

1. Las piscinas deben de calentarse con calentadores solares.
2. Las materias primas y los alimentos para consumo en los restaurantes debe de provenir de productores locales.
3. Los acondicionadores de aire deben ser de alta eficiencia.
4. Se deberá eliminar de los criterios que establecen el nivel de los hoteles (*e.g.* estrellas, diamantes, etc.), la existencia de secadoras de pelo en los baños.
5. Se deberán fomentar los desplazamientos cortos a pie (estableciendo y adecuando rutas con alto valor paisajístico) o en bicicleta (donde las condiciones físicas del terreno lo permitan) creando recorridos en los que se coordinen varias instalaciones o zonas hoteleras.
6. Todos los prestadores de servicios turísticos que tengan vehículos de autotransporte, deberán fomentar la creación de criterios de regulación de emisiones de gases vehiculares, del tipo "verificación turística" o "certificación de vehículo de bajas emisiones".

Conclusiones

El turismo es una importante fuente de recursos económicos para el país. Esta actividad se da fundamentalmente en las zonas costeras y de playa de México por sus excelentes características (*e.g.* clima, color del mar, ancho de las playas, textura de la arena, paisajes naturales costeros y subacuáticos, biodiversidad marina, etc.) y belleza natural.

Los estados costeros en los que más se ha desarrollado la actividad, presentan una alta tasa de crecimiento poblacional, lo cual implica la necesidad creciente de contar con infraestructura y dotar de servicios a los nuevos pobladores. En general, los niveles de marginación de los municipios costeros que mayor turismo de playa reciben son muy bajos. Para que estas bondades se mantengan en el largo plazo, los Planes de Desarrollo y Atlas de Riesgo (estatales y municipales) deberán contemplar los impactos del cambio climático.

Muchos de estos estados y municipios, año con año son afectados por el impacto de sistemas tropicales, con el consecuente costo económico, social y ambiental. Si la ocurrencia e intensidad de estos fenómenos meteorológicos extremos, se incrementa, como consecuencia del cambio climático, el costo de mantener infraestructura y servicios turísticos en zonas altamente vulnerables, será sumamente alto y posiblemente insostenible, con la consecuente pérdida de bienes materiales y ambientales que impediría sustentar un desarrollo de largo plazo.

Como se ha visto, el cambio climático puede afectar de varias maneras la actividad turística que se desarrollar en las costas de México, su impacto aumentará al paso del tiempo, y hasta el momento, no se vislumbran acciones claras y contundentes de las autoridades del sector, ni de los promotores, desarrolladores y prestadores de servicios, encaminadas a la prevención o mitigación de dichos efectos.

No se debe olvidar nunca que sin costas, no existirá turismo, ni desarrollo económico, ni aumento en la calidad de vida de los pobladores costeros.

Post scriptum

Durante el segundo trimestre del año 2009, el país resintió los efectos adversos de la crisis económica mundial y de la aparición del virus de influenza A(H1N1). Los impactos económicos negativos sobre el sector turístico de los estados costeros han sido muy fuertes. Estos efectos no fueron contemplados en este estudio por que había sido concluido con anterioridad.

Literatura citada

CICC, 2007. Estrategia Nacional de Cambio Climático. Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, Semarnat, México. 157 p.

DATATUR-Sectur, 2009. Indicadores Macroeconómicos del Turismo. Estadísticas del Sector Turismo (DATATUR). Secretaría de Turismo. [http://datatur.sectur.gob.mx/jsp/indicadores_macro_indmac_v1.jsp]. Fecha de consulta: 14 de enero del 2009.

Declaración de Davos, 2007. Davos Declaration. Climate Change and Tourism Responding to Global Challenges. Davos, Switzerland, 3 October, 2007. UNWTO. 4 p. [http://www.unwto.org/climate/index.php]. Fecha de consulta: 14 de enero del 2009.

Frangialli, F., 2007a. Climate Change – Reality Check and Opportunity for Tourism. UNWTO Secretary-General. 3 p. UNWTO Information Exchange Service. [http://www.unwto.org] Fecha de Consulta: 10 enero 2009.

Frangialli, F., 2007b. Declaración de Bali. Conferencia de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Intervención del Secretario de la Organización Mundial del Turismo. [http://www.unwto.org] Fecha de Consulta: 10 enero 2009.

Fonden, 2009. Fonden Reconstrucción. Recursos autorizados para reconstrucción por declaratoria de desastres. Fondo de Desastres Naturales (Fonden). Sistema Nacional de Protección Civil. [http://www.proteccioncivil.gob.mx]. Fecha de Consulta: 14 enero 2009.

FOPREDEN, 2009. Apoyos otorgados 2004-2009. Fondo para la Prevención de Desastres Naturales. Sistema Nacional de Protección Civil. [http://www.proteccioncivil.gob.mx]. Fecha de Consulta: 14 enero 2009

Hernández-Unzón, A., 2007. Ciclones tropicales que impactaron directamente a México durante el período de 1970 a 2006. Comisión Nacional del Agua. Servicio Meteorológico Nacional. Documento en línea [http://cna.smn.gob.mx/] Fecha de Consulta: 16 enero 2009.

Hernández-Unzón, A., 2008. Resumen de la temporada de ciclones tropicales 2007. Comisión Nacional del Agua. Servicio Meteorológico Nacional. Documento en línea [http://cna.smn.gob.mx/] Fecha de Consulta: 16 enero 2009.

INEGI, 2009. Censo Económico 2004. Información en Línea [http://www.inegi.gob.mx]. Fecha de consulta: 18 de noviembre del 2008.

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 [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 p.

Narro-Robles, J., y H. Gómez-Dantes, 1995. El dengue en México: un problema prioritario de salud pública. *Salud Pública de México*, 37: 12-20.

OMS, 2008. Cambio climático y salud humana. Riesgos y respuestas. OMS-OMM.PNUMA. Organización Mundial de la Salud (OMS), 37 p.

PS-Sectur,2007. Programa Sectorial de Turismo 2007-2012. Secretaría de Turismo. México. 72 p.

Rivera-Arriaga, E., G. Palacio, G. Villalobos, R. Silva, y P. Salles, 2004. Evaluación de Daños en las Zonas Costeras de la Península de Yucatán por el Huracán "Isidoro". Desarrollo de Propuestas de Investigación y Mitigación en Manejo Integrado de Recursos Costeros. Sección Campeche. Universidad Autónoma de Campeche. 158 p.

Sectur, 2000. Estudio de Gran Visión del Turismo en México: Perspectiva 2020. Reporte Analítico. Secretaría de Turismo. Centro de Estudio Superiores en Turismo, Ciudad de México, junio del 2000. 174 p.

Sectur, 2008. La inversión privada identificada en el sector turístico. Padrón Nacional de Proyectos de Inversión. Boletines de Inversión Turística Privada. Secretaría de Turismo. Septiembre del 2008. [http://www.sectur.gob.mx/wb2/sectur/sect_8827_boletin_de_inversion]. Fecha de consulta: 15 de enero del 2009.

UNWTO, 2003. 1st International Conference on Climate Change and Tourism. Djerba, Tunisia. April, 2003. United Nation World Tourism Organization.

UNWTO, 2007. Cambio Climático y Turismo. Responder a los retos mundiales. Versión en Español. [http://www.unwto.org/climate/support/en/support.php]. Fecha de consulta: 26 de enero del 2009.

UNWTO, 2007a. 2nd International Conference on Climate Change and Tourism. Davos, Switzerland. October, 2007. United Nations World Tourism Organization.

UNWTO, 2007b. Minister´s Summit on Climate Change and Tourism. London, United Kingdom. November, 2007. United Nations World Tourism Organization.

UNWTO, 2007c. Climate Change and Tourism. Responding to Global Challenges. Side Event at UNFCCC COP-13 Conference on Climate Change. Bali, Indonesia. December, 2007. United Nations World Tourism Organization.

Sosa Ferreira, A.P., 2010. Cambio climático y turismo: Visión general institucional. p. 361-380. 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 y turismo: visión general institucional

Ana Pricila Sosa Ferreira

Resumen

El fenómeno del cambio climático y sus repercusiones tienen implicaciones en todas las áreas geográficas y temáticas, y se requiere por lo tanto de un análisis y seguimiento en diferentes ámbitos y desde diversas perspectivas disciplinarias para la comprensión y acción en la economía, la sociedad y el medio ambiente. El objetivo de este trabajo es realizar un primer acercamiento a las recomendaciones y aportaciones de instituciones gubernamentales sobre el cambio climático, en el campo del turismo. Se ha optado por revisar el caso de la Organización Mundial del Turismo (omt o wto) y de la Semarnat bajo el supuesto de que, al tratarse de instancias gubernamentales oficiales, una internacional y otra nacional, sus planteamientos supondrían un compromiso gubernamental y contarían con un grado de legitimidad hacia el sector privado y el social; es decir, pueden representar una plataforma de la cual partir. Se parte de los conceptos sobre el tema del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático, ipcc (2007a), de la propia omt (wto, 2003 y 2008) y de la cepal-bid (2000), sobre cambio climático, vulnerabilidad y adaptación y su relación con el turismo.

Introducción

El fenómeno del cambio climático y sus repercusiones tienen implicaciones en todas las áreas geográficas y temáticas, y se requiere por lo tanto de un análisis y seguimiento en diferentes ámbitos y desde diversas perspectivas disciplinarias para la comprensión y acción en la economía, la sociedad y el medio ambiente. Como ya ha sido señalado por el Panel de Expertos (IPCC, 2007a) y por los grupos de trabajo e investigadores abocados al tema, todas las áreas y ámbitos requieren analizar tanto su aportación a las emisiones de gases invernadero y los mecanismos que pueden ser aplicados para reducirlas, así como establecer su vulnerabilidad y las medidas de adaptación que corresponden, además de realizar el análisis económico de los costos de la inacción, es decir de no aplicar medidas sino hasta que sea inevitable abordar los problemas generados. El turismo[1] es una de las áreas que requieren un análisis integral y completo. Por sus característica, que involucra relaciones sistémicas con distintas actividades económicas y diversos actores políticos, económicos y sociales (Jiménez, 2007); así como por sus implicaciones geográficas de relación de las personas en el espacio y con el espacio geográfico (Hiernaux, 2007), y por el uso que hace del patrimonio natural y cultural y su relación directa con el clima, requiere de un examen cuidadoso en la perspectiva del cambio climático. Por ello, las instituciones nacionales e internacionales, gubernamentales, sociales y privadas dirigidas al turismo, se han abocado al estudio del tema.

Este trabajo resume algunas propuestas sobre el cambio climático y turismo, centrándose en las aportaciones en el plano internacional de la Organización Mundial del Turismo (OMT) y regional del Caribe de la Asociación de Hoteles del Caribe. Igualmente, de la Estrategia y el Programa de la Semarnat en México (Semarnat, 2007b), haciendo referencia a otros estudios. Para ello se ha realizado una investigación bibliográfica y documental. El objetivo es realizar un primer acercamiento a las recomendaciones y aportaciones institucionales sobre el tema en este campo en expansión que es el turismo. Se ha optado por estas perspectivas institucionales bajo el supuesto de que ese carácter implicaría que sus planteamientos supondrían un compromiso gubernamental y un respaldo de este tipo para la iniciativa internacional y contarían con un grado de legitimidad hacia el sector privado y el social; es decir, representaría una plataforma de la cual partir.

[1] El concepto de turismo aún se encuentra en discusión (Hiernaux, 2007). Considerarlo una actividad económica parece por lo menos inexacto, en tanto es resultado de la interacción de diversas actividades económicas (transporte, comunicaciones, comercio de servicios). Para la Organización Mundial del Turismo (1999) es el desplazamiento de personas fuera de su lugar habitual de residencia con fines de descanso, ocio o trabajo, por más de 24 horas y menos de un año. Para este trabajo, se considera al turismo como un fenómeno que involucra a diversos actores, actividades económicas y áreas geográficas en una relación sistémica (Jiménez, 2007).

En este texto son retomados los conceptos generales sobre el tema, aceptados por las instituciones mencionadas:

> "*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 (*e.g.* la fluctuación en la energía solar), o los cambios antropogénicos persistentes en la composición de la atmósfera o en el uso de la tierra. (OMT, 2007)

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), declaró que "*el calentamiento del sistema climático es inequívoco*." La temperatura media del planeta ha aumentado aproximadamente 0.76°C entre 1850-1899 y 2001-2005. De acuerdo al IPCC, los aumentos en las temperaturas promedio del mundo, en las diversas regiones. durante el siglo XX fueron provocados en más de un 90% de probabilidad, por las actividades humanas que aumentan la concentración de los gases de efecto invernadero (GEI). Las afectaciones se extienden a aspectos como el clima, el calentamiento oceánico, temperaturas medias y extremas, los patrones del viento, además del deshielo en los glaciares. La temperatura de calentamiento de la superficie del océano ha contribuido al aumento del nivel del mar de1.8 mm por año desde 1961 hasta 2003, y aproximadamente 1 mm por año desde 1993 hasta 2003. (IPCC, 2007b).

Los riesgos que corren los sectores económicos y ambientales provenientes de la problemática del cambio climático, que son presentados para el siglo XXI, son considerados de gran importancia en los recientes debates de política internacional. El IPCC concluyó que el cambio climático obstaculizaría la capacidad para lograr un desarrollo sostenible para mediados de siglo. El Informe Stern (Stern, 2006) sobre la economía del cambio climático constató que los costes de tomar medidas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero ahora, son mucho menores que los costos de las perturbaciones económicas y sociales del cambio climático sin paliativos.

> "*La mitigación del cambio climático se refiere a los cambios tecnológicos, económicos y sociales, así como las sustituciones para reducir las emisiones. 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*". La suma de la amenaza natural y la vulnerabilidad, determinan el riesgo. (CEPAL-BID, 2000).

Las medidas de adaptación incluyen las dirigidas a reducir la vulnerabilidad, la previsión de las amenazas de fenómenos naturales que ya se observan, así como también las medidas que anticipan los efectos señalados del cambio climático (Semarnat, 2008).

Cambio climático y turismo: la visión institucional

En este apartado se resumen los planteamientos sobre turismo presentados fundamentalmente por la OMT y Semarnat. En el primer caso, por tratarse del organismo gubernamental mundial con reconocido prestigio en el sector turístico nacional y mundial respecto de sus análisis y del que México es miembro y signatario de sus acuerdos. La Semarnat expresa la posición oficial del gobierno mexicano y se espera que las iniciativas en el tema se inscriban en el marco que ha construido; además de que en algunas líneas implica decisiones que implican directrices vinculantes. Aunque existen otros análisis interesantes, este documento se centra en las propuestas oficiales mencionadas.

La Segunda Conferencia Internacional sobre Cambio Climático y Turismo celebrada en Davos (Suiza) en octubre de 2007, fue realizada con la finalidad de examinar el caso del turismo desde la perspectiva del cambio climático. Esta reunión llegó a las siguiente conclusiones:

> *El clima es un recurso esencial para el turismo (como motivación histórica principal de los viajes), por lo que es un sector muy sensible a los efectos del cambio climático y del calentamiento global, muchos de los cuales se están experimentando ya. Al mismo tiempo, los estudios realizados estiman que el turismo contribuye en cerca de 5% a las emisiones mundiales de* CO_2 (Declaratoria Davos, 2007).

La declaración de Davos, en consecuencia, reconoce la evidencia de que el cambio climático tiene una fuerte relación con el turismo. Establece además que debido a esto existe la necesidad de una estrategia a largo plazo para que el sector reduzca las emisiones de gases de efecto invernadero, de forma paralela al compromiso y avance de los demás sectores económicos. Señala que es urgente aplicar un conjunto de políticas para alentar el turismo sostenible y formas de viaje que tenga en cuenta las respuestas al cambio climático.

En este sentido, dentro de la Reunión, la Organización Mundial del Turismo (OMT), se comprometió a seguir realizando iniciativas en el sector turístico como parte del esfuerzo de las Naciones Unidas por crear un marco común que permita enfrentar el reto del cambio climático, en estrecha colaboración con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Organización Meteorológica Mundial, y consultando a la CMNUCC (Comisión Meteorológica de Naciones Unidas para Cambio Climático)(Declaratoria Davos, 2007; WTO, WMO, UNEP, 2008). El compromiso es reducir la emisión de gases de efecto invernadero para poder crecer de forma sostenible, cumpliendo con la aplicación de medidas de mitigación de las emisiones de GEI, derivadas especialmente de las actividades de transporte y alojamiento (la primera de ellas, la de las mayores aportaciones); y por otra parte adaptar las empresa y los destinos turísticos al cambio de las condiciones climáticas.

Para la OMT se deben diversificar los productos en función de los factores climáticos, para reposicionar los destinos y sus sistemas de apoyo, así como para favorecer la oferta y la demanda en todas las estaciones del año.

Respecto a los destinos de costas e islas, los panelistas de la segunda conferencia internacional del cambio climático y turismo concluyen que éstos son altamente vulnerables a los

impactos directos e indirectos del cambio climático, dado que la mayoría de la infraestructura esta situada a poca distancia de la costa. Esta alta vulnerabilidad, es acompañada por una baja capacidad de adaptación, especialmente en los pequeños estados insulares y los destinos costeros de los países en desarrollo (Declaratoria Davos, 2007).

No obstante, esta perspectiva señala que los impactos del cambio climático y el calentamiento global no solamente presentan riesgos, sino podrían traer oportunidades. Por ejemplo, en destinos tradicionales de playa, de verano, como el Mediterráneo, las temporadas medianas podrían alargarse, y la temporada de invierno podría ser más atractiva para los turistas, proporcionando oportunidades para reducir la estacionalidad y ampliar el producto turístico. Las zonas costeras del norte podrían beneficiarse de veranos más cálidos, atraer más turistas y prolongar la temporada de verano. Los residentes de zonas tradicionalmente frías podrían reducir sus viajes a zonas tropicales ante los cambios que pueden hacer más hospitalario el clima de sus países y regiones. Por tanto, el trabajo de adaptación debería de ser desarrollado en los destinos, de acuerdo a las condiciones y características de cada caso.

A continuación se resumen las principales propuestas de la OMT y otros estudios, además de lo expuesto para el tema turismo por la Semarnat, especialmente para el tema de costas y adaptación.

Cambio climático: la propuesta de la OMT

La OMT retoma las conclusiones del Panel Intergubernamental para Cambio Climático y la propia Reunión de Davos, aplicando sus consideraciones al caso del turismo. La manera de abordar el tema por parte de esta institución es completo e integral. Si partimos de la problemática general planteada por el IPCC, se examina la dimensión de las implicaciones para el turismo de la siguiente manera:

> "*Nuestros estilos de vida, la economía, la salud y el bienestar social se ven afectados por el cambio climático, y aunque las consecuencias variarán sobre una base regional, todas las naciones y los sectores económicos tendrán que lidiar con los desafíos del cambio climático a través de la adaptación y la de mitigación. El turismo no es la excepción y en las próximas décadas, el cambio climático se convertirá en un problema cada vez más crucial que afecta el desarrollo del turismo y su gestión*" (WTO, 2008).

El sector turístico debe afrontar el reto del cambio climático en el contexto de la agenda internacional del desarrollo sostenible, es decir, en coordinación con los esfuerzos internacionales, principalmente de la ONU. El reto principal es el desarrollo de una estrategia política acorde con el crecimiento previsto del turismo para las próximas décadas, que implicarán un mayor consumo de energía e incremento las emisiones de gases de efecto invernadero, a fin de permitir el crecimiento del turismo, al mismo tiempo contribuir a la mitigación de la pobreza y hacer aportaciones relevantes en la consecución de los objetivos del Milenio de Naciones Unidas, pero cumpliendo al mismo tiempo con lo que le corresponde para reducir su participación en las emisiones.

Bajo estas consideraciones y una vez que resume los principales impactos que se esperan en las principales regiones del mundo, la OMT retoma el planteamiento ya iniciado durante la reunión de Davos, para examinar las áreas a través de las cuales el turismo realiza las principales aportaciones a las emisiones de gases con efecto invernadero. Encuentra que son el transporte y el alojamiento, pero esencialmente es el primero, el responsable de las mayores aportaciones, por lo que debe tratar de reducir esas emisiones, en cumplimiento de los compromisos internacionales para reducir a más de la mitad de los niveles de 2000, a mediados de siglo.

En el funcionamiento del sistema turístico, el transporte es causante de alrededor de 75% de las emisiones de CO_2 generadas por el conjunto de esta actividad, en donde la aviación aporta la mayor parte de ella (40%). Aunque el transporte de turismo tiene una participación relativamente pequeña en las actuales emisiones globales, hay una necesidad de desarrollar medidas eficaces de mitigación, teniendo en cuenta su dinámico crecimiento. La medición exacta de las emisiones de CO_2 generadas por el transporte de turismo total mundial, o por lo menos la relativa al tráfico aéreo, no se ha medido con exactitud. Se dispone solamente de las cifras del número estimado de viajes (860 millones) y el número de kilómetros de pasajeros (4 billones). Aún se está trabajando para obtener los datos de viajes turísticos por regiones e intrarregionales. Por otro lado, la medición del transporte terrestre resulta todavía más complicada, ya que no se cuenta con la información sobre viajes con fines turísticos, diferenciados de los demás viajes, más que en algunas regiones. La UE-25 más Noruega y Suiza, por ejemplo, establecieron que las emisiones de CO_2 para el turismo nacional e internacional (en coche, tren, autocar y aire), asciende a 250 millones de toneladas de CO_2. Asimismo, indica que 55% de las emisiones del transporte de turismo por europeos son causados por 20% de los viajes basados en el transporte aéreo. De acuerdo a las tendencias de la actividad, se espera que las emisiones de CO_2 procedentes del transporte de turismo en Europa aumenten en un 85% entre 2000 y 2020 (OMT, 2007).

> "*Al respecto, uno de los retos señalados es la medición de los efectos del cambio climático (CC) y de las mismas acciones de mitigación, puesto que, por ejemplo, no es posible aún determinar la proporción exacta de los viajes aéreos internacionales que corresponden a turismo, aún cuando se haya avanzado en la medición de viajes-km-personas. En el uso del transporte terrestre resulta aún más complejo*" (Gossling, 2006).

Respecto del alojamiento, la medición se establece por ahora fundamentalmente con base en el consumo energético, pero también en este caso es necesario mejorar la medición.

Por otro lado, la industria de la hotelería, representa el 20% del total de las emisiones provocadas por la actividad turística, es un gran consumidor de energía y contribuye al cambio climático global (Davos, 2007).

La OMT realiza igualmente una revisión de las amenazas de los efectos del cambio climatico sobre las diferentes áreas y regiones turísticas. Para el tema de este trabajo, resultan relevantes los señalamientos con relación a las regiones insulares y costeras. El Gran Caribe es señalado como una de las regiones de mayor riesgo, fundamentalmente debido al incremento de los huracanes y tormentas tropicales, así como por las proyecciones de elevación del nivel del

mar. Los destinos del Caribe, que se caracterizan por presentar una gran concentración de sus economías en el turismo y también una concentración de sus asentamientos humanos en las costas, presentan un alto grado de exposición ante los cambio esperados y por tanto una alta vulnerabilidad.

Según el IPCC, es muy probable que las temperaturas extremas, olas de calor y fuertes precipitaciones continúen siendo cada vez más frecuentes. Es probable que los futuros ciclones tropicales (tifones y huracanes) sean más intensos, con velocidades del viento mucho más grandes y precipitaciones más fuertes asociados con un aumento de las temperaturas superficiales del mar tropical. La extensión de las regiones que será la principal afectada por estos sucesos extremos contiene a muchos de los principales destinos turísticos, en ellos se destaca la necesidad de información y preparación para los desastres naturales a nivel local mediante la capacitación sistemática y las estrategias para la gestión del riesgo de desastres.

En este sentido, los destinos turísticos de islas y costas requieren especial atención. El nivel del mar es probable que aumente durante el siglo, afectando las islas pequeñas del Mar Caribe, el Océano Índico, el Pacífico norte y el sur de los océanos. Las lluvias en verano en el Caribe disminuirán en las proximidades de las Antillas Mayores, pero se presentarán cambios en el comportamiento del invierno. La precipitación anual es probable que aumente en el norte del Océano Índico con los posibles aumentos en las proximidades de las islas Seychelles, en diciembre, enero y febrero, y en las proximidades de las Maldivas en junio, julio y agosto. La precipitación anual podría aumentar en el ecuador Pacífico, mientras que pude esperarse una disminución, de acuerdo a los modelos, para el este de la Polinesia Francesa en diciembre y enero. (WTO-WMO-UNEP,2008; Simpson *et al.*, 2008)

Acciones y medidas de mitigación del turismo para el cambio climático

La mitigación del cambio climático se refiere a los cambios tecnológicos, económicos y sociales, así como las sustituciones para reducir las emisiones. Éstas no pueden ser alcanzadas por la reestructuración tecnológica por sí sola, sino que también requiere de cambios estructurales, lo que constituye un proceso más complejo. Las emisiones relacionadas con el turismo están creciendo rápidamente, por lo que la mitigación debe confrontar el impulso al crecimiento de las últimas décadas, relacionado con el deseo de las personas de descansar y explorar; además de hacer compatible la reducción de las emisiones de CO_2 con el papel que debe jugar el turismo para el desarrollo y en la reducción de la pobreza. Las políticas de mitigación del cambio climático en el turismo tienen que encontrar un equilibrio entre tales objetivos que pueden contraponerse, previendo las consecuencias locales, nacionales y mundiales, del cambio climático y de las medidas para mitigarlo.

Las estrategias de mitigación para hacer frente a las emisiones de GEI procedentes del turismo, propuestas y/retomadas por la OMT son:

1. Reducir el consumo de energía, principalmente del transporte (mayor uso del transporte público, uso del ferrocarril y otras opciones en sustitución del coche y aviones en la elección de destinos menos lejanos), así como cambiar algunas prácticas de viaje, por ejemplo, uso de videoconferencia para el turismo de negocios.
2. Mejorar la eficiencia energética: uso de tecnologías nuevas e innovadoras, llevar a cabo la misma operación con una entrada de menor energía.
3. Aumentar el uso de energías renovables o neutras de carbono: la sustitución de combustibles fósiles por otras fuentes de energía más limpias (por biomasa, hidráulica, eólica y solar).
4. El secuestro de CO_2 a través de los sumideros de carbono: el CO_2 puede ser almacenado en la biomasa (*e.g.* a través de la forestación y la reforestación), en los acuíferos o los océanos, y en sumideros geológicos (*e.g.* yacimientos de gas). Indirectamente, esta opción puede tener importancia para el sector del turismo, teniendo en cuenta que la mayoría de los países en desarrollo y los pequeños estados insulares que dependen del transporte aéreo para sus economías impulsadas por el turismo tienen la diversidad biológica necesaria de biomasa para el almacenamiento de CO_2. El turismo orientado hacia el medio ambiente puede desempeñar un papel clave en la conservación de estas áreas naturales (Becken y Hay, 2007).

El desarrollo tecnológico es clave como herramienta, pero es incapaz de resolver el problema del cambio climático por sí sola. Por lo tanto, en el sector del transporte es necesario aplicar una combinación de medidas, incluidas las mejoras tecnológicas, medidas reglamentarias y de mercado, así como los cambios de comportamiento. Esto debe considerar siempre que, si bien algunas acciones para reducir el impacto del turismo en el cambio climático pueden afectar o reducir la llegada de turistas, las medidas deben ser consideradas cuidadosamente para garantizar que los objetivos de reducción de la pobreza no son puestos en peligro (Davos, 2007).

Diferentes sectores de la industria turística: vulnerabilidad y medidas de adaptación hacia el cambio climático

El tema de cambio climático, así como la vulnerabilidad y requerimientos de adaptación son del todo relevantes en la perspectiva de la viabilidad del turismo. Las instituciones internacionales y nacionales han establecido pautas sobre ello.

> "*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, sistemas de alerta, grado de organización.*" (CEPLA-BID, 2000).

Las medidas de adaptación deben incluir la previsión de las amenazas de fenómenos naturales que ya se observan y también las medidas que anticipan futuros cambios climáticos.

Los destinos costeros e insulares son muy vulnerables a los impactos directos e indirectos del cambio climático (*e.g.* tormentas y fenómenos climáticos extremos, erosión costera, los daños físicos a la infraestructura, la elevación del nivel del mar, inundaciones, escasez de agua y contaminación del agua), dado que la mayoría de la infraestructura se ubica a poca distancia de la costa. Esta alta vulnerabilidad, a menudo es acompañada por una baja capacidad de adaptación, especialmente en los pequeños estados insulares y los destinos costeros de los países en desarrollo. La fuerte estacionalidad del turismo de playa debe tenerse en cuenta, ya que puede ser aún más marcada por el cambio climático.

Algunos de los daños a los cuales están expuestas estas regiones son:

- La erosión de la línea costera y el daño a la infraestructura turística.
- Efectos de los huracanes y tormentas extremadamente fuertes, como los ocurridos en el Caribe.
- Efectos del aumento en el nivel del mar.
- Las circulaciones oceánicas, las cuales tienen que ver con las corrientes oceánicas y las corrientes de los vientos, además del blanqueamiento de los arrecifes de coral y daño de los ecosistemas terrestres y marítimos (Becken y Hay, 2007).

La Organización Mundial del Turismo, señala que los destinos costeros requieren analizar el peligro de los eventos extremos, la elevación del nivel del mar y la afectación de ecosistemas costeros como arrecifes, manglares y playas, para diseñar sus planes de adaptación. Este organismo internacional ha analizado la capacidad de adaptación de los integrantes del sistema turístico encontrando que los turistas presentan una alta capacidad de adaptación, las agencias una mediana capacidad y los servicios de hospedaje tiene la más baja capacidad de adaptación (WTO-WMO-UNEP, 2008). Propone igualmente, lo que le corresponde a cada sector (operadores, asociaciones de prestadores de servicios, gobierno y comunidad, y sector financiero) en lo relativo a adaptación en los campos técnicos de administración, gestión, políticas, investigación, educación y conducta responsable.

Las siguientes tablas resumen la propuesta básica de adaptación y mitigación en turismo.

Tabla 1. Medidas de adaptación por sectores, de acuerdo a la OMT: Portafolio de adaptaciones climáticas utilizados por los sectores interesados en el turismo.

Adaptación	Operadores de turismo/ negociadores	Asociaciones de la industria del turismo	Gobierno y comunidad	Sector financiero (Inversionistas/ aseguradoras)
Técnico	Toma de muestras de nieve. Contorneado de pendientes. Sistemas de recogida y reciclaje de agua de lluvia.	Instalación de sistemas de alerta temprana, para la operación turística. Desarrollo de páginas web para dar información sobre prácticas de adaptación.	Reserva de plantas de desalinización. Estructura de comisiones para el consumo de agua. Pronostico del tiempo, y sistema de alerta temprana.	Requerimiento de diseño de construcciones y uso o materiales bajo estándares como condición para asegurados. Proporcionar información de materiales a los clientes.
Directivo	Planes de Conservación del agua. Cierres por temporada baja. Diversificación de producto y mercado. Diversificación regional en operación de negocios. Redirigir a los clientes lejos de los destinos de impacto.	Reportes de la condición de la nieve a través de los medios. El uso a corto plazo de los pronósticos estacionales, para la planeación del marketing. Programas de entrenamiento en adaptación del cambio climático. Fortalecimiento de la gestión ambiental a través de empresas.	Planes de gestión de impactos. Convenios/ seguros en la interrupción de eventos. Subsidio de negocios para este tema.	Ajuste a las primas de seguros. Redefinir las políticas de seguro. Restringir los préstamos de negocios con operaciones de alto riesgo.
Políticas	Garantías por interrupción a causa de huracanes. Cumplimiento de las regulaciones.	Cabildeo político para compromisos de reducción, de emisiones y adaptación de GEI. Búsqueda de fondos para la implementación de proyectos de adaptación.	Gestión de planes para las costas. Reglamentos de construcción.	Consideración del cambio climático en los riesgos de crédito y asesorías en proyectos de finanzas.
Investigación	Ubicación de sitios (*e.g.* de riesgo, (laderas expuestas, elevaciones)	Evaluar el nivel de conocimiento de las empresas y los turistas sobre el tema.	Programas de monitoreo (predecir blanqueamiento de coral, riesgos de avalancha, etc.).	Exposición de eventos de extremos riesgo.

Tabla 1 (continuación). Medidas de adaptación por sectores, de acuerdo a la OMT: Portafolio de adaptaciones climáticas utilizados por los sectores interesados en el turismo.

Adaptación	Operadores de turismo/ negociadores	Asociaciones de la industria del turismo	Gobierno y comunidad	Sector financiero (Inversionistas/ aseguradoras)
Políticas	Garantías por interrupción a causa de huracanes. Cumplimiento de las regulaciones.	Cabildeo político para compromisos de reducción, de emisiones y adaptación de GEI. Búsqueda de fondos para la implementación de proyectos de adaptación.	Gestión de planes para las costas. Reglamentos de construcción.	Consideración del cambio climático en los riesgos de crédito y asesorías en proyectos de finanzas.
Investigación	Ubicación de sitios (*e.g.* de riesgo, (laderas expuestas, elevaciones)	Evaluar el nivel de conocimiento de las empresas y los turistas sobre el tema.	Programas de monitoreo (predecir blanqueamiento de coral, riesgos de avalancha, etc.).	Exposición de eventos de extremos riesgo.
Educación	Educación sobre la conservación del agua, para empleados y huéspedes.	Campañas públicas de educación.	Campañas de conservación del agua. Campañas de los riesgos de la radiación UV.	Educar/informar a los clientes existentes y potenciales.
Comportamiento	Cámaras para informar en tiempo real de las condiciones de la nieve. Programas de compensación para la emisión de GEI.	Programas de compensación para la emisión de GEI. Iniciativas de conservación del agua.	Recuperación en casos de eventos extremos.	Buenas prácticas en casa.

Fuente: Conclusiones de la Segunda Conferencia Internacional sobre Cambio Climático y Turismo Davos, 2007

Tabla 2. Medidas de mitigación, por sub-sectores turísticos.

Transportación	Tour operadoras	Establecimientos de hospedaje
Crear un fondo para la renovación de la flota.	Desarrollar e implementar los llamados "productos de movibilidad blanda" como transportes de baja emisión de carbonos.	Conservación de la energía en los establecimientos de hospedaje, por medio de diversas técnicas. Uso de nuevas tecnologías.
Proporcionar incentivos para el aumento del índice de desarrollo tecnológico.	Mejorar y desarrollar la colaboración entre los operadores turísticos y los ferrocarriles, especialmente en los sistemas de reserva.	Uso de combustibles alternativos (biodiesel) y fuentes renovables de energía.
Aumentar la eficiencia en la gestión de los sistemas de enrutamiento y tráfico aéreo.	Integrar criterios del cambio climático con iniciativas ya existentes en la industria del tour operador, tales como las iniciativas de los tour operadores.	Gestión integrada de las emisiones de GEI. Una gestión ambiental mas amplia, designadas en la gestión de sistemas de gestiones ambientales.
Desarrollar e instalar guías globales, específicamente para el uso de las empresas.	Mejorar los sistemas de reserva por computadora y sistemas de distribución global, para el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero, a fin de permitir que las agencias de viajes proporcionen productos de movilidad blanda.	Elevar la concientización entre los consumidores sobre el reciclaje.
Fomentar las asociaciones entre el transporte y diferentes actores del sector turismo, con el objetivo de reducir las emisiones, a través de la optimización de la cadena de valor.	Adaptación de la promoción nacional, regional y local, de los planes de comercialización, a fin de dirigir los esfuerzos de comercialización hacia los mercados de menos intensividad de carbono.	Desarrollar un Código de Ética Medioambiental.
Promover el uso del transporte público mediante acciones integradas para impulsar el tren y autobús en los países desarrollados. Además de mejorar y proteger el sistema de ferrocarril el cual sigue siendo muy utilizado.	Promover el turismo a corta distancia, entre países vecinos, turismo domestico, específicamente entre los países menos desarrollados, cerca de las fronteras.	Capacidad de construcción, relacionado con el cambio climático y el medio ambiente, por medio de la educación de gerentes de los hoteles, relacionados con la arquitectura, construcción e ingeniería.

Tabla 2 (continuación). Medidas de mitigación, por sub-sectores turísticos.

Transportación	Tour operadoras	Establecimientos de hospedaje
Mejorar la concientización de los consumidores y la transparencia mediante la emisión de boletos de transporte y folletos de producto.	Desarrollar productos con mayor durabilidad en la estancia, especialmente para los destinos de larga y mediana distancia.	El desarrollo de una red de puntos clave, del cambio climático en el sector de alojamiento, para así promover las actividades propuestas en el informe y la declaración de Davos.
Crear un estándar para el etiquetado de la huella de carbono en todos los productos turísticos, como transporte, hospedaje, actividades, etc.	Apoyar a los destinos para la introducción de medidas de adaptación y mitigación.	La inclusión de la eficiencia energética, y el uso de energías renovables, como apoyo en las políticas nacionales y el desarrollo de planes (Agenda 21).
Participación de los destinos a través de acciones para crear y mejorar el acceso al transporte de bajo carbono.	Usar la industria del turismo, como entrada para estrategias más ambiciosas de mitigación. nacionales y regionales	Desarrollo de vínculos con las políticas internacionales, la cooperación y los estándares.

Fuente: Segunda Conferencia Internacional sobre Cambio Climático y Turismo: Respondiendo a los cambios globales, impactos y adaptación en los destinos. Davos, 2007.

México: Estrategia Nacional de Cambio Climático

México es altamente vulnerable a condiciones climaticas extremas, por lo tanto es necesario contar con mejor información y capacidad de pronóstico a escalas regional y local, así como valoraciones dinámicas del riesgo. Así lo señalan la Estrategia Nacional para el Cambio Climático y otros documentos de la Semarnat (Landa *et al*., 2008). Se parte del conocimiento de los peligros climáticos, del análisis de las condiciones de vulnerabilidad nacional y de diferentes experiencias vinculadas con la adaptación y el manejo de recursos hídricos, para plantear líneas de acción orientadas hacia la construcción de capacidades de adaptación en México.

Se reconoce que la construcción de estas capacidades depende de las decisiones que se tomen desde hoy en el campo tecnológico, social, económico y ambiental; en la definición de medidas de adaptación, en el uso de herramientas para planear con incertidumbre, y en el desarrollo de mejores condiciones reactivas y preventivas ante eventos extremos (Semarnat, 2008).

Durante el año 2000 México contribuyó con alrededor de 1.5 % de las emisiones anuales globales de gases de efecto invernadero, ubicándose en la posición número 13 entre los 25 mayores emisores del mundo. La contribución histórica de México, durante el periodo 1950-2000, lo coloca en la posición número 15 por emisiones derivados de la quema de combustibles fósiles y de procesos industriales, y en la posición número 16 por deforestación (Galindo, 2009).

La realización de la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENACC), menciona posibilidades y rangos de reducción de emisiones de GEI, propone estudios para definir metas de miti-

gación, identifica las fortalezas y define las necesidades del país para avanzar en la construcción de capacidades de adaptación.

Los elementos para la adaptación contenidos en la ENACC tienen entre sus retos: a) implementar sistemas de información y alerta temprana, b) ajustar tratamientos de agua a las condiciones climáticas, c) establecer corredores biológicos, d) renovar la experiencia adquirida por grupos vulnerables frente a la variabilidad climática; para su aplicación en el planeamiento de políticas de adaptación al cambio climático, articular la política nacional para el desarrollo sustentable de océanos y costas con el fortalecimiento de capacidades nacionales frente al cambio climático, entre otros (Semarnat, 2008).

Las líneas de acción para la adaptación que propone la ENACC sostienen que se debe promover acciones de reducción de vulnerabilidad, disminución del riesgo y generación de estrategias de adaptación en los planes de desarrollo regional, estatal y municipal, al mismo tiempo que se trata de promover el uso de seguros como instrumentos de disminución de la vulnerabilidad en diferentes sectores.

Con relación al turismo la Estrategia Nacional y el Programa Nacional de Cambio Climático reconocen que será uno de los sectores más afectados en México por la variabilidad del clima. Plantean que para su adaptación será necesario profundizar los conocimientos sobre la vulnerabilidad del sector turismo ante los impactos adversos de la variabilidad climática y del cambio climático. Para empezar se debe elaborar y poner en operación un sistema de pronóstico climático regional de mediano plazo para zonas vulnerables de destino turístico, elaborar mapas de vulnerabilidad y riesgo ante el cambio climático para destinos turísticos prioritarios, y en relación al transporte aéreo marítimo y de comunicaciones se debe fortalecer capacidades de adaptación y reducir la vulnerabilidad de infraestructura portuaria ante la variabilidad natural del clima y el cambio climático.

Respecto a las zonas costeras el Programa Nacional tiene como principales objetivos para promover la adaptación: definir y mantener las capacidades de disminución de riesgos y amortiguamiento de impactos de los ecosistemas acuáticos continentales, costeros y marinos, ante los efectos del cambio climático y preservar la integridad de las zonas costeras y marinas como medida de amortiguamiento ante impactos adversos y como depósitos y sumideros de CO_2.

Para lo cual se necesita restaurar y reforestar determinado numero de hectáreas de ecosistemas costeros como el manglar y la duna, elaborar proyectos de recuperación y restablecimiento de flujo y caudal ecológico, entre otros.

El texto publicado por la Semarnat "La Economía del Cambio Climático en México " (Galindo, 2009), fue realizado con el objetivo de "*... identificar, analizar y cuantificar, los costos económicos del cambio climático para México y, con base en estos resultados, proponer y recomendar diversas medidas de política pública tanto en adaptación como de mitigación*". Una de sus principales conclusiones es que "*La construcción de una estrategia de adaptación y mitigación al cambio climático en México, debe reconocer la necesidad de utilizar diversos instrumentos en forma continua con una visión a largo plazo*", indicando, por ejemplo que es importante construir una estructura de precios relativos consistente con un desarrollo sustentable. Es decir, "*los precios*

relativos deben reflejar adecuadamente la presencia de las externalidades negativas que produce el consumo de ciertos bienes; reconociendo incluso la importancia de valuar adecuadamente aspectos que actualmente están fuera del mercado como la biodiversidad". Con ello se avanzaría para que los precios incidieran en una mejor administración de los recursos y para apoyar la innovación y la difusión tecnologías.

Respecto de los impactos del CC sobre el turismo, este texto señala que el sector turismo es un factor fundamental para el crecimiento económico de diversas regiones del país y tiene además, un impacto significativo; asimismo, una parte importante de este turismo tiene efectos sobre los ecosistemas que son relevantes para enfrentar los efectos del CC. Para el primer aspecto, encuentra (a través de la medición por medio de un modelo que utiliza el PIB de EU) que los impactos climáticos sobre la demanda turística reducen su propio ritmo de expansión. Ello en todo caso debe amortiguarse buscando diversificar los destinos turísticos. Respecto de la afectación a los ecosistemas clave, que deriva de la actividad, la recomendación es incorporar a los precios relativos las externalidades negativas, mencionadas anteriormente. Es decir, desde el punto de vista económico se requiere cuantificar los posibles impactos sobre los ecosistemas e incorporar estos costos a la propia actividad (productores-comercilizadores-consumidores en el turismo)

Cabe señalar que por su carácter sistémico, el turismo no guarda relación solamente en un sentido con el cambio climático, puesto que tiene que ver con transporte, comercio, finanzas, agricultura, construcción, salud y desarrollo urbano. El turismo se ve afectado a través todos estos campos y por tanto el examen de su vinculación con CC, también debe considerarlo.

Finalmente, en esta sintética revisión de las consideraciones institucionales sobre CC, turismo y costas, cabe referirse al Programa Especial sobre Cambio Climático, de alcance nacional, publicado por Semarnat, que define los objetivos líneas de acción y metas en el tema, así como los responsables de su coordinación. Son tres objetivos con sus estrategias y metas correspondientes (tabla 3).

Como puede observarse, las metas establecidas están dirigidas a la mitigación que es el segundo apartado de estrategias y metas, a pesar de que la estrategia respectiva se refiere a diseño de medidas de adaptación. El siguiente apartado, que aborda la adaptación, está organizado a partir de ecosistemas y por actividades (tabla 4).

Para el tema de adaptación se incorpora un enfoque que se dirige a estudiar los posibles impactos del CC, con el fin de definir las acciones de adaptación. Es decir, se atiende el nivel de investigación, de su relación con la definición de políticas públicas y de atención a los turistas y a la población residente en los destinos. Aunque no es incorporada el área de la difusión y comunicación hacia población, turistas y empresa turísticas; el apartado del Programa Especial dedicado a la información y difusión contempla metas en este sentido, al mismo tiempo que amplía y detalla lo relativo a la investigación y análisis de la vulnerabilidad de zonas y grupos de población.

Cabe señalar que los objetivos del Programa Especial de CC relativos a las costas son los siguientes:

Tabla 3. Objetivos, metas y y líneas de acción sobre turismo considerados en el Programa Especial de Cambio Climático (mitigación).

Objetivos	Estrategias	Líneas de acción y responsables	Metas	Responsables
Reducir la demanda de energía y agua asociada al turismo.	Diseñar medidas de adaptación para consolidar e incrementar el turismo, considerando los efectos del cambio climático.	Sectur, Sedesol y CNA. Promover planes de manejo urbano y de cuenca para reducir la demanda de agua en destinos turísticos prioritarios.	48. Elaborar y publicar un convenio para estimular la reducción de la demanda de energía, entre 2008 y 2012.	Sectur, y Sener-CONUEE
			49. Elaborar 1 programa de reconocimiento y certificación de mejores prácticas ambientales de los prestadores de servicios turísticos, entre 2008 y 2012.	Sectur, Semarnat y Profepa
			50. Elaborar dos estudios sobre la contribución de emisiones de GEI del sector turístico y del potencial de participación en los mercados de carbono, entre 2008 y 2012.	Sectur
			51. Establecer tres convenios en materia de mitigación con cámaras y organizaciones privadas del sector, entre 2008 y 2012.	Sectur
			52. Realizar una campaña de difusión sobre cambio climático y mitigación en el sector, entre 2008 y 2012.	Sectur
Estimular la sustitución y complemen-tariedad de las fuentes de energía convencionales por fuentes renovables en hoteles .	Desarrollar mecanismos y estrategias de mercado que reconozcan y estimulen el uso de energías renovables en hoteles.	Sectur, Semarnat, Sagarpa, Sener-CONUEE. Promover estrategias y productos que le den valor agregado a los hoteles que utilicen energías renovables. Fomentar que el turismo de naturaleza utilice energías renovables. Fomentar el uso de energías renovables en instalaciones hoteleras.	M.53 Elaborar un programa de eficiencia energética y energía renovable para reducir las emisiones de GEI en el sector turismo, entre 2008 y 2012.	Sener-CONUEE y Sectur

Tabla 4. Objetivos, metas y y líneas de acción sobre turismo considerados en el Programa Especial de Cambio Climático (Adaptación).

Objetivos	Estrategias	Líneas de acción y responsables	Metas	Responsables
Profundizar los conocimientos sobre la vulnerabilidad del sector turismo ante los impactos adversos de la variabilidad climática y del cambio climático.	Evaluar los efectos del cambio climático en la actividad turística.	Promover estudios que permitan establecer los impactos territoriales, sociales y económicos en el sector asociados a los escenarios de cambio climático así como desarrollar propuestas de política pública para prevenir y disminuir sus impactos. Participar en los programas de investigación, sobre las causas y efectos de los fenómenos naturales, el perfeccionamiento de monitoreo y alerta a la población residente y visitante en los destinos turísticos más vulnerables del país.	A.116 Promover un acuerdo de coordinación concurrente con la Coordinación General de Protección Civil.	Sectur y Segob
			A.117 Elaborar y poner en operación un sistema de pronóstico climático regional de mediano plazo para zonas vulnerables de destino turístico.	Sectur
			A.118 Elaborar ocho estudios que promuevan programas de adaptación y sistemas de alerta temprana para destinos turísticos.	Sectur y Semarnat-INE
			A.119 Elaborar ocho mapas de vulnerabilidad y riesgo ante el cambio climático para destinos turísticos prioritarios.	Sectur y Sedesol
			A.120 Establecer un fondo sectorial con Conacyt para el fomento de la investigación aplicada en el sector del turismo: desarrollo regional e impacto del cambio climático.	Sectur y Conacyt

Fuente: Elaborado con base en los datos de Comité Intersecretarial de CC, Programa Especial de CC, Anexos.

- Definir y mantener las capacidades de disminución de riesgos y amortiguamiento de impactos de los ecosistemas acuáticos continentales, costeros y marinos, ante los efectos del cambio climático.
- Preservar la integridad de las zonas marinas y costeras como medida de amortiguamiento ante impactos adversos y como depósitos y sumideros de CO_2.

Puede concluirse, que existe un marco institucional internacional y nacional general para el tema de cambio climático y turismo, mismo que establece con cierto nivel de detalle, las consideraciones más importantes sobre mitigación y adaptación, además de emitir directrices,

estrategias, acciones y metas gubernamentales, para el caso de la administración pública de México. Este puede constituir un punto de partida y referente para el abordaje del tema del turismo frene al cambio climático por parte de los diferentes actores y sectores que participan en el sistema turístico.

Como ha podido verse, las propuestas de la OMT y otras son más integradoras, incorporando un esquema sectorial, (áreas que integran el sector turismo y relacionadas) paralelamente al enfoque de regiones naturales (ecosistemas); además de integrar también a los actores y vinculando la población, la administración y las actividades económicas (tanto para mitigación como para adaptación). Por el contrario, en los documentos oficiales mexicanos los planteamientos son sectoriales, lo que segmenta los temas, actores y área de actuación. Esto resulta coherente con los respectivos objetivos de cada enfoque. La OMT tiene como meta brindar a los diversos actores del turismo o vinculados al mismo, orientaciones para su participación en la mitigación y adaptación; por lo que requiere una diferenciación sectorial (dentro del sistema turístico) y por regiones naturales (ecosistemas) pero también una integración de temas y actores. La Semarnat coordina la política nacional, lo que define su nivel general y su clasificación en visiones sectoriales.

Cabe señalar que de forma paralela, la producción académica enriquece gradualmente estas consideraciones (Berritella *et al.,* 2004 ; Hamilton, 2005); así como algunos organismos empresariales, como la Asociación de Hoteles del Caribe (CHTA, 2009) que elaboran estrategias derivadas de las internacionales generales y otras. Al mismo tiempo, la sociedad civil organizada, desde diversas perspectivas aporta sus enfoques, coincidentes o diferenciadas de las institucionales. Una de las propuestas delineadas por las ONG, bajo la convicción de que es el modelo de consumo lo que ha generado el tipo y ritmo de uso de recursos y energía, pretende incidir en las pautas de consumo, turístico en este caso. El argumento es que solamente las acciones que incidan en lo estructural tendrán un efecto con un peso específico, de forma que el logro a alcanzar es la redirección del consumo turístico para: a) privilegiar viajes de corto recorrido y, b) de manera sustancial, redireccionar el consumo hacia productos locales por parte de los turistas y las empresas turísticas. Esto último es también una tendencia entre las propuestas del ámbito institucional internacional oficial.

En todo caso, puede afirmarse que se cuenta con una plataforma, un punto de partida con el respaldo del compromiso gubernamental internacional, para el estudio más detallado y el avance en la aplicación de medidas de mitigación y de adaptación de los actores y componentes del turismo.

Literatura citada

Becken, S., y J. Hay, 2007. Tourism and Climate Change – Risks and Opportunities, Channel View Publications, Cleveland.

Bell, G. D. et al., 2006b. The Record Breaking 2005 Atlantic hurricane season: State of the climate in 2005. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 87: 33-37.

Berritella, M., A. Bigano, R. Roson, y R. Tol, 2004. A General Equilibrium Analisys of Climate Change impacts onTourism. UNESCO-IAEA- Ecological and Enviromental Economics. EEE Working Papers No 17.

CEPAL-BID (ECLAC-IDB), 2000. A matter of development:how to reduce vulnerability in the face to natural disasters. CEPAL-BID, México

CHTA, 2009. Energy Reduction program. http: // www.caribbeanhotelassociation.com/downloads/CAST_EOI-CHENACT.pdf.

Davos, 2007. Conclusiones del panel de sesiones, de la Segunda Conferencia Internacional de Cambio Climático y Turismo, En respuestas de mitigación en los subsectores del turismo/transportación. Davos Suiza 1-3 de octubre 2007.

Dubois, G., y J.P. Ceron, 2006. Tourism/leisure greenhouse gas emissions forecasts for 2050: Factors for Change in France. *Journal of Sustainable Tourism*, 14 (2): 172–191.

Frangialli, F., 2007. Tourism Development and Climate Change: Understanding, Anticipating, Adapting, Participating in the Common Effort, (Background Paper). UNWTO, Madrid.

Hamilton, J., D. Maddison, y R. Tol, 2005. Climatic Change and International Tourism, an Simulation Study. Elsevier-Global Enviromental Change , No 15.

Hay, J., *et al.*, 2003. Climate Variability and Change and Sea level Rise in the Pacific Islands Region: A Resource Book for Policy and Decision Makers, Educators and other Stakeholders. South Pacific Regional Environment Programme, Japan Ministry of the Environment, Tokyo.

Hiernaux, D., 2006. Geografía del turismo. En: D. Hiernaux y A. Lindon. Tratado de Geografía Humana. Antrophos-UAM. México.

IPCC, 2007a. Adaptation and Vulnerability – Contribution of Working Group II to the Four the Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, University Press Cambridge, Cambridge and New York.

IPCC, 2007b. Impacts, Adaptation and Vulnerability – Summary for Policymakers.

IPCC, 2007c, Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. University Press Cambridge, Cambridge and New York.

Galindo, L.M., 2009. La economía del cambio climático en México. Semarnat, México.

Glantz, M., 2000. Reducing the Impact of Environmental Emergencies through Early Warning and Preparedness: The Case of the 1997–98 El Niño. UNEP, NCAR,UNU and WMO.

Gössling S., y C.M. Hall, 2006a. An Introduction to Tourism and Global Environmental Change. p. 1-34. *In:* S. Gössling and C.M. Hall (eds.). Tourism and Global Environmental Change, Routledge, London.

Jiménez, A., 2005. Una aproximación a la conceptualización del turismo desde la teoria general de sistemas. Universidad del caribe-Porrúa Ediotres. México

Landa, Magaña, N., 2008. Agua y clima: elementos para la adaptación al cambio climático. Semarnat

OMT, 2007 Declaratoria de Davos a Balí: la contribucción del turismo al reto del cambio climatico.

Peeters, P., 2007. Tourism and Climate Change Mitigation – Methods, Greenhouse Gas Reductions and Policies. NHTV Academics Studies No. 6. Breda University, Breda.

Peeters, P. et al., 2007b. Major environmental impacts of european tourist transport. *Journal of Transport Geography,* 15: 83–93.

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*.

Scott, D., 2006. Climate Change and Sustainable Tourism in the 21st Century. p. 175-248. *In:* J. Cukier (ed.), TourismResearch: Policy, Planning, and Prospects, Department of Geography Publication Series, University of Waterloo, Waterloo, Ontario.

Semarnat, 2008a. Comisión Intersectorial de Cambio Climático (2007), Estrategia Nacional de Cambio Climático.

Semarnat, 2008b. Comisión Intersecretarial de Cambio Climático: Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012.

Shea, E. L. *et al.*, 2001. Preparing for a Changing Climate: The Potential Consequences of Climate Variability and Change – Pacific Islands. US Global Research Program, East-West Center, Honalulu, Hawaii.

Simpson, M.C., S. Gössling, D. Scott, C.M. Hall, y E. Gladin, 2008. Climate Change, Adaptation and Mitigation in the Tourism Sector: Frameworks, Tools and Practices. UNEP, University of Oxford, UNWTO, WMO. Paris, France.

Stern, N., 2006. The Economics of Climate Change: The Stern Review, Cambridge University Press, Cambridge.

WTO, 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/sustain¬able/climate/brochure.htm.

WTO-WMO-UNEP, 2008. Climate change and tourism. Responding to global change. Madrid, Spain.

Fraga, J., A. P. Sosa y L. Khafash, 2010. La geometría humana del turismo y su relación con el cambio climático en el Caribe mexicano. p. 381-406. 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.

La geometría humana del turismo y su relación con el cambio climático en el Caribe mexicano

Julia Fraga, Ana Pricila Sosa y Leila Khafash

Resumen

Este capítulo trata sobre la relación turismo y cambio climático en una región fuertemente influenciada por su vulnerabilidad a fenómenos hidrometeorológicos y sometida a procesos de erosión costera con fuerte presión del sector turismo, sea en la modalidad de masas o alternativos. Bajo una perspectiva sociológica, y basándose en una serie de trabajos de investigación llevados a cabo en las diferentes zonas del Caribe mexicano abordamos una serie de transformaciones e impactos que rebasan fronteras municipales, regionales y nacionales. Realizamos un recuento de procesos turísticos empezando con el principal polo de atracción (Cancún), sitio y ciudad turística que creció a un ritmo exponencial en los primeros 10 años de vida, y se ralentizo en los siguientes 5 años cuando se dinamizó el corredor Cancún-Tulúm a principios de la década de 1990. Este corredor (Riviera Maya) constituyó un área de actividades náuticas complementarias para Cancún convirtiéndose en un destino alterno al conformar una oferta hotelera y de servicios tan grande como la de Cancún en solamente diez años. Su expansión prosigue hacia el sur del Caribe con la marca Grand Costa Maya. A este fenómeno exponencial le llamamos la geometría humana por su incesante crecimiento urbano, inmobiliario, de transporte y comercial con grandes cambios en el uso del suelo, cuyas actividades están orientadas al ocio, recreación y entretenimiento pero con graves problemas sociales y ambientales. El fenómeno del cambio climático viene a poner en tela de juicio los estilos de vida de las diferentes sociedades y culturas que tendrán que ser modificados a favor del consumo responsable con la naturaleza. Este será la fuerza social del siglo xxi porque engloba la conciencia humana a la desaparición como especie más que lo que despertó a principios de la década de los setentas la teoría de la autodestrucción del turismo.

Introducción

Una grafica elocuente que puede transmitir la metáfora y realidad de la geometría humana[1] en una actividad transversal como es el turismo es la que muestra Velene Smith y Maryann Brent en el libro editado en el año 2001 "Host and Guest Revisited: Tourism issues in the 21st Century (Tourism Dynamics) al mostrar como evolucionaron los viajes (millas por hora) desde hace dos siglos: del carruaje al ferrocarril, automóvil, avión hasta el jet supersónico y los cohetes al espacio (el apolo y el voyager). A esto agregaríamos como evolucionaron las comunicaciones en 40 años desde la primera internet o Arpanet al Ethernet o red de computo hasta la internet sensitiva, celulares desechables y los iphone para llegar a institucionalizar la cultura del "always on" o siempre conectados con los sofisticados programas de twitter, youtube, y facebook entre los más conocidos, una verdadera sociedad de la información (Castells, 1985) como una nueva fase en la evolución de la sociedad[2]. ¿Cuáles son las implicaciones del paso del carruaje al jet y de la PC a la laptop con la internet sensitiva para el tema que nos atañe? ¿Tiene sentido hablar de adaptación al cambio climático cuando ahora más que nunca la humanidad está desplazándose en tiempo record y en tiempo virtual en búsqueda de nuevas experiencias de ocio y recreación? ¿Es posible atrapar estadísticas reales y costos económicos reales que nos informe del estado del turismo mundial o regional, y las implicaciones del cambio climático, sobre todo con el aumento del nivel del mar, huracanes e inundaciones? ¿Cómo podemos reflexionar esta relación para un espacio territorial como el Caribe mexicano?

Este capítulo tuvo que enfrentar dos retos, el primero escribir sobre un tema bastante controvertido en el ámbito político y de los negocios, así como, el académico que implicó la revisión de discursos sobre cambio climático dominado principalmente por dos posturas, la alarmista o pesimista, y la pragmática u optimista, que muchos denominan oportunista[3], el segundo reto

[1] La definición de geometría humana como rama de la matemática es la que se dedica al estudio de las propiedades y de las medidas de las figuras en el espacio o en el plano, en este capítulo titulado la geometría humana en relación con el turismo y el cambio climático es abordado como un problema de conducta o comportamiento humano exponencial, es decir, subsisten ideas centrales y por ende las actitudes y los deseos de los grupos sociales de crecer, multiplicar, rentabilizar, extender, y exfoliar puntos en el espacio físico y social. Por ello, decidimos someter a consideración del lector una reflexión sociológica sin olvidar introducir las cifras cuantitativas en lo espacial (territorios turísticos o destinos turísticos), y en lo demográfico (movilidades y espacialidades) tomado como estudio de caso el Caribe Mexicano. En la palabra geometría humana lo que subyace es el concepto sociológico de la era postmoderna: la tendencia al consumo creciente de espacios y de producción de espacios. En la última década existe una movilización social para repensar nuestros modos y estilos de vida bajo el lema de "consumo responsable" (esta es consecuencia de movilizaciones ante el sobreconsumo que ya se venía palpando desde la década de 1970, ejemplo de ello es el clásico libro de Saénz Díez publicado en 1971 sobre la "civilización del desperdicio").

[2] Más de mil millones de cibernautas en el mundo en el año 2006 y para el 2012 tres de cada 10 personas estarán en internet. En 30 años pasaremos a la web 4.0 previendo una conexión mundial mayor. La última tecnología del transporte (cohetes) implicará en un futuro cercano el llamado turismo espacial.

[3] Para una revisión exhaustiva de las dos posturas sobre la polémica del cambio climático, ver Lawson (2009) y Lysaght (2010).

estuvo relacionado con el turismo como factor económico de la producción y de los servicios o de ambos íntimamente relacionado con el clima y sus impactos [4].

Haciendo alusión a ambas temáticas, aún relacionadas entre sí, se presentan oportunidades de reflexión académica. Ambos retos fueron asumidos desde una perspectiva sociológica. El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) a lo largo de sus informes de evaluación, sobre todo, el cuarto informe (2007), y como bien lo analizan Balairon (2006) y Martín Vide (2006) tuvo que adoptar dicha postura a pesar de no estar dominado o mucho menos representado dicho panel por sociólogos sino por climatólogos, geólogos, y físico químicos, tuvo que admitir la necesidad de un giro epistemológico entre la variabilidad climática y el aumento de la temperatura del planeta debido a la presencia humana como generadora de impactos en una época clave de la historia alterando el clima: la revolución industrial con fuertes emisiones de bióxido de carbono. La evidencia de la presencia humana en alterar el clima fue reconocida en el segundo informe del IPCC de 1995 (Balairon, 2006; Martín Vide, 2006) debido al papel que ha jugado el hombre durante la revolución industrial, periodo denominado la edad de oro del capitalismo, o los últimos 250 años de "progreso" humano. Era industrial que incrementó a 0.66 °C la temperatura media del planeta con la quema de combustibles fósiles. Para los próximos 100 años se espera un aumento de la temperatura de 1.8 a 4 grados sino reducimos las emisiones con graves consecuencias en todos los sectores de la economía humana, y donde México está posicionado entre los 13 primeros países que lo hace altamente vulnerable al cambio climático (Martínez y Fernández, 2004; Lacy y Centro Mario Molina, 2007; Semarnat, 2008 y 2009a; Galindo, 2009).

En cuanto a la actividad turística se refiere, podemos constatar que en la cola de la revolución industrial o los últimos 50 años la "industria turística" se fortaleció como nunca al producir y reproducir un modelo económico ascendente a partir del sector servicios[5] "servir como modelo de negocio desde la postguerra" (Chávez *et al*., 2009), modelo de la economía capitalista avanzada que garantiza a través del turismo la rentabilidad de las inversiones. En estas últimas cinco décadas se abrieron aquellos productos de la naturaleza centrados en los litorales, mares y costas del mundo: mar, playas, montañas y humedales como factores y medios de la producción para ofrecer ocio y entretenimiento que estuvo reservado en un primer momento, a la clase alta o burguesa, pero que inicia en la segunda posguerra la etapa de masificación, sobre todo, en aquellas clases sociales de los países demandantes del ocio y la recreación (Estados

[4] Una postura controvertida sobre la difícil ubicación del turismo en el sector de la economía y como área en discusión del conocimiento científico. Véase Hiernaux (2006), quien señala que es un término en construcción y que la discusión sobre la definición de turismo está abierta aún. Lo señala como un fenómeno de la relación espacio-sociedad. No es ciertamente sólo una actividad económica, sino un hecho social, ambiental, psicológico, antropológico y geográfico. Ver también la amplia discusión en Jafari (2005) donde plantea cuatro plataformas y enfoques del cómo ha evolucionado el concepto y la operatividad del turismo.

[5] Periodo que desde la sociología se conoce como la revolución postindustrial (Bell, 1991), que enfatiza en el papel de la tecnología y los modos de ver el mundo que nos rodea.

Unidos, Inglaterra, Noruega, Islandia, Dinamarca, Francia, Alemania). El periodo "industrial", "fordista" se refiere así al turismo masivo, que convierte en producto de consumo a los viajes turísticos Esta demanda implicó la ingeniería de soporte o una serie de componentes que integrarían el "sistema turístico" con todos los servicios necesarios, incluyendo una amplia infraestructura que albergara las actividades turísticas: marinas, resorts, campos de golf, hoteles, villas, condominios y todo aquello que pudiera estar en contacto con el sol, arena y playa. Este producto de sol y playa sigue siendo el modelo de apuesta en los planes de desarrollo o de política económica nacional (adoptado desde cualquier país del orbe, sean o no pertenecientes a países desarrollados y emergentes incluyendo aquellos del bloque socialista). Aún cuando han surgido modalidades diversas, el turismo de sol y playa sigue siendo el segmento dominante (Jiménez, 2005; Secall *et al*., 2006). El transporte aéreo de bajo coste incremento las movilidades de personas y mercancías en busca de ciudades y destinos turísticos de sol y playa (Según Lawson (2009) se han incrementando exponencialmente el número de ciudades turísticas, en el año 2000 existían treinta de ellas entre las más visitadas por el turismo mundial, y para el año 2007 habían incrementado a mil**).** La construcción de hoteles, condominios y campos de golf aumentaron y por lo tanto, la demanda de energía también. Uno de los principales impactos de este crecimiento turístico es el cambio en el uso del suelo afectando la humedad relativa y absoluta como componente del clima.

Para las economías en desarrollo, la apuesta por este modelo de turismo que altera el cambio del suelo, principalmente los humedales y zonas costeras, sigue predominando como mecanismo para la generación de divisas y creación de empleos; considerándolo como un pasaporte al desarrollo (Kadt, 1991). En pleno siglo XXI el turismo convencional mantiene su predominio frente a las modalidades alternativas, crecientes y dinámicas pero aún minoritarias en inversiones y mercados (en parte por su propia lógica), como el ecoturismo que no es más que pagar para ver y experimentar en la naturaleza, es una fuerza conductora, según Duffy (2008) de la neo liberalización de la naturaleza. Las actividades masivas que algunos autores ubican como postfordistas y globalizadas (Wood, 2004), se expanden aceleradamente en el mundo, como es el caso de los cruceros o resorts flotantes, yatching, y renting de flotas vehiculares de soporte al turismo entre los principales. Sin embargo, no podemos ignorar el empuje de la experiencia que está en debate con los turismos alternativos en los últimos 10 años (Ceballos-Lascurian, 1994; Santana, 2003; Jiménez, 2005), precisamente como reacción ante el modelo convencional del turismo sin respetar el medio ambiente. A pesar de los debates en pro y en contra de todos los modelos alternativos del turismo el siglo XXI tiene que predominar en la correspondencia de aquellas actividades que respeten el medio ambiente y las culturas locales, avanzando al ritmo de los cambios en el gusto y consumo de los demandantes del turismo de naturaleza, aventura, cultura, gastronómico e histórico.

Siendo el turismo una actividad tan extendida, el tema de turismo y cambio climático es prioritario y la principal contribución que dejamos es una reflexión general para futuras investigaciones multidisciplinarias que no solamente generen datos sino propuestas alternativas de turismo y desarrollo humano centrado en mejorar la calidad de vida de amplios sectores socia-

les marginados y conservar los ecosistemas acuáticos y terrestres en equilibrio con los inversionistas, gobiernos y ciudadanos. Este trabajo presenta resultados generales de la experiencia del Caribe mexicano, bajo cuyo modelo masivo implica un uso intensivo de los recursos costeros; la apropiación del litoral por parte de las grandes cadenas hoteleras y promueve una inmigración acelerada con consecuencias para el medio ambiente y para la calidad de vida de las comunidades. Estas características implican la continuación de las condiciones que han propiciado el cambio climático y son opuestas a las recomendaciones para reducir la vulnerabilidad de la infraestructura y poblaciones ante los efectos del cambio climático. El reto colectivo será el cómo afrontar con metas y acciones el principal eje problema de la relación turismo y cambio climático: la ausencia de planeación ambiental transversal.

Los materiales y métodos utilizados para este capítulo de reflexión sobre la diada cambio climático y turismo fueron las entrevistas realizadas en los meses de agosto, del 2007 a 2010 a diferentes actores sociales en el Caribe mexicano (cadenas hoteleras, gerentes de home port, gerentes de parqués temáticos, dueños de hoteles boutiques, representantes de gobierno y ciudadanos), haciendo en total 120 entrevistas semiestructuradas, y como parte de cursos prácticos sobre medio ambiente y desarrollo impartido en la Universidad Iberoamericana, Campus Puebla, además de trabajo de campo con el equipo de investigación que dirijo desde el CINVESTAV. A la par de estos materiales revisamos bibliografía básica y puesta a disposición mediante grupos en red coordinado por EPOMEX-UAC. Revisamos documentos de trabajo de la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Cotejamos insumos bibliográficos de bibliotecas de ciencias sociales en España en el marco del año sabático financiado por el CONACYT, y en síntesis basamos nuestra reflexión sobre esta temática en el trabajo de investigación actual y previa que tenemos en el Caribe mexicano.

Turismo y cambio climático: breve contexto del escenario internacional y nacional

Para el caso que nos atañe dos conferencias internacionales (2003 en Djerba, Túnez y 2007 en Davos, Suiza) exhortaron a los gobiernos a subscribir acuerdos internacionales e incitaron al sector turístico a utilizar energías eficientes y tecnologías limpias, en síntesis un comienzo hacia la economía baja en carbono con el lema del ahorro en energía. La revista de la Facultad de Derecho de la UNAM tiene un artículo sobre la temática donde se destaca la existencia de acuerdos internacionales que adoptan las naciones como es el caso de México pero sin haber avanzado mucho en el plano de nuestra constitución para normar las actividades (IIJ-UNAM, 2008).

En este escenario internacional que hace eco en el nacional se reconoce que el clima es clave para el turismo y por lo tanto, el sector deberá responder de manera rápida al avance del cambio climático a través de la mitigación de la emisión de gases efecto invernadero resultantes del transporte y el alojamiento.

En la declaración de Davos (2008), se reconoce que el sector turismo aporta el 5% de las emisiones de bióxido de carbono, pero en vista de ser una actividad económica transversal el

transporte aéreo genera el 40% de las emisiones de dióxido de carbono, el 32% lo genera el transporte terrestre en automóvil, el 21% el hospedaje y solamente el 4% otras actividades. Esto nos da una idea de las implicaciones que acarrea el turismo de internación en los países específicamente como en el caso de México posicionado en el decimo lugar de exportador de este sector al recibir 22 millones de turistas al año (Asociación de Hoteles de Cancún, 2008).

Los efectos del cambio climático implicará la reducción de periodos vacacionales de verano e invierno que obligaran a redistribuir turistas por áreas geográficas.

La misma declaración de Davos que resultó un hito en el tema exhortó a la industria del turismo y a los centros con destino de playa a proteger el litoral costero (tanto humedales como arrecifes de coral). Igualmente reconoció que el turismo deberá adaptarse a los cambios del clima, por lo que invita a los gobiernos a incluir este tema en el cumplimiento de los compromisos relacionados con el cambio climático y bajo el principio de responsabilidades comunes pero diferenciadas (por la mitigación de gases de efecto invernadero que cada país deberá resolver).

A nivel internacional resalta la publicación de la NOAA (2010) al publicar el manual de "Adapting to climate change: A Planning Guide for State Coastal Managers" donde enfatiza los pasos para alcanzar metas, identificar acciones, evaluar, seleccionar y priorizar acciones, así como, escribir dichos planes de acción para adaptarse al cambio climático en las zonas costeras.

Los principales efectos del cambio climático sobre los destinos turísticos, su competitividad y su sustentabilidad están referidos según Lardeau de la siguiente manera: el cambio climático se acompaña de un incremento en eventos climáticos extremos (huracanes, sequias, olas de calor), que pueden inhabilitar una región durante una temporada entera. El clima determina la duración y la calidad de las temporadas turísticas e influye decisivamente en la elección de los destinos y el gasto turístico. El clima afecta a diversos recursos ambientales que son destacados atractivos turísticos, como la presencia de la nieve, el comportamiento y la diversidad biológica de la flora y fauna silvestre y el nivel y calidad del agua. El clima ejerce una importante influencia en las condiciones ambientales que pueden ahuyentar a los turistas como enfermedades contagiosas, incendios forestales, plagas de insectos o transmitidas por el agua (por ejemplo, de medusas o floraciones de algas) (Lardeau, 2009)

No cabe duda que como expresaron Fayos Solá y Jafari, 2009 el turismo es vector y víctima del cambio climático, y precisamente uno de los problemas eje en la industria del turismo es el consumo de energía (mientras más alta es la categoría del hotel mayor será el consumo de energía térmica y eléctrica y por ende mayor el costo operativo de estas empresas). Por ello, se aboga a que la industria marche hacia el potencial de ahorro de energía en la mejora de los sistemas de aire acondicionado y calefacción, inversión en sistemas inteligentes de administración de energía, aislamientos, calentamiento e iluminación.

¿Cuál es la situación que encontramos en el Caribe mexicano en tanto sector económico y con seis eventos hidrometeorológicos –huracanes- de intensidad que golpearon la región entre 1988 y 2010?

Figura 1. Municipios de Quintana Roo y principales destinos turísticos.

El crecimiento exponencial del Caribe mexicano: el polo Cancún y la visión al 2025

Desde la década de 1970, cinco son las regiones y espacios que entraron en la economía mexicana centrada en el turismo bajo la política de promoción y diseño de centros vacacionales conocido como CIP (Centros Integralmente Planeados): Cancún, Ixtapa, Huatulco, Los Cabos y Loreto). En el caso que nos ocupa en el Caribe mexicano, Cancún pasó a ser un destino maduro y en franco declive a treinta y cinco años de su creación. En 2010 Cancún tenía 28 500 cuartos de hotel concentrados en una zona hotelera de 17 kilómetros de playas y frágiles dunas bordeadas de la laguna nichupté (MBJ, 2005). La gringolandia (Torres y Momsem, 2005) de los mexicanos y el Miami Beach de los norteamericanos a menos de dos horas en vuelos charters de la Florida o de Filadelfia, o el paraíso de los excesos de los spring breakers, Cancún "*ya pasó de moda*", quedo como Acapulco para los chilangos, y Cancún para los mexicanos (touroperador en aeropuerto de Cancún, octubre de 2009), "*se abarato el destino*", y se quedo para segundas residencias con las torres residenciales que se construyen a pasos agigantados después del impacto del huracán "Wilma" fuerza de la naturaleza que impactó al destino vacacional más conocido del mundo en septiembre del 2005. Los proyectos inmobiliarios y residenciales para Cancún, Riviera Cancún, Playa Mujeres, Puerto Cancún, Cozumel, Isla Mujeres, Riviera Maya y Costa Maya son exorbitantes con una clara presencia de capital español (Grupo Mall, OHL, Hansa entre otras), y con la etiqueta de protección ambiental que según las promociones de preventa de los desarrollos tienen el cuidado del medioambiente.

Los factores que frenaron el avance acelerado de la construcción de marinas, residencias, centros comerciales y campos de golf fueron: la crisis económica mundial y el problema de salud por la "Influenza" desde el 2008. Estos factores han propiciado que los condominios y villas construidas están como elefantes blancos esperando ser reactivados e inversionistas persistentes que temen a una burbuja inmobiliaria. Esto demuestra que el modelo turístico hotelero comienza a ceder al modelo residencial un poco antes del huracán pero mucho más acelerado después de este fenómeno meteorológico.

Si hacemos un recuento somero, el Caribe mexicano comprendía solamente al polo Cancún desde 1974 a 1994. Cuando abrieron los primeros hoteles en la zona hotelera en 1974 (El Playa Blanca y el Cancún Caribe), el éxito fue tal que al paso de los años las construcciones de cadenas hoteleras transnacionales, después de 1987, como lo son el Gran Meliá, la cadena Oasis, Grand Solaris y la cadena Barceló entre otras fueron aumentando con sus respectivas categorías de servicios predominando el de gran clase y de 5 y 4 estrellas.

Cancún creció a un ritmo exponencial en los primeros 10 años de vida, y se ralentizo en los siguientes 5 años cuando se dinamizó el corredor Cancún-Tulúm con el Fideicomiso de la Riviera Maya creado en 1987. El Corredor Cancún-Tulúm constituyó un área de actividades náuticas complementarias para Cancún hasta la década de los noventas, cuando, ya como Riviera Maya, se convirtió en un destino alterno y con una oferta hotelera y de servicios tan grande como la de Cancún en solamente diez años. Como expresó un funcionario de la secretaria de turismo, "*Cancún es un destino joven con síntoma de viejo*" (Empleado de Sedetur, 2010).

El gemelo turístico, Playa del Carmen, la capital de la Riviera Maya, una ciudad turística que crece a un 20% anual a partir del año 2000 a 2010, y que "*por su propio bien debe frenar su ritmo de construcción*" (informante de Ayuntamiento de Solidaridad, 2010), no parece frenar su ritmo de crecimiento. Si bien la crisis amortiguó un poco el ritmo de la construcción, este empieza a repuntar para el verano del 2009 con la llegada de más infraestructura urbana y de servicios. La morfología social y urbana de las principales ciudades turísticas del Caribe mexicano (Puerto Morelos, Playa del Carmen, Tulum) está en constante transformación, por ejemplo, en Playa del Carmen cada vez encontramos más concecionarias de autos desde norteamericanas (Ford, Cheverolet), Japonesas (Toyota, Honda; Mitsubichi) e Italianas (Fiat), puentes viales, cadenas de supermercados nacionales y trasnacionales, bancos comerciales, franquicias reconocidas a nivel mundial desde restaurantes chinos, italianos, mexicanos, hoteles de todos los diseños y categorías, rentadoras de autos, y en menor medida escuelas, farmacias, hospitales, iglesias, cementerios y parques públicos[6].

La geometría humana exponencial a través del turismo lo expone un funcionario de la siguiente manera: *"lo que Cancún construyó en hoteles en 35 años, la Riviera lo ha hecho en 10 años al tener actualmente 36 mil cuartos de hotel"* (entrevista a Sedetur, 2010). El ritmo de crecimiento de la Riviera Maya es tres veces mayor que el de Cancún, al pasar a tener 250 mil habitantes en menos de 15 años, mientras en Cancún los 800 mil habitantes los acogió en 30 años (*cf.* Campos, 2004).

La vorágine de Cancún de los años 1974 a 1987, lo es ahora Playa del Carmen y Tulum después del año 2000 al 2010 con el proyecto de construcción del aeropuerto que está aprobado y cercado el territorio (*ibid*). En el sur del estado quintanarroense Mahajual está creciendo a ritmos impresionantes con la marca del Grand Costa Maya al reinaugurar el home port "Puerto Maya" (diciembre del 2008) a un año del impacto del huracán "Dean"[7]. En 2010 Mahajual presentaba una morfología habitacional mayor que hace dos años al construir corredores comerciales a la salida del muelle de cruceros, y 3 mil casas de interés social para los trabajadores

[6] Entre las dicotomías de la abundancia y la escasez de hospedaje, los trabajadores viven a expensas de los "cuartistas" o dueños de casas que rentan cuartos. En Playa del Carmen resulta lo más caro para un empleado de un hotel, restaurant o negocio, es preferible muchas veces viajar diariamente una hora y media o dos horas a Cancún (convirtiéndose en ciudad dormitorio de la Riviera Maya), para llegar a dormir y regresarse de nuevo al trabajo. Son ciudades que no están preparadas para el crecimiento exponencial del turismo, son ciudades en la que no existen ni cementerios donde llevar a sus muertos, son ciudades que enfrentan lo ostentoso en los bordes de playa con los resorts y la precariedad extrema detrás de los matorrales y selva mediana apenas atravesando los ejes carreteros de acceso. Son ciudades cuyas altas tasas de suicidio nadie los considera, ni los explica simplemente causan asombro y al momento se olvida, o pueden ser un buen pretexto para cadenas empresariales contratando a un psicólogo con el que pueden justificar un trabajo social bajo la etiqueta de responsabilidad social empresarial.

[7] Un aspecto interesante a reflexionar es lo que se derivó de la entrevista al gerente del Home Port en el año 2008 relacionado con el tema ambiental y la necesidad de reconstruir el muelle de cruceros: "*El apoyo federal para el muelle fue "Fast Track" nada de estudio de impacto ambiental porque había que acelerar la reconstrucción a pasos gigantes y el gobierno prometió que las secretarías encargadas del ambiente no podían poner peros...en eso consistió la ayuda del gobierno a la empresa privada*".

asociados o no al home port. Más de 250 arribos de cruceros al año son los promocionales para garantizar la renta de los locales comerciales en agosto de 2010. En este sentido, el Caribe mexicano cobra su cabal dimensión en los 865 kilómetros de litorales con la apertura del home port de Mahajual en el año 2001 fecha en la que empieza a recibir cruceros dentro de la ruta de las grandes empresas "carnival" y "Royal Caribbean". Esta mega firma de cruceros apostó a una proeza de construcción: el "Oasis of the Seas" de 1 187 metros de longitud, 6 296 pasajeros, y 2 165 tripulantes de 75 países del mundo, su construcción duró cinco años en Finlandia y fue puesto en circulación oceánica el 5 de diciembre del 2009 (Servin, 2010). El "Oasis of the seas" toco Puerta Maya en Mahajual en el año 2010. Es así que Cozumel, el primer destino de cruceros del Caribe y de logística mundial, empieza a perder mercado a partir de los impactos de los huracanes que obliga a la búsqueda de otros sitios y divide su participación estadística al llevarse Mahajual la cifra de un millón de visitantes de los 4 millones anuales que recibe Quintana Roo y 12 millones de visitantes compartidos en los otros segmentos del mercado turístico nacional. El modelo de cruceros es también masivo porque implica recibir a miles de personas al mismo tiempo en algunas horas del día, con visitantes poco preocupados por el entorno y la cultura del lugar (Wood, 2004).

Mahajual recibía un premio por la llegada de un millón de visitantes el mismo año que golpeo el sitio el huracán "Dean" el 13 de agosto del 2007 (Gerente del Home Port, entrevista en agosto del 2008). Sin embargo, gracias al huracán "Dean" se logró lo que las autoridades no podían hacer: *"limpiar o sanear la zona de playa pública del pueblo de cientos de vendedores ambulantes y ofertadores de servicios de lanchas, un verdadero canibalismo y especulación al turista se había desatado"* (Gerente Home Port, 2008), "*gracias al Dean logramos que aquellos que habían venido en hordas desde Cancún después que los azotó el huracán "Wilma" en busca de trabajo regresaran de donde vinieron, incluyendo a los empleados taxistas"* (empleado de Majahual, 2008). Otra de las oportunidades que brindo el huracán además de reorganización del espacio físico y social fue la búsqueda de materiales resilientes al oleaje y viento, por ejemplo, permitió reconstruir el muelle de Mahajual con una nueva ingeniería que al prolongar 140 metros de longitud del original en cada 2 metros colocaron un filtro que permitirá pasar el agua del oleaje y efecto rebote que contenga la presión del agua sobre la estructura. En suma, para Mahajual el huracán fue ventajoso *"porque frenó el acelerado crecimiento al que se habían abocado los empresarios de la zona, no había tiempo para reflexionar, y eso nos puso a pensar mejor"* (entrevista gerente, 2008).

No obstante este panorama de ventajas y desventajas ante fenómenos meteorológicos en el Caribe, ¿hacia dónde está proyectado el Caribe mexicano en Visión al 2025? En el estudio de gran visión de Quintana Roo para el año 2025 realizado por Sectur y el gobierno estatal y publicado en el año 2005 la geometría humana del turismo está planteada de la siguiente manera:

1. Relanzamiento de Cancún: volver a dar a conocer los "mil rostros de Cancún", condición del gran éxito a futuro de todo el destino con un programa de mercadotecnia especial, oferta y metas de múltiples actores: expertos en bodas, asociados náuticos, cámara de

restaurantes, bares y discotecas, operadores de spas, asociaciones de plazas comerciales, operadores de excursiones y parques ecotúristicos, los agentes de viajes y los expertos en cultura maya, los propietarios y operadores constructores de campos de golf y los directores de los pequeños hoteles urbanos.

2. Diseñar nuevos sistemas de experiencias porque en Europa no se busca "paquetes" sino emociones y conocimiento del destino, para que cada viaje sea una experiencia distinta y singular (turismo postfordista, según Khafash, 2009). Esta tendencia genera nuevos y potentes mercados como el de aventuras, naturaleza, historia, amor, salud y entretenimiento (*ibid*).
3. El Caribe mexicano quiere ir más allá del mundo turístico dividido en dos: a) aquellas empresas o destinos que apuestan a la personalización de la experiencia turística haciéndose acreedores a un precio "Premium" y b) aquellos que son víctimas de los paquetes para un solo nicho, y por lo tanto, tienen que aceptar que nunca controlaran el precio del mercado.
4. Cancún hacia una sola imagen de "Caribe mexicano", es decir, Cancún de monodestino a multidestino con recursos naturales (playas, islas, bahías, cenotes, ríos, lagunas, selvas, humedales y flora y fauna), recursos históricos (mundo maya precolombino, mundo maya colonial y mundo maya actual con su música, moda, costumbres de una extraordinaria identidad con atractivos únicos: el carácter del mexicano más hospitalario del país unido al carácter del inmigrante que viene al Caribe de todas las regiones del país en "un proceso de selección natural" que hace del recién llegado a estas tierras "un hombre que es capaz de renunciar a sus raíces para construirse con base en el esfuerzo para un futuro mejor" (*sic*).

El proyecto de gran visión para el 2025 del Caribe mexicano por zonas o subdestinos es resumido en la tabla 1.

Esta visión geométrica del turismo en el Caribe mexicano es la fusión del modelo español[8] y el norteamericano con predominancia del primero después del huracán Wilma: una urbanización compulsiva del litoral, un modelo económico con fuerte presión del territorio, una excesiva litoralización, una cultura de la subvención por parte del gobierno federal a las grandes cadenas hoteleras y de la construcción para obras de infraestructura, un modelo de especulación de la tierra con el circulo vicioso de vender y reducir costes, ausencia de gestores en manejo de zona costera, una presión antrópica del espacio litoral, una sobreoferta de segundas residencias y un aumento de ciudades turísticas con crecimiento desordenado (Puerto Morelos, Puerto Aventuras, Playa del Carmen, Tulum, Akumal, Mahajual).

[8] El modelo español al que hacemos referencia fue resumido de un taller internacional en la que participó la primera autora entre el 2 y 7 de octubre de 2009 en la Universidad de Valencia, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España sobre "Revisitando la Gestión Integrada de Zonas Costeras". El modelo español para la ocupación del espacio turístico fue un modelo impuesto por "Europa" para sacarlo del subdesarrollo con un amplio sector primario, sobre todo, después del Franquismo (*cf.* Álvarez *et al.*, 2004).

Tabla 1. Proyecto de gran visión 20125 del Caribe mexicano.

Zona o subdestino	Variables proyectadas
El Norte: región de los peces y las aves: Punta Sam, Yumbalám, Holbox, Solferino, Laguna Konil, Yalahau, Isla Contoy, Isla Blanca, Laguna Chacmochuc, Chiquilá, Cabo Catoche.	Atractivo fundamental de naturaleza.
Punta Sam-Cancún: El gran centro turístico del Caribe.	10 mil cuartos de hotel, 100 mil habitantes, Foco de dispersión para todo Quintana Roo. Zona conurbanada de 40 mil cuartos con 900 mil habitantes.
Isla Mujeres: el rincón de las artes y la gastronomía.	Hoteles boutiques.
Isla de Cozumel: la isla del mundo submarino.	Torres condominales y villas.
Riviera Maya.	La región del arrecife y de los mayas vivos.
La provincia maya.	El Quintana Roo colonial y el mundo de los mayas vivos (Siankaan y el triangulo que contiene los vestigios más importantes de la guerra de castas, que va de Tulúm a Coba, Valladolid y a Carrillo Puerto pasando por Chemax, Tihosuco y Tixcacal Guardia ("focos de resistencia maya").
Costa Maya: La región de las aventuras marinas Con Mahajual como urbe, Xcalak como parque marino y Punta Herrero, Punta Herradura, Xahuaxol.	Campos de golf, villas, condominios, Home port.
Chetumal-Calakmul: El gran paseo de los dioses del Mayab.	Arqueturismo, grupo Xcaret, concepto de alojamiento turístico de enorme calidad. Aldeas de carácter maya, palafitos.

Fuente: Documento Gran Visión Quintana Roo, 2025, Gobierno del Estado de Quintana Roo.

El mercado residencial turístico está obligando a los inversionistas españoles, norteamericanos y mexicanos a considerar el mercado de vivienda para trabajadores. Puerta Maya cerca de Puerto Aventuras es una clara muestra de urbanizaciones con casas habitacionales para trabajadores que no miden más de 24 m^2 para cinco o 10 trabajadores hacinados en su interior (diez mil viviendas, proyectadas), muchas veces rodeados estos fraccionamientos por campos de golf de 18 hoyos con una fuerte demanda de agua provenientes de los cenotes. La tendencia será el mismo para costa maya antes del 2025 con 6 500 cuartos de hotel (en 2006 solamente tenía 179 cuartos donde Mahajual tenía 68), y tres campos de golf (EQUIPAR, 2007). Los terrenos en playa cada vez más escasos, y el estilo que conlleva el golf (impacto visual con el océano), hacen una mezcla única en este tipo de desarrollos donde el agua es el elemento vital.

Los desarrollos con campos de golf son el segmento que más crece en México como lo hizo igualmente España[9], y por ende el Caribe Mexicano no es la excepción. Las firmas de los golfistas (Norman, Nicklaus y Von Hagge) pueden costar entre 1 y 3 millones de dólares como

[9] Según F. Babinger (en Córdoba, 2008), España solamente tenía 2 campos en 1860 aumentando a 120 en 1990, a 220 campos en el año 2000 y en 2008 había ya 341 (63% ubicados en el mediterráneo español).

mínimo y representan un valor agregado a la hora de posicionar los desarrollos (RealState, 2004). El Caribe mexicano tiene 12 campos de golf (5 en Cancún con el Pok Ta Pok, Gran Melía. Hilton, Grand Oasis, Moon Palace), y los restantes en Playa Mujeres al norte de Cancún, Cozumel, Playacar en Playa del Carmen, Mayan Palace, Puerto Aventuras, y los más recientes el Mayakobá y el Bahía Príncipe construidos por OHL, empresa española que adquirió 1 000 hectáreas para desarrollar el Mayakobá. El Grupo Mayan le apostó fuerte a la zona con el esquema inmobiliario, siempre respaldando el golf al turismo (RealState, 2004 y 2008). En el 2025 se está apostando grandes desarrollos con golf en Puerto Cancún donde se tiene prevista una inversión acumulada superior a 1 115 millones de dólares y en Riviera Cancún (al sur del aeropuerto colindante con Puerto Morelos) donde se contempla invertir 372 millones de dólares, es de esta manera que el 82% de los campos de golf que se hacen en el mundo están justificados por algún tipo de desarrollo de bienes raíces (*ibid*).

En esta geometría humana del turismo existe en el modelo la proliferación de parques temáticos[10] que en el caso del Caribe méxicano a la cabeza están Xcaret, Xel Há y recientemente en 2009 abrió sus puertas "Xplor". Esto implica que existe un claro indicio de la demanda de entretenimiento y ocio desde Cancún para diversificar el destino con productos e imágenes basados en la explotación de la naturaleza a través de cenotes, caletas y reservas ecológicas. Estos tres productos tienen al año un millón 800 mil turistas provenientes de paises emisores de Estados Unidos, Europa (turismo de invierno) y turistas nacionales (turismo de verano). Estos parques ocupan extensiones mayores de selva baja y mediana, dunas, manglares concesionados (sinónimo de propiedad privada). El éxito de estos parques ha llevado a la apertura de 12 parques temáticos en el norte y la Riviera Maya cuya característica principal es la apertura de cenotes y cavernas de aguas subterráneas. Xel-Há es el parque que mayor imagen y marca presenta de sustentabilidad (Khafash, 2009).

Las imágenes y productos del modelo turístico en el Caribe mexicano están proyectados al mundo a través de una amplia apuesta a la publicidad, y es allí donde el gobierno mexicano a través de la Secretaría de Turismo invierte un porcentaje considerable para atraer a los visitantes. Las tablas 2, 3 y 5 refleja la cantidad de turistas que visitaron los principales sitios del Caribe mexicano. El número de establecimientos de hotel, motel de todas las categorías de ocupación también va en constante aumento. Los principales sitios de la Riviera Maya son cada vez más demandados no solamente por el turismo internacional (principalmente europeo), sino también el nacional. Esto refleja una clara aportación al Producto Interno Bruto, sobre todo, el sector comercio y servicios de alojamiento, bebidas y alimentos, así como, transporte, almacenamiento y servicios inmobiliarios y de alquiler (ver tabla 4).

En este crecimiento exponencial o geometría humana en el espacio físico y social surge una interrogante ¿cuáles implicaciones conlleva este crecimiento exponencial del turismo en términos de las emisiones de bióxido de carbono cuando el transporte es la condición necesaria para la movilidad de los turistas utilizando con un mayor porcentaje los flujos aéreos?

[10]Para mayor detalle de este segmento de turismo *cf.* Clavé y González, 2007.

Tabla 2. Principales indicadores de la ocupación en hoteles y moteles de los centros turísticos según residencia 2008.

Centro turístico Indicador	Total
Akumal	
Llegada de turistas	273 666
Turistas noche (noches)	2 059 888
Cancún	
Llegada de turistas	3 265 591
Turistas noche (noches)	15 255 768
Chetumal	
Llegada de turistas	475 152
Turistas noche (noches)	518 344
Cozumel	
Llegada de turistas	924 451
Turistas noche (noches)	1 816 697
Isla Mujeres	
Llegada de turistas	144 689
Turistas noche (noches)	343 597
Playacar	
Llegada de turistas	563 111
Turistas noche (noches)	3 636 739
Playa del Carmen	
Llegada de turistas	577 315
Turistas noche (noches)	2 999 673

Fuente: Sector. Monitoreo Data Tur. (http://datatur.sectur.ob.mx) (16 marzo 2009)

El crecimiento exponencial del transporte, principal emisor de CO_2

Villaseñor (2006) enfatiza que uno de los sectores con mayor crecimiento en el Caribe mexicano y en particular en la Riviera Maya es el transporte. No se concibe el turismo sin los tres factores que fortalecen la industria sin chimeneas: la accesibilidad, el transporte y la hospitalidad. El Caribe mexicano desde los años 1970 fue una franja inhóspita al que solamente se podía llegar abriendo brechas y caminos desde la carretera Valladolid (en Yucatán) hacia Cancún en un tramo de 147 kilómetros de longitud. De Cancún a Tulum muchos de los primeros trabajadores de los hoteles de Cancún deseosos de conocer más allá del aeropuerto fueron explorando sitios hasta la caleta de Xcaret donde solamente llegaban mediante una brecha angosta sin pavimentar, apenas era el año 1983. Al centro del Caribe (Playa del Carmen, Akumal y Tulum) se llegaba desde la brecha angosta que comunicaba la zona arqueológica y el poblado de Cobá. Con el crecimiento de Cancún y los deseos de conocer Cozumel atravesando Puerto Morelos o aventurándose hasta Playa del Carmen, puerto con escasos 250 habitantes, la mayoría pesca-

Tabla 3. Establecimientos de hospedaje registrados por centro turístico según categoría turística del establecimiento al 31 de diciembre de 2008.

Centro turístico	Total
Total	807
Bacalar	15
Cancún	145
Chetumal	68
Chiquilá	1
Cozumel	51
Felipe Carrillo Puerto	8
Holbox	26
Ignacio Zaragoza	1
Isla Mujeres	68
José María Morelos	7
Kantunilkin	8
Kohunlich	1
Mahahual	37
Puerto Morelos	21
Riviera Maya	350

Fuente: Secretaría de Turismo del Gobierno del Estado, Dirección de Planeación y Desarrollo Turístico.

Tabla 4. Producto Interno Bruto por sector de actividad económica 2007 P/ (%).

Sector	%
Comercio	17.2
Transportes, correos y almacenamiento	8.7
Servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles	8.8
Servicios profesionales, científicos y técnicos	3.3
Servicios de esparcimiento culturales y deportivos, y otros servicios recreativos	1.0
Servicio de alojamiento temporal y preparación de alimentos y bebidas	19.5

Fuente: *ibid* (no todos los sectores están mencionados).

Tabla 5. Pasajeros atendidos por vía marítima por puerto según clase de servicio 2008.

Puerto	Total	Cruceros a/	Transportes a/	De ruta b/
Total	14 683 922	2 684 436	887 254	11 112 232
Cancún	182	182	0	0
Isla Mujeres	2 983 136	0	221 736	2 761 400
Mahahual	25 002	25 002	0	0
Playa del Carmen	2 810 765	16 049	0	2 794 716
Puerto Cozumel	5 586 040	2 569 433	221 891	2 794 716
Puerto Juárez	2 761 400	0	0	2 761 400
Puerto Morelos	0	0	0	0
Punta Sam	221 736	0	221 736	0
Punta Venado	295 661	73 770	221 891	

a/ Se refiere a pasajeros transportados en embarcaciones de servicio público con rutas y horarios establecidos.
b/ Se refiere a los pasajeros que desembarcan como destino intermedio.
Fuente: Administración Portuaria Integral de Quintana Roo, S.A. de C.V. Coordinación de Planeación y Estadística.

dores concentrados en la pesca comercial de langosta y escama se llegaba motivado por el espíritu aventurero bordeando las dunas, playas y rocas con una exuberante vegetación. Las Islas (Mujeres y Cozumel) desde finales de la década de 1950 estaban dedicadas a recibir aquellos viajeros en busca del buceo y el esnórquel. Para ello, se contaba con una pista de aterrizaje o pequeño aeropuerto que comunicaba Miami o Mérida, que con el turismo arqueológico de los años cincuentas comenzaba despuntar hacia la diversificación de espacios de ocio.

La inauguración de la autopista Mérida-Cancún en 1993 permitió la afluencia de más turismo hacia Cancún y proveer a la ciudad naciente de bienes de consumo. El aeropuerto internacional de Cancún inaugurado en 1975 recibió en el año 2008 alrededor de 58 098 vuelos donde 25 027 fueron vuelos nacionales y 33 071 fueron vuelos internacionales en un poco más de 10 líneas áreas que poseen el mayor número de operaciones y transportan al mayor número de personas (Boletín Turístico Cancún, 2008) ¿Qué implicaciones tiene el aumento del destino turístico y por consiguiente el aumento en el transporte aéreo y terrestre para enfrentar el cambio climático? Mientras Europa y Norteamérica experimentan con autos híbridos, eléctricos y de hidrógeno, en México el transporte sigue siendo obsoleto (quema de mayor combustible con plomo, subsidio a la gasolina), y apenas en 2009 el gobierno mexicano puso a disposición del público consumidor una página electrónica con información detallada de las características de la mayoría de los autos comerciales para realizar una compra informada sobre el nivel de emisión de carbono que genera cada auto (Semarnat, 2009b). Mientras en España el negocio del renting aumenta vertiginosamente al 20% anual donde el sector turismo incrementa su aportación como segmento y se vela de que las concesionarias productoras de autos tengan los límites permisibles de emisión de carbono (173 g/km), en México apenas se piensa en dicha

regulación (la ausencia de esto es el principal reto para la mitigación del cambio climático), pero todavía está muy lejos la regulación del mercado del producto con estándares internacionales de emisión de carbono, y concientizar al consumidor del problema de las emisiones. Además de incentivos a la innovación, una agenda y programa de adaptación ante este público consumidor será prioritario porque como señalamos arriba el transporte es el eje de la industria turística y por ende de las mayores emisiones de bióxido de carbono.

Para el caso del Caribe existe una sola vía (la carretera federal 307) que comunica Cancún de su capital, Chetumal a lo largo de 388 kilómetros de distancia, la congestión y crecimiento de la Riviera Maya ha saturado estos espacios viales y aunque se están construyendo puentes en la principales entradas de las ciudades implica repensar vías paralelas de tráfico. Una opción que los coordinadores de programas urbanos del municipio de Benito Juárez y Solidaridad expusieron en nuestras entrevistas es la "*necesidad de un tren de pasajeros que recorra Cancún hacia Tulum*" (directores planes urbanos, 2010). Un programa de transporte público será necesario como medida de mitigación al cambio climático en el Caribe mexicano. Por consiguiente se deben tomar medidas intensivas para reducir las emisiones en el transporte, residencial y comercial. Reordenar el crecimiento urbano, el transporte y el crecimiento poblacional será sumamente prioritario. Quintana Roo tiene 8 Programas de Ordenamiento Territorial y Ecológico, será necesario evaluarlo a la luz de este debate.

El crecimiento social positivo o exponencial a través de los flujos migratorios y necesidades de vivienda y servicios para los trabajadores

Arriba mencionábamos que Playa del Carmen crece a un 20% anual, más que cualquier otro país de los 27 que componen América Latina y el Caribe (entrevista Arq. Vázquez, Playa del Carmen, 2010). A Playa del Carmen llegan gente de todo tipo y de todas partes, llegan a probar suerte en la construcción, aunque "*los "Chapitas" (Chiapanecos) son los elegidos por los maestros constructores e ingenieros porque trabajan por cualquier precio*" (entrevista empleada supermercado, 2010). *"A Playa del Carmen llegan todo tipo de gente, y eso es ya el problema principal de Playa porque los que vivíamos antes aquí*" (entrevista Italianos dueños hotel boutique, 2010), estábamos por la tranquilidad del lugar. Ahora la colonia Colosio es el nido de los trabajadores y la Quinta Avenida es el corredor de los turistas de todas las nacionalidades que ahora se forman bajo "*clanes de raza*" (italianos con italianos, colombianos con colombianos) (dueña de hotel boutique, 2010).

Campos señalaba en 2004, que Playa del Carmen creció a un ritmo de 5% anual antes de 1994, lo que significa que se cuadriplicado la tasa de crecimiento social o la entrada de gente que supera el crecimiento natural de la población. Al observar las pirámides de población de las principales ciudades turísticas están son largamente amplias en las edades de 14 a 39 años de edad en ambos sexos (con más del 60% del total), lo que es claramente un indicador de la oferta de empleo de la zona o la demanda de trabajadores, que en este caso, se presenta en la

industria de la construcción. Sin embargo, la reciente crisis mundial de finales del 2008 está todavía recuperándose, y no es hasta el verano e invierno de 2010 que se espera un repunte en construcción y dinamismo del sector. Un amplio sector de trabajadores migrantes regresó a los lugares de origen para subsistir del campo, o los empleos informales. Las consecuencias de este proceso pendular y estacional de los trabajadores migrantes del sector turismo o la migración campo-ciudad turística aún no están abordadas. Se estima que las consecuencias de impacto social son aún mayores tanto en el lugar de origen como de atracción, y esto es un esquema necesario para cualquier análisis de adaptación y mitigación al cambio climático. Crear una mayor conciencia pública acerca del cambio climático y cómo afecta a las costas será tarea prioritaria. Por los momentos, la Semarnat (2009b) está difundiendo material impreso y en web para esta conciencia pública de nuestras acciones (calculadora mexicana en relación con nuestros estilos de vida y por ende de consumo). Mecanismos de difusión a todos los niveles son la prioridad.

Lecciones aprendidas

El tema del turismo y el cambio climático está plasmado en la declaración de Davos (2008) y en otros documentos internacionales y prevalecen como metalenguaje dentro de la postura optimista para irse preparando en los dos frentes del fenómeno del cambio climático: la adaptación y la mitigación. En el caso del Caribe mexicano existen algunos estudios que relacionan el turismo con el cambio climático (Sosa en esta publicación, p. 361-380) a partir de las opiniones de un grupo de prestadores de servicio impactados por el huracán "Wilma" en 2005. Las posturas oficiales e institucionalizadas desde la Semarnat y otras instituciones (Galindo, 2009; Gay, 2010) señalan varias posturas entre ellas el eje económico centrado en costo/beneficio de la acción o inacción ante este fenómeno. Sin embargo, se pretende asignar costes a un sector transversal que escapa de las manos a todo tipo de gestores y actores, incluyendo a los centros especializados de monitoreo estadístico como el INEGI. Necesitamos a través de los datos e información estadística confrontar las etapas de crecimiento económico del sector, sobre todo, el sector público y privado y la ausencia de costes asignados al deterioro de los recursos hídricos o acuáticos, terrestres y paisajísticos (el problema de las externalidades del capital natural). El turismo como señaló Sharpley y Telfer (2002) utiliza infraestructura natural libre (playas, mares, clima, montañas) sin costos o a muy bajos costos desde el comienzo de sus operaciones. Sin embargo, como el turismo es una opción atractiva y de desarrollo seguro los costos ambientales necesitan ser considerados de manera prioritaria. Este es un reto para los gobiernos, y las empresas privadas para lograr sinergias mediante mecanismos de producción limpia (el turismo de buenas prácticas en un marco de economía baja en carbono). Hace ya casi 20 años Sánchez (1997) había señalado que "*el proceso de globalización otorgará mayor movilidad a la asignación de recursos y significará una mayor relativización de las ventajas competitivas, especialmente de las que se sustentan en la dotación del patrimonio natural*" (p. 89), es aquí donde las empresas y los gobiernos tienen que trabajar más en un desarrollo sustentable y el turismo es el campo

competitivo por excelencia, sobre todo, en las certificaciones de la sustentabilidad como incentivos de mercado turístico (Blasco, 2002), y enfocándose a los mercados de carbono (cap and trade). Los nuevos consumidores de espacios de ocio están dictando las pautas en este sentido (Matos, 2007).

En el caso del Caribe mexicano cadenas hoteleras están concursando por certificaciones de buenas prácticas en turismo, y parques temáticos como Xel-Há han logrado premios verdes como el Green Globe, hoteles como el Melía Cancún están implementando estrategias de ahorro de energía como el mantener las habitaciones frescas para no usar aire acondicionado y colocar películas transparentes en los cristales de las ventanas (marca 3M) que reduce entre 10 y 12 grados la temperatura (Gerente del Hotel, 2010), igualmente están creando fondos propios contra desastres ante el aumento de las primas de las principales aseguradoras, y dado que la región está expuesta a intensidad de los huracanes (*ibid*).

En el documento de Davos (2008) sobre cambio climático y turismo se señala que el sector turismo es el mejor adaptado a la implicaciones ambientales (por ejemplo, el caso del SAR o gripe asiática, terrorismo, tsunami asiático y huracanes), y tiene mucho que ofrecer en aprendizajes para otros sectores por la misma naturaleza y dinámica del sector, sin embargo en el caso del Caribe mexicano las estrategias están concentradas de manera dispersa, falta aun por diseñar estrategias locales y regionales para atender a amplios sectores de trabajadores, y a diferentes sectores empresariales. Por otro lado, si bien existen herramientas metodológicas de acción ante el fenómeno del cambio climático, por el otro faltan estudios y propuestas más consolidadas en el plano de la descentralización de poderes. La OECD-IEA (2007), lanzó un documento sobre "Policy Framework for Adaptation to Climate Change in Coastal Zones: The Case of the Gulf of México", y la NOAA lanzó en 2010 "Adapting to Climate Change: A Planning Guide for State Coastal Managers". Requerimos claras propuestas de descentralización a nivel federal, estatal y municipal que en el caso de nuestro país y de nuestras zonas costeras estamos en proceso de entendimiento, sobre todo en el área del sector turismo (Fraga *et al.*, 2008). Es allí donde tenemos que apostarle a futuras investigaciones transdisdisciplinarias porque no solamente consiste en que México se comprometa en disminuir la tasa de emisión de bióxido de carbono en un 30% al 2050 (Copenhague, 2009) sino a superar su alta dependencia de tecnología para generar energías alternativas al petróleo, por ello requiere apostarle a un presupuesto considerable en ciencia y tecnología porque tiene como país amplias ventajas en energía solar, eólica y marina.

Por otro lado, si hay algo que hemos podido constatar en el Caribe mexicano no es el problema de la infraestructura con pasos agigantados en la construcción de campos de golf, condominios, villas, fraccionamientos[13] sino la falta de manejo y una ausencia de tratamiento de residuos sólidos y líquidos en procesos de franca y acelerada contaminación del subsuelo y

[11]Lawson (2009) citando a Stern (2007) menciona que los "efectos del cambio climático en las ciudades se incrementan con el efecto de las islas de calor urbano. El IPCC considera la urbanización un factor de escasa importancia, sin embargo, faltan estudios multidisciplinarios sobre este debate.

ecosistemas acuáticos que rebasa las capacidades de gobiernos municipales, estatales, federales, cadenas turísticas transnacionales y ciudadanos comunes que provienen de todas partes de la república mexicana y del mundo para habitar espacios frágiles, y enfrentando el problema de los desperdicios producto del consumo de bienes y servicios a partir del turismo.

Asimismo este marketing turístico tiene una visión cortoplacista y de lucro a expensas del futuro de generacionales actuales y futuras. Como uno de los empresarios líderes del turismo en la región señaló "*no podemos confundir objetivos y herramientas en la búsqueda del desarrollo sustentable*" (Córdoba Lira, 2009). No podemos conseguir la sustentabilidad y por consecuencia programas de adaptación al cambio climático sino equilibramos la sustentabilidad económica, social y ambiental. El crecimiento exponencial de la cultura maya en el marketing del turismo en el Caribe mexicano y fuente de atracción para los inversionistas está lejos de diseñar e invertir en calidad de vida y bienestar de los trabajadores (esto es problema del gobierno y para éste último es un problema de las organizaciones de la sociedad civil y viceversa). La naciente corriente de la Responsabilidad Social Empresarial tiene mucho aún que hacer para conseguir esos equilibrios en el marco de una ética por el planeta y la humanidad que la habita.

Arriba señalamos que el "servir como modelo de negocio desde la postguerra" en la que prevalece el principio de rentabilidad de las inversiones, no está ajena la mercantilización de la cultura[12] (Santana, 2003) y lo que observamos es una clara hipoteca de nuestros ecosistemas acuáticos del Caribe mexicano a unos inversionistas o cadenas hoteleras cuyos socios no viven en el Caribe pero sí las ganancias se van en un 72% a sus países emisores (Urry, 1996). El problema vuelve a surgir en el mundo de las negociaciones bi y multilaterales ¿Quién paga los costos de la inacción ante el cambio climático? ¿Quiénes sufren las consecuencias de las políticas globales de no atender un desarrollo equilibrado y equitativo con el medio ambiente? Gay (2010) señala que donde México tiene que apostarle es en la educación de los mexicanos para afrontar las consecuencias del cambio climático, y por ende los procesos de adaptación. La Ciencia y tecnología son los rubros menos atendidos por los gobiernos y las empresas privadas, por ello, podemos explicar como señaló una autoridad vinculado al gobierno municipal de Cancún, "*más que leyes falta voluntad política de su aplicación*". En el caso de las construcciones los proyectos vienen diseñados desde el extranjero y el perito arquitecto mexicano firma el proyecto simplemente para cumplir con la normatividad, ya que el proyecto ya viene hecho y no se modifica (Secretaría de Ecología, Cancún, 2010)[13]. Pero si no todo lo que viene de fuera

[12]Un campo de golf en Cancún, la Riviera Maya tiene entre los indicadores de venta "montículos mayas". Un parque como Xcaret tiene entre sus principales atractivos el juego de pelota como jugaban los antiguos mayas aunque entre todos los del elenco no se encuentre ningún joven indígena proveniente de la región maya", en esencia lo que se busca resaltar es el "exceso de lo maya" en la gastronomía, en la industria de la hospitalidad, la cultura tangible e intangible por el solo hecho de estar dentro de la marca de la RM. Bodas mayas de norteamericano o europeos o de actores de cine mexicanos son mucho mejor pagados si se consiguen un anciano indígena que predique la misa a las orillas del mar. Telenovelas, rating de industrias televisivas, industria de la moda y del maquillaje están asociadas a esta mercantilización de la cultura maya.

es sustentable, ¿como podemos conseguir esas sinergias?. Llamó la atención que el ministro de Medio Ambiente de España señaló que este país exporta "*insostenibilidad a otros países*" (taller en Valencia, octubre del 2009), luego entonces ¿cómo trabajar con una ética ambiental sin importar fronteras? ¿Cómo podemos aprovechar la experiencia de España para que México con un porcentaje alto de inversión española invierta realmente en sustentabilidad y energías alternativas, e invierta en calidad de vida de los trabajadores de la industria que están dominando?

En suma, constatamos en nuestras investigaciones sociales que el cambio climático en el Caribe Mexicano es una oportunidad económica, social, cultural y política para enfrentar soluciones que obliguen a una nueva era de creatividad colectiva (Ortiz, 2010) para acercarse más a la naturaleza y su creciente artificialidad y espectacularización o disneyzación (Khafash, 2009; Córdoba, 2009). Ante este hecho, necesitamos avanzar en procesos de legislación ambiental de zonas costeras más eficientes y respaldadas por los ciudadanos. El marco de la Nueva Ley General de Turismo requiere reglamentos fuertes a la luz de los impactos ambientales y ante el fenómeno del cambio climático[14].

Sugerencias y recomendaciones

En este capítulo mostramos una perspectiva sociológica general de la relación del turismo y el cambio climático. En nuestras entrevistas notamos una clara movilización de este tema a todos los niveles académicos, y una clara "internalización" de este fenómeno climático en todos los sectores y estratos económicos y sociales[15]. Como claramente manifestó un gerente de la cadena Melía Cancún "*no le tememos a la COP 16 de este diciembre del 2010, pero si al cambio climático porque hace 20 años cuando se construyó este hotel nunca se pensó en el medio ambiente, de hecho no se respeto el espacio indicado en su construcción*" .

El periodismo de masas ha "coincidido" con atraer la atención del fenómeno climático como la presencia de huracanes en la región del Caribe con el fenómeno de lo "maya" (el llamado 2012 apocalíptico), que ha generado más especulación de la tierra que miedo para frenar la

[13] Sobre el tema de la sustentabilidad en la construcción en cuanto a los hoteles, como los proyectos vienen de afuera, no contemplan cuestiones particulares de adaptación o mitigación al cambio climático y en cuanto a los proyectos para construcción de vivienda, algunos desarrolladores contemplan especificaciones sustentables que inclusive han ganado premios en otras partes, pero lo que se busca es que cumpla con la norma, la cual en 2007 fue revisada para contemplar adecuaciones por los huracanes, además de que no existen incentivos, en dicha norma, las especificaciones mínimas deben ser que 1 recamara mida 9.90m^2, 1 baño de 3.25m^2, sala-comedor de 15m^2, cuarto de aseo de 2m^2 y existen restricciones de construcción al frente y al fondo para ventilación, áreas verdes y asoleamiento (*ibid*)

[14] La Ley General de Cambio Climático promovida por el senador Alberto Cárdenas en la cámara del senado ha motivado fuertes controversias que preferimos no abordar

[15] El Día Internacional de Acción Climática celebrado con el lema 10-10-10 donde prevalecieron pancartas con el número 350 (para disminuir las emisiones mundiales de CO_2) son ya muestras de concientización hacia el tema con actividades lúdicas, deportivas y recreativas (Diario de Yucatán, 11 de octubre, 2010).

inversión. Lo que hemos constatado es que los huracanes traen más beneficios económicos a pequeñas capas de inversionistas y especuladores del suelo, más beneficios por matar el manglar, problema que obstaculiza (la NOM 22) el crecimiento exponencial del turismo costero.

Si, como lo señala la Organización Mundial del Turismo (WTO-WMO-UNEP, 2008) las tendencias pueden llevar a la reducción de los viajes de largo recorrido, a favor del turismo nacional y local, El Caribe mexicano no estaría preparándose para ello, sino creando desventajas.

En la dimensión sociocultural tenemos que entre los "*clanes de raza*" como señaló una entrevistada dueña de un hotel boutique (italianos, alemanes, canadienses, españoles entre los principales), unos vienen a invertir y otros se van porque en Playa del Carmen la tranquilidad ya no existe, la fuente y motivación para irse alejando y construir nuevos centros del influjo turístico como es el caso de Costa Maya ¿teoría de la autodestrucción del turismo?. Una pregunta obligada ante esta situación y las redes sociales a partir de las nacionalidades es la siguiente ¿cómo romper estos clanes hacia sinergias de actividades colectivas y programas de adaptación ante el cambio climático?

Por último, consideramos, que los órganos de financiamiento a la ciencia y a la tecnología deben dirigir sus esfuerzos a subvencionar más investigación multidisciplinaria con el tema del turismo y el cambio climático. Las ciencias sociales tienen una nueva oportunidad porque implican nuevos diseños de investigación y métodos y teorías del comportamiento humano, y citando a Katz y Shapiro (1985), "*el hombre como glotón de satisfactores*", es una persona cada vez más nómada y móvil ante el fenómeno turístico, y retomando a Jafari (2005) los cambios en los estilos de vida y el deseo de mantener un cuerpo y una mente más sanos será la tendencia general en el turismo que atraviesa raza, genero, clase y edad. Lo interesante para nosotras fue basar nuestra reflexión y búsqueda de interpretación y análisis de un humano multidimensional, que tienen lugar de origen y de llegada marcado en la geografía de las identidades porque no es lo mismo analizar al hombre de los países nórdicos y al hombre de los países del sur cuyas huellas ecológicas y huellas de carbono están comprobadas en el impacto del consumo per cápita (Lacy, 2007), sabemos que países impactan más, sin embargo, observamos una clara tendencia en nuestro medio a la occidentalización (sobre todo a través del turismo) de los países del sur en la búsqueda de satisfactores y bienes de consumo suntuario. El fenómeno del cambio climático viene a poner en tela de juicio los estilos de vida que tendrán que ser modificados a favor del consumo responsable con la naturaleza. Este será la fuerza social del siglo XXI porque engloba la conciencia humana a la desaparición como especie más que lo que despertó a principios de la década de los setentas la teoría de la autodestrucción del turismo.

Literatura citada

Asociación de Hoteles de Cancún, 2008. Boletín Turístico de Cancún, 1(4): 2008.

Babinger, F., 2008. El Golf en España: Turismo, Nuevas Movilidades y Revitalización de Zonas Turísticas Consolidadas, en: Turismo Territorio, y Nuevas Movilidades, Taller Internacional, Universidad Complutense de Madrid, Madrid.

Balairon, L., 2006 El Cambio Climático. Interacciones entre los sistemas humanos y naturales, en Mitos y Realidades del Cambio Climático. *Revista del Instituto de Estudios Económicos,* (3 y 4):127-176.

Bell, D., 1991 El advenimiento de la sociedad postindustrial. Editorial Alianza, Madrid (primera edición 1973).

Campos, B., 2004. Procesos de Urbanización y Turismo en Playa del Carmen, Municipio de Solidaridad, Quintana Roo. Tesis doctoral, Faculdad de Filosofía y Letras, UNAM. México.

Castells, M., 1985. High Technology, Space and Society. *Urban Affairs Annual Reviews*, 28.

Ceballos-Lascurían, H., 1994. Estrategia Nacional de Ecoturismo. Secretaría de Turísmo, México, D.F.

Chávez, A., B. Soriano, y B. Ocadíz, 2009. El desarrollo del turismo y la economía de México. *TURYDES*, 2(6):1-10.

Clavé, A., y F. González Reverté, (coords.), 2007. A propósito del turismo. La construcción social del espacio turístico. Ediciones UOC, Barcelona.

Córdoba, J., 2009. Turismo, Desarrollo y Disneyzación. *Investigaciones Geográficas*, 70: 33-54.

Córdoba Lira, F., 2009 La Cultura de la sustentabilidad es una forma de vida, en Liderazgo. *Alto Nivel de los Negocios en Quinatana Roo*, 16: 8-11.

Duffy, R., 2008. Neoliberalising Nature? Ecotourism in Global Context. En: J. Córdoba (coord.). Turismo Territorio, y Nuevas Movilidades, Taller Internacional, Universidad Complutense de Madrid, Madrid.

EQUIPAR, 2007. Fonatur, Facilitador de la oferta turística. Cancún.

Fayos-Solá, E., y J. Jafari, 2009 Cambio Climático y Turismo: Realidad y Ficción. Universidad de Valencia, España.

Fraga, J., G. Villalobos, S. Doyon y A. García (Coord.), 2008. Decentralización y manejo ambiental. Gobernanza costera en México. PLaza y Valdes Editores, CINVESTAV-IPN Mérida, IRDC-CRDI, Univ. Autónoma de Campeche. 365 p.

Galindo, L., 2009 La economía del cambio climático en México. Semarnat, México.

Gay, C., 2010. Cambio Climático. Retos y Perspectivas. Rúbricas. *Revista de la Universidad Iberoamericana,* 1(0): 22-29.

Hiernaux-Nicolas, D., 2006. Geografía del turismo. En: D. Hiernaux, y A. Lindon, (Dirs.). Tratado de Geografía Humana, México, Antrophos-Universidad Autónoma Metropolitana.

IIJ-UNAM, 2008. Turismo Internacional de Playa y Cambio Climático en México. *Revista de la Facultad de Derecho de México*, LXIII (250): 358.

IPCC, 2007. Summary for policymakers, in Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I. In: Solomon, S.D., Qin, M. Manning, Zenhen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L: Miller (eds). Fourth Assessment Report of the Intergubernamental Panel on Climate Change. Cambridge, UK and New York, USA.

Jafari, J., 2005. El turismo como disciplina científica. *Política y Sociedad*, 40 (2): 39-56.

Jiménez Martínez, A., 2005. Desarrollo turístico y sustentabilidad. El caso de México, Miguel Angel Porrúa-Universidad del Caribe.

Kadt, E., 1991. Turismo: ¿Pasaporte al desarrollo?, Editorial, Ayuso, 2ª edición. México.

Katz, M., y C. Shapiro, 1985. Network externalities, Competition and Compatibility. *American Economic Review*, 75 (3): 424-440.

Khafash, L., 2009. Xel-Há, Imagen y producto del mercado ecoturístico en el Caribe Mexicano. Tesis para obtener el Diploma de Estudios Avanzados en la Universidad Complutense de Madrid, España.

Lacy, R., y Centro Mario Molina, 2007, Mitigación del Cambio Climático en México. wwwcentromariomolina.org (fecha de consulta 18 julio de 2009).

Lardeau, J., 2009. El cambio climático en el sector turístico. *Revista Liderazgo*. 16: 24-26.

Lawson, N., 2009. Una mirada fría al calentamiento global. Gota a gota ediciones, Madrid.

Lysaght, S., 2010. La Atracción de los opuestos, Rúbricas. *Revista de la Universidad Iberoamericana de Puebla,* 1: 33.

MBJ (Municipio Benito Juárez), 2005. Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de la Ciudad de Cancún. Gaceta Oficial, marzo del 2005. Cancún.

Martín Vide, J., 2006. Un decalogo del cambio climático. Mitos y realidades del cambio climático. *Revista del Instituto de Estudios Económicos,* 3 y 4: 3-23.

Martínez, J., y A. Fernández (comps), 2004. Cambio Climático: Una visión desde México: Instituto Nacional de Ecología, México.

Matos, H., 2007. Turismo especializado. http://www.hosteltur.com (fecha de la consulta mayo, 22 del 2008).

Ortiz, B., 2010. Cambio climático y conocimiento alternativo. *Revista de la Universidad Iberoamericana de Puebla*, 1: 8-15.

Sánchez, F., 1997. Globalización y reestructuración energética en América Latina. En: J. Jardón (ed.), Los Procesos de Regulación en Energía y Medio Ambiente. Editorial Porrúa, México.

Santana, A. 2003. Mirando culturas: La antropología del turismo. p. 103-125. En: A. Rubio (ed.) Sociología del Turismo. Ariel, Barcelona.

Secall, R., R. Fuentes, M. Martín, 2006. La estructura de los mercados turísticos específicos. En: E. Torres (coord.) Estructura de los mercados turísticos. UOC, Barcelona, España.

Servin, J., 2010. Oasis of the Seas. *Luxe & Class Magazine*, 80, abril-junio.

Semarnat, 2008. ¿Y el medio ambiente? Problemas en México y en el mundo. México, DF.

Semarnat, 2009a. Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. México, D.F.

Semarnat, 2009b. Cambio Climático, Ciencia, Evidencia y Acciones. México, DF.

Sharpley, R., y D. Telfer, 2002. Aspects of Tourism and Development. Concepts and Issues. Channel View Publications, Sidney.

Smith, V., y M. Brent (eds.), 2001. Host and Guest Revisited: Tourism issues in the 21st Century (Tourism Dynamics). Cognizant Communication Corporation, New York.

Stern, N., 2007. The Economics of Climate Change: The Stern Review. Cambridge University Press.

Torres, R., y J. Momsem, 2005. Gringolandia: The construction of a new tourist space in México. *Annals of the Association of the American Geographers*, 95: 314-335.

Urry, J., 1996. The tourist gaze. Sage, London.

Villaseñor, A., 2006. Los megaproyectos de transporte y su rol en la conformación del espacio turístico en la Riviera Maya. *Caos Conciencia*, 1: 59-67.

Wood, R., 2004. Cruise Ships: Deterritorialized Tourism. p. 133-146. En: L. Lumsdon, and S. Page (eds.), Tourism and Transport. Elsevier, Oxford.

WTO-WMO-UNAP, 2008. Climate Change and Tourism. Responding to global change. Madrid.

Sitios visitados:

http://varaix.mit.tur.cu/tcsc/LibroWeb/Webturismo/Capitulo%2009/actualperpectParks.htm

http://www.cancunlahistoria.org/cancun/fonatur_fechas.html

http:www.sectur.gob.mx/work/sites/sectur/resources/LocalContent/13581/1/ALFONSO_DE_J.JIMENEZ-PRICILA_SOSA.pdf

http://www.gestionturistica.cl/publicaciones/revistas/pdf/3_4.pdf

http://www.uvm.cl/csonline/2007_2/pdf/cervantes-gomez.pdf

http://209.85.129.132/search?q=cache:lGiWQyJrmSsJ:www.sectur.gob.mx/work/sites/sectur/resources/LocalContent/13581/1/VC_Patricia%2520Salcedo_Ulsa.pdf+etapas+del+turismo+en+mexico+publicaciones+tesis+doctorado&hl=es&ct=clnk&cd=12

Secretaría de la Presidencia, 2007. Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012. http:// pnd.calderon.presidencia.gob.mx/index.php?page=turismo.

Sectur, 2007 . Programa Nacional de Turismo 2001-2006. http://www.sectur.gob.mx/wb2/sectur/wb2/sectur/sect_767_capitulo_1.

Treviño Trujillo, J., J.C. Rolon Aguilar y R. Pichardo Ramírez, 2010. Las vías de comunicación y el transporte ante las amenazas del cambio climático y su impacto en el desarrollo regional de México. p. 407-420. 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.

Las vías de comunicación y el transporte ante las amenazas del cambio climático y su impacto en el desarrollo regional de México

Juana Treviño Trujillo, Julio César Rolon Aguilar y Roberto Pichardo Ramírez

Resumen

Los efectos del cambio climático en México y en el mundo son indiscutibles. Diferentes organismos e instituciones en todo el mundo se han unido para estudiar y discutir causas, efectos y posibles soluciones para detener y mitigar el impacto del cambio climático, así como para encontrar las mejores alternativas de adaptación. Uno de los sectores vulnerable ante estos efectos es el de las vías de comunicación y transportes que se han visto amenazadas por precipitaciones extremas, huracanes e inundaciones, generando altos costos de mantenimiento y rehabilitación en carreteras e impactando directamente al desarrollo regional. El contenido de este documento pretende revisar la situación actual de las vías de comunicación en México y de los desarrollos costeros, de manera que se incluyen algunos de los resultados del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (ipcc) sobre este sector y experiencias de carreteras costeras en el Golfo de México.

Introducción

Las evidencias del cambio climático en México y en el mundo son indiscutibles. Las emisiones y concentraciones de gases de efecto invernadero y aerosoles han originado en las últimas décadas lo que conocemos como cambio climático que se traduce en cambios en la temperatura, elevación en el nivel del mar, precipitaciones atípicas, severas sequías e inundaciones. El impacto principal que produce el cambio climático es en los sistemas naturales como los ecosistemas y biodiversidad, que a su vez genera un impacto en la humanidad, que puede ir desde falta de recurso hidráulico, vulnerabilidad en los asentamientos humanos, hasta problemas de salud y desabasto.

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) advierte que de acelerar o mantener las emisiones actuales de gases de efecto invernadero, el promedio mundial de las temperaturas de la superficie aumentará de 1.8 a 4.0 grados centígrados para finales del siglo XXI.

La adaptación ante el cambio climático es urgente y deberá ser regida por políticas públicas y de desarrollo socio-económico implementadas por nuestro gobierno que coadyuvaran a mitigar los impactos del calentamiento global (www.greenpeace.org.mx).

El desarrollo regional se puede traducir como el mejoramiento en la calidad de vida de los habitantes de un lugar. Empleo, vivienda, educación, economía, etc., es hablar de turismo, desarrollo industrial, costero, portuario, en su caso. Sin embargo, nada de esto es posible sin vías de comunicación en buen estado, bien planeadas y estratégicamente interconectadas.

En el mundo actual, caracterizado por la globalización y la apertura de mercados, los transportes carretero, marítimo, ferroviario, aéreo y multimodal, son elementos clave para elevar la competitividad de las naciones (Rascón, 2004).

Por lo que identificar al transporte como un factor clave para elevar la competitividad entre regiones, ratifica la importancia del papel que juegan las vías de comunicación en el desarrollo de una región.

Acceder a los mercados "justo a tiempo", "con calidad total" y "bajos costos" son condiciones indispensables para el crecimiento social y económico de México. Por eso, la logística y las redes uni y multimodales de transporte, son elementos estratégicos para elevar la competitividad del país. En la actualidad los costos logísticos[1] (transporte, almacenamiento, inventarios y gestión de la cadena) son muy elevados.

El sector turismo, regiones completas y muy particularmente las regiones costeras se podrán ver seriamente afectadas, como una consecuencia en la afectación de autopistas, carreteras federales, cierre de puertos y pistas de aterrizaje, inclusive hasta caminos vecinales, interrumpiendo así la logística en el transporte y provocando un impacto en la cadena de abastos de alimentos, medicinas y artículos de primera necesidad. Por lo que en este capítulo y en un marco concep-

[1] El transporte representa cerca de la mitad de los costos logísticos. En México, los costos logísticos añaden en promedio 19% al costo del producto. En los países de la OECD la logística adiciona sólo el 9% al costo de la producción.

tual se revisará el estatus de las vías de comunicación y transportes en México, su comportamiento ante los efectos del cambio climático y su influencia en el desarrollo regional.

Estado del arte

Situación actual de las carreteras en México

En México, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) es la responsable del desarrollo de la infraestructura carretera, desde su construcción, conservación, modernización y ampliación.

Como parte de su misión la SCT se encamina hacia elevar la cobertura, calidad y competitividad de su infraestructura carretera, con la meta de convertirse en una de las principales plataformas logísticas del mundo, aprovechando la posición geográfica de nuestro País.

En México, la red carretera nacional representa la columna vertebral del sistema de transporte, esto debido a los movimientos de carga nacional y movilización de pasajeros que se dan por este modo (figura 1).

El patrimonio vial de México se clasifica de la siguiente manera:

- Red federal
- Red alimentadora
- Red rural

La red federal está a cargo directamente de la SCT, la red alimentadora y la red rural están a cargo de los estados con intervención de la SCT (figura 2).

De acuerdo a datos obtenidos de la SCT, los montos de inversión en infraestructura carretera son del 2% del Producto Interno Bruto (PIB), en comparación con Chile que invierte más del doble, mientras que China destina un 9% del PIB.

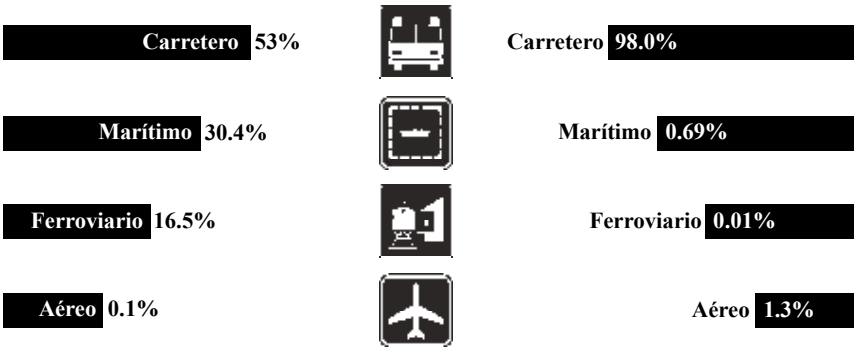

Figura 1. Movimientos de carga y pasajeros en México.
Fuente: El sector carretero 2009 SCT-México.

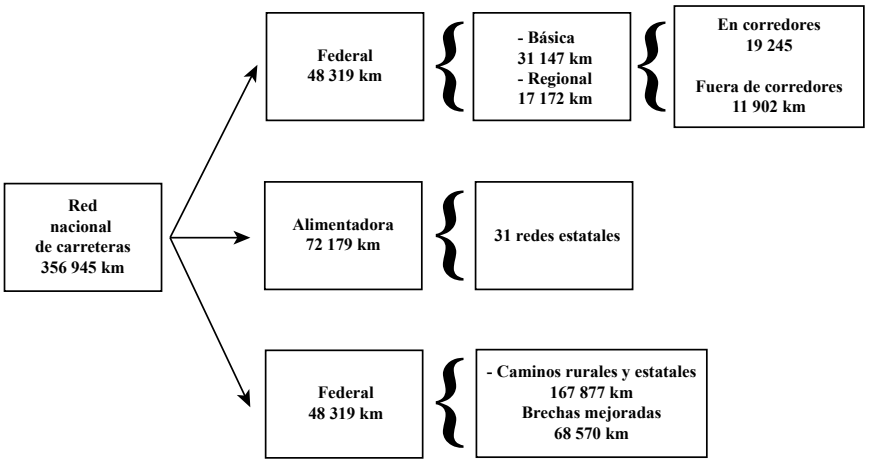

Figura 2. Clasificación de la red nacional de carreteras en México.
Fuente: El sector carretero 2009 SCT-México.

La inversión carretera se apoya en recursos de las siguientes fuentes:

- Presupuesto general del estado
- Peajes en autopistas de cuota
- Impuesto en combustible que se carga a usuarios

Los pocos recursos disponibles han obligado a la SCT a implementar esfuerzos sistemáticos con el fin de contar con montos para los desarrollos carreteros que demanda el país.

La SCT maneja tres modelos de asociación público-privada con los que busca principalmente: el incremento de inversión, elevar la calidad del servicio a usuarios, abrir nuevos espacios de participación para la iniciativa privada, entre otros.

La tabla 1 muestra las estrategias y metas de acuerdo al Programa Nacional de Infraestructura que el sector de comunicaciones y transportes contempla para el 2007-2012.

Corredores troncales nacionales

De la red nacional de carreteras en México según la SCT de 356 945 km, aproximadamente un 21% corresponde a carreteras costeras o muy cerca de ella. Se considera también que la mayor parte del territorio nacional está cubierta por 14 principales ejes corredores troncales con una longitud total de 19 245 km que representan 62% la red básica nacional, algunos de ellos incluyen ramales de gran importancia. Estos corredores comunican a las principales zonas de producción industrial y agropecuaria, así como los centros urbanos y turísticos más importantes de México (figura 3).

Tabla 1. Estrategias y metas del Programa Nacional de Infraestructura 2007 - 2012.

Estrategias	Metas
Modernización de los corredores troncales que comunican a las proncipales ciudades, puertos, fronteras y centor turísticos del país.	Construir o modernizar 17 598 km de carreteras y caminos rurales, incluyendo la terminación de 100 proyectos carreteros completos.
Desarrollar ejes inter-regionales que mejoren la comunicación y la conectividad de la red carretera.	Incrementar de 78% a 90% la red carretera federal que opera en buenas condiciones conforme a estándares internacionales.
Construcción de libramientos y accesos para facilitar la continuidad del flujo vehicular.	Reducir el índice de accidentes de 0.47 a 0.25 por cada millón de vehículos/km.
Mejorar el estado físico de la infraestructura carretera y reducir el índice de accidentes.	

Figura 3. Regiones de infraestructura carretera en México.
Fuente: El sector carretero 2009 SCT-México.

Principales corredores del sistema carretero nacional

Longitudinales

1. Transpeninsular de Baja California:
2. México-Nogales con ramal a Tijuana.
3. Querétaro-Ciudad Juárez.
4. México-Nuevo Laredo con ramal a Piedras Negras.
5. Veracruz-Monterrey con ramal a Matamoros.
6. Puebla-Oaxaca-Ciudad Hidalgo.
7. México-Puebla-Progreso.
8. Peninsular de Yucatán.

Transversales

1. Mazatlán-Matamoros.
2. Manzanillo-Tampico con ramales a Lázaro Cárdenas.
3. Altiplano.
4. México-Tuxpam.
5. Acapulco-Veracruz.
6. Circuito-Transístmico.

Situación del sector de vías de comunicaciones y transportes ante la ONU

En la Tercera Comunicación Nacional ante la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, celebrada en la ciudad de México en el año 2006 considera para el sector de vías de comunicaciones y transportes lo reportado en la figura 4.

Es importante destacar que en las acciones de adaptación y mitigación del impacto del cambio climático que resulta de esta Tercera Comunicación Nacional, sería conveniente considerar a las carreteras costeras como base fundamental para el desarrollo regional y darles el tratamiento necesario ante las amenazas de los eventos extremos a los que están expuestas.

Contar con una red carretera moderna, segura, con capacidad de servicio, con rutas que permitan tiempos de recorrido más competitivos para transporte de personas y productos, será el principal detonante del potencial turístico, pesquero, portuario, industrial y comercial de una región. Motivo por el cual es de suma importancia revisar los trazos y diseños de las carreteras costeras y adaptarlos al cambio climático bajo criterios de diagnóstico y caracterización regional.

Según (Jiménez, 2007) en muchas áreas del mundo existen planicies costeras que son vulnerables tanto a la erosión como a la inundación, debido a la acción del mar. Esto, acoplado con un incremento gradual del nivel del mar debido al calentamiento global, ha resultado en un incremento en las líneas de costa que sufren erosión alrededor del mundo. Además, las perspectivas en la aceleración del incremento del nivel del mar y los cambios en frecuencia y

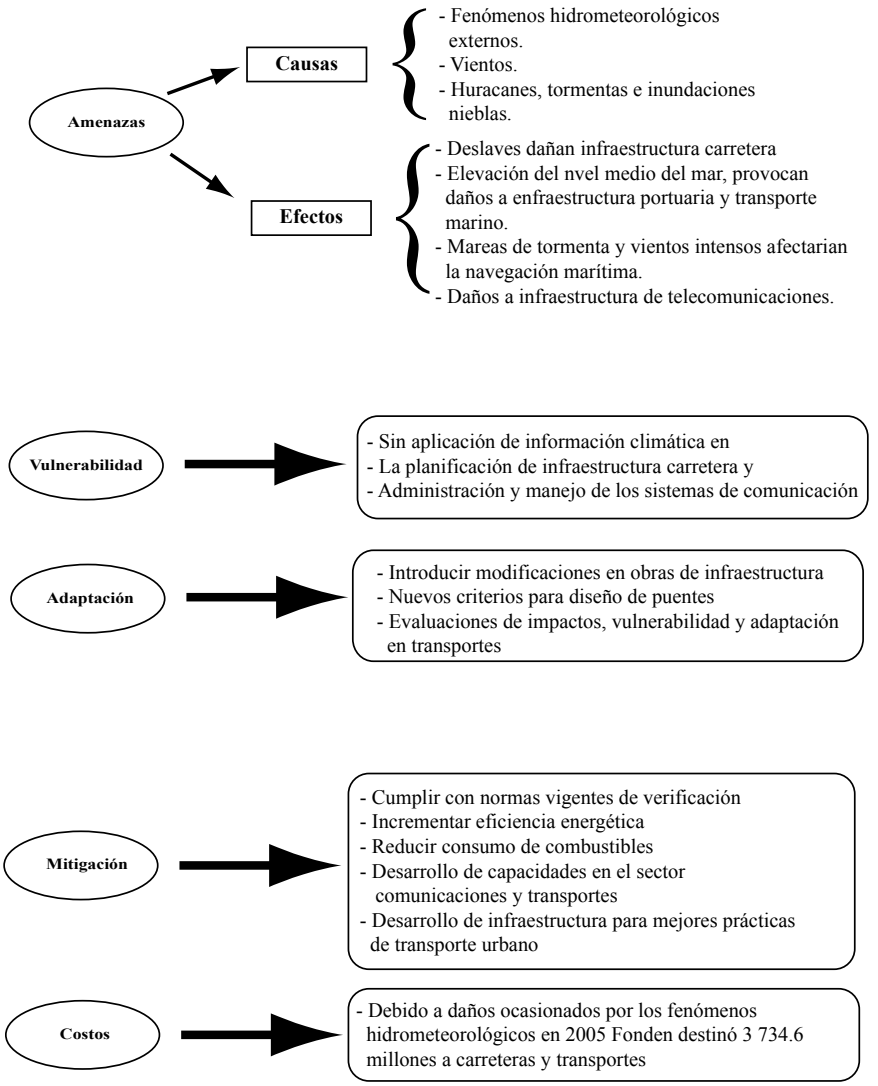

Figura 4. Amenazas y acciones consideradas en la Tercera Comunicación Nacional ante la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, Ciudad de México 2006.

dirección de las tormentas presentan un alto riesgo e incertidumbre cuando se trata de considerar los escenarios más apropiados en el diseño de estructuras costeras.

Esto nos permite reflexionar que a nivel nacional se adolece de documentos técnicos que se centren en el diseño y planeación de caminos y puentes en el medio ambiente costero. La SCT se apoya en el Instituto Mexicano del Transporte y en investigaciones realizadas por académicos de diferentes instituciones y universidades del país.

En Estados Unidos la Administración Federal de Carreteras (FHWA, por sus siglas en ingles), se apoyan en el documento HEC 25[2], que es el que sirve de orientación para el análisis, la planificación, diseño y operación de las carreteras en el medio costero marino. Este documento está enfocado a carreteras cercanas a la costa, que son las más vulnerables ante los huracanes y a los efectos de mareas y oleaje. Uno de los alcances de este manual es la integración de los principios de la ingeniería de costas y buenas prácticas en planificación y diseño de las carreteras costeras, manejo de experiencias y conceptos como erosión, elevación del nivel de mareas, transporte de litoral, etc. La aplicación de los criterios de este manual son validos para el desarrollo costero de cualquier región, por lo que es común que estudios realizados en México hagan referencia a este documento.

La falta de recursos humanos vinculados con la planeación, instrumentación, operación y control de un desarrollo costero integral sobre principios de sustentabilidad, es otro factor que se identifica como débil en la atención a ésta disciplina. Las instituciones académicas a nivel nacional ofrecen aproximadamente 38 programas de licenciatura que están directamente relacionados con ese tema, sin contar los programas de posgrado, aunque no son precisamente los más demandados. Opina López en su artículo de la Revista Noticias que publica trimestralmente la AIMP que el sector público ha reducido considerablemente la demanda de personal especializado, también comenta la intervención del Subsecretario de Infraestructura de la SCT, Ing. De Buen Richkarday en Congreso de Ingeniería Civil del 2007, donde menciona que *"es urgente la formación y consolidación de la ingeniería mexicana tanto dentro como fuera de la SCT para afrontar las necesidades de infraestructura requeridas por el País".* Observa De Buen como preocupante la situación actual del personal que labora para la SCT, que de no atenderse y analizarse en este momento, se carecerá a futuro de personal calificado para atender la infraestructura del País.

Planeación del desarrollo en las zonas costeras

De acuerdo a López (2008b), la planeación y desarrollo de la infraestructura en zonas costeras requiere de:

- Información con razonable validez estadística, que permita determinar la importancia relativa de los distintos componentes del sistema costero.
- Conocimientos teórico prácticos sobre la interpretación de tal información y su manejo, para determinar las distintas estrategias de desarrollo
- Identificación, grado de compatibilización de las opciones de desarrollo y jerarquización de las mismas.
- Definición y calificación de la relación sustentabilidad-beneficios de los desarrollos propuestos

[2] Corresponde al Manual de Carreteras en el Medio Costero (Highways in the Coastal Environment: Second Edition).

- Participación de un buen número de especialistas en materia del manejo y administración de las zonas costeras

Es incuestionable que, si hay una profesión que tiene la preparación básica para la planeación, la instrumentación, el desarrollo y la administración de proyectos de aprovechamiento sustentable de las costas, ésa es la ingeniería civil, afirma López (2008b), debido a que maneja conceptos como:

- Estudio de los factores oceanográficos y meteorológicos, fluviales, de dinámica costera, morfología, entre otros.
- Estudios topobatimétricos, de ingeniería de costas e hidráulica marítima y fluvial; uso de modelos físicos y matemáticos para simulación de fenómenos costeros. Análisis de dinámica de estuarios y lagunas costeras. Rompeolas, espigones, muros de protección, dragados, restauración de playas. Estudios de riesgo e impacto ambiental. Mecánica de suelos.
- Administración de proyectos costeros de diversa índole con sistemas convencionales de evaluación, monitoreo y actualización de los mismos.

Experiencias

Carretera costera de Campeche

En estudio realizado por López (2007) y presentado en la revista Noticias de la AMIP sobre la carretera costera Campeche-Cd. del Carmen, se observa que en general, existen tramos que por diversas circunstancias, principalmente por un mal manejo de la arena que se acumulaba sobre la carretera en época de "Nortes" que era removida fuera de la parte playera y que, sumados a la falta de aportes terrígenos resultaban en un balance desfavorable comparado con la capacidad de transporte. Provocando así, interrupciones en ésta vía, por lo que se planteo la construcción de un arrecife artificial como obra de reconstrucción y preservación de playas.

De acuerdo a López la propuesta del arrecife artificial fue con elementos de concretos para coraza de nueva generación llamados *core-loc,* desarrollados y patentados por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos desde 1996. Esta es la primera experiencia mexicana en el uso de estos elementos como arrecifes artificiales, en la cual se necesitaba proteger en contra de la acción del oleaje, inicialmente la zona comprendida entre los kilómetros 108+800 y 107+800, de la autopista Campeche-Ciudad del Carmen.

En este orden de ideas, el uso de arrecifes artificiales debe, en la medida de lo posible, observar que sus elementos constitutivos presenten condiciones de comportamiento estructural que le permitan cumplir con la misma función protectora de las formaciones naturales y de igual manera, sus características físicas e hidrodinámicas, guarden una similitud razonable que propicien el desarrollo de las actividades recreativas mencionadas.

Para el caso mexicano, la solución integral al problema de erosión de playas por efectos, de los huracanes que como en el caso del Caribe provocan este fenómeno y en general, en cualquier playa que sume el interés turístico, debe considerar la importancia que tiene para el desarrollo una pronta y eficaz solución al problema, en la que, por las razones señaladas, es recomendable "acelerar" el proceso de depósitos de arena mediante la aportación de material proveniente de otros sitios.

En casos extremos y debidamente estudiados es posible la reubicación de las carreteras en respuesta a la erosión costera. Históricamente en Estados Unidos algunas carreteras costeras han sido abandonadas debido a lo incosteable que resulta el control de erosión y transporte de litoral. La ingeniería de costas cuenta con opciones para la estabilización de costas que se puede considerar cuando una carretera se ve amenazada por la erosión, bajo la condición de que se cumpla con una planificación y ordenamiento del territorio. La elevación de las carreteras costeras y puentes pueden ser manipulados para evitar los efectos del oleaje y vientos en eventos extremos. Por ejemplo, los puentes que fueron destruidos por los huracanes Iván y Katrina en el estado de Louisiana en los Estados Unidos, están siendo reconstruidos ahora en elevaciones superiores.

Imagen de tramo de carretera
Campeche-Ciudad del Carmen en 2007.
Fuente: Centro SCT-Campeche.

Imagen de tramo de la playa de Campeche
colocando el *Core-loc*.
Fuente: Centro SCT-Campeche.

Carretera costera de Tamaulipas

Como resultado de aforos realizados por la SCT en Tamaulipas, y para fines del proyecto apoyado por FOMIX TAMPS-2005-C08-12 se tiene el movimiento de automotores en promedio anual (figura 5).

Se identifican dos zonas estratégicas para el desplazamiento de los vehículos en la región costera del estado de Tamaulipas. La zona de Matamoros con un movimiento de 52 237 y Altamira con 63 641, en esencia los dos extremos de la zona de estudio representan puntos fundamentales por lo que de manera preliminar, se detecta que el fortalecimiento o inicio de las obras de la carretera deberá tomar en cuenta el rol de esas zonas de desplazamiento.

Es decir, la construcción de una nueva carretera podría iniciarse a partir de los extremos y continuar con las partes centrales, teniendo en consideración que San Fernando representa el tercer segmento de gran afluencia, con un movimiento anual de 28 128 automotores.

Uno de los objetivos a nivel estatal es integrar una nueva ruta entre Matamoros y Tampico, que además de comunicar a Estados Unidos con Veracruz a través de la costa tamaulipeca detone diversas zonas de la costa del estado destinadas para uso turístico, que actualmente cuentan con caminos muy limitados o en algunos casos nulos al acceso. La *carretera intracostera* como se le conocerá, deberá considerar las posibles repercusiones que se puedan presentar con la relación entre ella y la vialidad urbano-turística de los sitios identificados a desarrollar.

La ruta prevista se apoya no solo en impulsar el desarrollo económico de las diversas regiones que cruza y enlaza sino en la propuesta de una vía moderna, con altas especificaciones de diseño para trasladarse a mayor velocidad, seguridad, menor distancia, tiempo, reducir accidentes

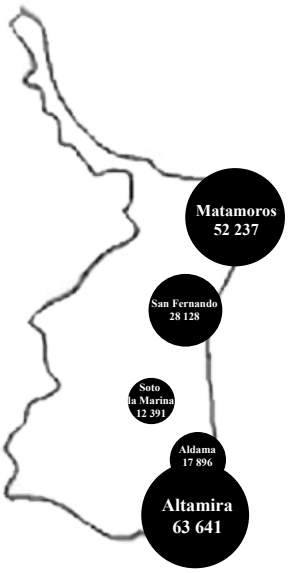

Figura 5. Zonas estratégicas en desplazamiento de vehículos
. Fuente: Proyecto FOMIX TAMPS-2005-C08-12 Desarrollo de la red carretera de la costa Tamaulipeca.

y que presente una capacidad de carga para permitir el tránsito de vehículos de carga pesada.

En este proyecto se derivan cuatro alternativas técnicas para el mejor trazo de la *carretera intracostera,* mismas que son analizadas por el grupo de trabajo del Instituto de Investigaciones en Ingeniería de la Facultad de Ingeniería "Arturo Narro Siller" de la Universidad Autónoma de Tamaulipas.

En síntesis, en el *Análisis y Definición de Estrategias para el Desarrollo de la Red Carretera de la Costa Tamaulipeca* [3] dirigido por Sergio Jiménez, por estación de aforo y por municipio reflejan la importancia que tienen los extremos del tramo carretero, situación que proporciona un elemento concreto para apoyar le decisión sobre el enfoque en la construcción de una nueva vialidad y/o remodelación de la actual carretera y evidencia, a su vez, sobre la viabilidad de realizar dicho proceso a través de distintas fases.

Para el análisis final y definitivo del trazo carretero se programa un análisis multiobjetivos de cada alternativa propuesta bajo el marco de referencia de las recomendaciones y premisas, a continuación se mencionan algunas de ellas.

1. Usos actuales y proyectados de las zonas costeras y sus interacciones.
2. Ordenamiento de las zonas costeras.
3. Adoptar enfoques preventivos y precautorios en la planificación y la ejecución de proyectos, de forma que incluyan la evaluación previa y la observación sistemática de los efectos ambientales de los grandes proyectos.
4. Promover el desarrollo y la aplicación de métodos, que reflejen los cambios de valor resultantes de los distintos usos de las zonas costeras y las zonas marinas, teniendo en cuenta la contaminación, la erosión marina, la pérdida de recursos y la destrucción del hábitat.
5. Regirse por estrategias de la normativa ambiental vigente.
6. Establecer mecanismos de financiamiento a largo plazo de los procesos de ordenamiento integral de las zonas costeras.
7. Promover y facilitar la capacitación y educación en materia de ordenamiento integral y desarrollo sostenible de las zonas costeras, dirigidas principalmente a científicos, técnicos, administradores, políticos y usuarios.
8. Aumentar la capacidad institucional de las instancias gubernamentales nacionales, subregionales y regionales, fortaleciendo sus capacidades en conocimiento e infraestructura.
9. Elaborar y poner en práctica una planificación estratégica y una gestión integrada de las zonas costeras, en particular.
10. Definición de objetivos de acción adecuados a las costas y a sus recursos a fin de orien-

[3] En 2003 se construye el corredor urbano Madero-Altamira, más que con fines turísticos, atendiendo principalmente a una fuerte demanda de transporte pesado, con cargas de combustibles de la Refinería Madero al Puerto Industrial de Altamira. En 2005 se amplía esta vía por la costa hasta llegar a la Barra del Tordo en el municipio de Aldama, Tamaulipas. Sin embargo, estas decisiones han sido tomadas para cubrir una necesidad y no dando seguimiento a un plan de desarrollo.

tar y de coordinar mejor las estrategias y planes consagrados a las zonas costeras por los poderes públicos a los niveles nacional, regional y local

11. Que se refuerce la integración y la armonización de las políticas sectoriales que influyen en la gestión de las zonas costeras y en la utilización de los recursos".
12. Establecer normas nacionales de medio ambiente para las zonas costeras y aplicarse de manera apropiada
13. La construcción de estructuras de protección en las playas y la protección del hábitat.

Estas son algunas de las recomendaciones que surgen de este proyecto, sin embargo son aplicables a cualquier proyecto de infraestructura costera y sin dejar de considerar la imperante necesidad de construir capacidades de adaptación frente impactos del cambio climático. Esto dependerá de decisiones consensadas y de forma multidisciplinaria con todos los actores involucrados, que determinen hoy en los campos tecnológico, social, económico y ambiental; en el uso de herramientas de pronóstico climático que permitan planear con precisión y en el desarrollo de acciones preventivas ante eventos extremos

Conclusiones

En materia de transporte y competitividad, en el siglo XXI, la viabilidad económica de las naciones dejará de sustentarse únicamente sobre sus ventajas comparativas o heredadas, como son los recursos naturales, yacimientos, suelos fértiles, entre otros. Los gobiernos están obligados a generar ventajas competitivas que es igual a innovación y creación social, como por ejemplo:

- Infraestructura y tecnología.
- Estructura productiva.
- Alta calidad.
- Educación e investigación científica.
- Logística.

Como principales elementos para mejorar la competitividad en el sector transporte, será conveniente implementar:

- Integración de los modos de transporte.
- Desarrollo de corredores multimodales.
- Desarrollo de la plataforma logística nacional (infraestructura y redes).
- Tecnologías de información y de distribución mercancías.
- Gestión de la cadena de suministro.

En este contexto, y con el fin de posicionar a nuestro país en un nivel competitivo, es necesario actuar y aplicar políticas públicas que favorezcan al desarrollo regional de una forma ordenada y sustentable.

El gobierno deberá actuar desde una política forestal, hasta la racionalización del transporte, apoyará a la investigación científica y programas de seguimiento sobre el cambio climático, así como programas de educación y cultura medioambiental.

Será relevante la planificación urbana de nuestras ciudades y la toma de decisiones del uso de suelo, como la ubicación de centros de trabajo, residenciales y de recreo, ya que condicionan las necesidades de otros sectores como el transporte y la movilidad. Por consiguiente para una planificación territorial costera sustentable es importante contar con:

- Manejo integral de las zonas costeras.
- Seguir un plan de ordenamiento territorial.
- Contar con zonas de amortiguamiento para inundaciones.
- Ejercer la legislación jurídica correspondiente.

Recomendaciones

Una selección idónea para la realización de un desarrollo carretero costero deberá obedecer los siguientes aspectos:

- Garantizar un flujo vehicular dependiendo las necesidades de la región.
- Contar con un instrumentos de planeación firmado entre autoridades federales, estatales y municipales que sirvan como un Ordenamiento Ecológico de la Región (OER).
- Impulsar el desarrollo económico de la región, dando apertura a proyectos de bajo impacto ambiental, apegados a los criterios que marque el (OER).
- Realizar análisis de vulnerabilidad y riesgo.
- Atender la reubicación de asentamientos humanos bajo un reordenamiento territorial.
- Considerar obras para el control de erosión.

Literatura citada

Douglass, S., y J. Krolak, 2008. Highways in the Coastal Environment. 2nd Edition. FHWA.

Jiménez, S., 2007. Análisis y definición de estrategias para el desarrollo de la red carretera de la costa Tamaulipeca. TAMPS-2005-CO8-12. Fondos Mixtos Tamaulipas. Facultad de Ingeniería "Arturo Narro Siller".

http://dc.sct.gob.mx. El sector carretero en México 2009. Abril 2009.

http://www.alertatierrz.com/CambC-efectos. El cambio climático y sus efectos. Mayo 2007.

http://www.greenpeace.org.mx. Del cambio climático al desastre turístico. Enero 2009.

INE, Semarnat, CCA-UNAM, ONU, 2006. Tercera Comunicación Nacional ante la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, celebrada en la ciudad de México en el año 2006.

López, H., 2008, Arrecifes artificiales como obras de reconstrucción y preservación de playas. Noticias AMIP. http: //www.amip.org.mx

López, H., 2008b. Planeación de la Infraestructura Costera Mexicana. Noticias AMIP. http: //www.amip.org.mx

Presidencia de la República México., 2007. Plan Nacional de Desarrollo. Sistema Internet de la Presidencia 2007.

Rascón, O., 2004. El Transporte. Factor clave para elevar la competitividad en México. Ponencia presentada en el 30 aniversario del Posgrado en la UAT. Tampico, Tamaulipas.

Herrera-Silveira, J.A., A. Zaldivar-Jimenez, C. Teutli-Hernandez, R. Pérez-Ceballos y J. Caamal-Sosa, 2010. Los manglares de Yucatán y el cambio climático global, p. 421-436. 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.

Los manglares de Yucatán y el cambio climático global

Jorge A. Herrera-Silveira, Arturo Zaldivar-Jimenez, Claudia Teutli-Hernandez, Rosela Pérez-Ceballos y Juan Caamal-Sosa

Resumen

El Cambio Climático Global (ccg) con sus manifestaciones en el incremento de la temperatura ambiente, concentración de CO_2, cambios en los patrones de precipitación, incremento en la frecuencia de huracanes más intensos y el incremento del nivel medio del mar; combinado con los efectos antrópicos tiene influencia sobre la resiliencia de los manglares. En este apartado se realizará un análisis de los potenciales efectos del ccg sobre los manglares de Yucatán con base a las características ambientales hidrogeológicas de la región y a los factores antrópicos que ejercen presión sobre ellos. La caracterización y monitoreo de los efectos en la zona costera del incremento del nivel medio del mar, así como la implementación de medidas de mitigación y adaptación deben de ser acciones de atención prioritaria.

Consideraciones generales

En el paisaje de la zona costera subtropical y tropical los manglares se distribuyen como resultado de la combinación de procesos geomorfológicos e hidrológicos, los cuales determinan los tipos ecológicos de manglar y controlan a nivel local aspectos del hábitat como son la composición de especies, la zonación y el crecimiento entre otros (Twilley *et al.*, 1996).

Los ecosistemas de manglar están representados por vegetación de humedal arbustiva y arbórea dominante de la zona de mareas en las regiones tropicales y subtropicales (Tomlinson, 1986). Poseen características particulares que los identifican de otras especies, así como mecanismos fisiológicos que les permiten resistir y crecer en ambientes total o parcialmente inundados, salinos, alcanzando su máximo desarrollo en condiciones estuarinas.

Los ecosistemas de manglar marcan la transición entre el mar y la tierra, y son parte de un grupo de ecosistemas interconectados ecológicamente a través de la hidrología, cumpliendo funciones ecológicas importantes en la integridad de la zona costera (figura 1). Los manglares tienen una alta capacidad de proveer bienes y servicios, tales como protección y estabilización de la línea de costa ante la acción erosiva del mar y perturbaciones naturales como tormentas y huracanes. Los manglares tienen numerosos usos antrópicos e industriales, los cuales han tenido como consecuencia en algunos casos daños irreversibles de difícil cuantificación y con repercusiones ambientales negativas (Field, 1995).

De las 508 193 ha de manglar existentes en el Golfo de México y el Caribe mexicano, en la península de Yucatán se localizan 423 751 ha (Conabio, 2009). En el estado de Yucatán se distribuyen en una franja paralela a la línea de costa y su cobertura estimada como bosques de

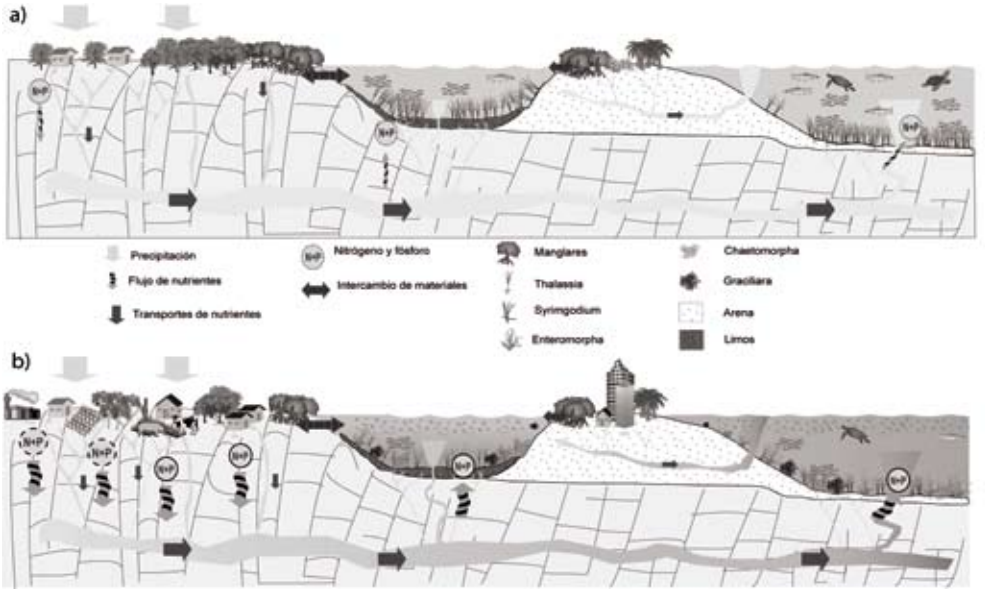

Figura 1. Modelo esquemático de un perfil costero que representando los ecosistemas y su conectividad (a); y como el desarrollo antrópico reduce la cobertura de manglares con sus consecuencias en la pérdida de servicios ecológicos que los manglares proporcionan (b).

manglar es de 73 893 ha (tabla 1) de las cuales 77% se encuentran bajo el régimen de protección de Área Natural Protegida (ANP). Para el caso de los manglares comprendidos entre Puerto Progreso y Dzidzantún fueron recientemente decretados como reserva estatal, sin embargo aún no cuentan con un plan de manejo (Gobierno del estado de Yucatán, 2010). La tasa de pérdida anual de la superficie de manglar entre los años de 1976 y 2000 para México se sitúa entre 1% y 2.5 %, en el caso de los manglares de Yucatán se estima una tasa de pérdida anual de 1.84 comprendida durante el mismo periodo de tiempo (INE, 2005). Para el caso del estado de Yucatán, las diferencias entre las coberturas estimadas por Conabio (2009) y Herrera *et al.* se deben principalmente a los impactos por el Huracán Isidor, lo que significo un impacto en casi el 30% de la superficie de manglar del estado.

En México las fuentes de deterioro son muy variadas y dependen de cada región, estado y municipio. Las perturbaciones principales son la construcción de infraestructura turística, sustitución por campos de cultivo y áreas para la ganadería extensiva, camaronicultura, asentamientos humanos y actividad petrolera (INE, 2005). Sin embargo, a estas fuentes de impacto hay que agregarle un proceso de escala mundial que está ejerciendo presión en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas costeros y en especial a los de manglar, el cambio climático global (CCG).

El CCG es reconocido como una amenaza muy importante para la supervivencia de las especies e integridad de los ecosistemas, observándose en la literatura que los cambios hidrológicos y en la temperatura por el CCG han crecido considerablemente a nivel mundial (Erwin, 2009),

Tabla 1. De las 615 202 ha para el Golfo de México y el Caribe, en la península de Yucatán se localizan 341 835 ha (Conabio, 2008). En Yucatán la cobertura de manglar es de 73 893 ha, la mayoría están bajo un régimen de protección.

Municipios costeros	Cobertura manglares (ha)	Distribución municipal (%)	Régimen de protección
Celestún	19 437	26	ANP federal
Hunucmá (Sisal)	7 395	10	ANP estatal
Progreso	9 811	13	ANP estatal
Ixil	836	1	ANP estatal
Dzemul	2 525	3	ANP estatal
Telchac Puerto	1 419	2	ANP estatal
Sinanché	953	1	ANP estatal
Yobaín	598	1	ANP estatal
Dzidzantún	1 028	1	ANP estatal
Dzilám de Bravo	13 939	19	ANP estatal
San Felipe	9 095	12	ANP federal
Río Lagartos	1 923	3	ANP federal
Tizimín (El Cuyo)	4 934	7	ANP federal
Total	**73 893**	**100**	

y maximizándose por los cambios de usos del suelo, haciendo más vulnerable las zonas costeras. Aunque el CCG es un proceso global, sus manifestaciones e impactos serán diferentes a nivel local y esto dependerá de la condición ecológica de los ecosistemas costeros, más el grado de planeación de los grandes desarrollos antrópicos hacia los cambios en el ambiente.

El CCG es sin duda unos de los desafíos más grandes que los seres humanos enfrentarán en este siglo. Independientemente de la magnitud de los cambios, se espera que con el CCG existan variaciones en los patrones de lluvias, incremento en la frecuencia de huracanes intensos, y uno de los más importantes para la región tropical, el incremento del nivel medio del mar. Aunque los registros geológicos indican cambios climáticos durante toda historia de la tierra, la tasa actual del calentamiento del planeta y el acelerado incremento del nivel medio del mar amenaza la estabilidad de los ecosistemas costeros. La línea costera es la primera que sentirá los efectos del incremento del nivel medio del mar, con todo y sus grandes ciudades. En el caso de los ecosistemas costeros, se reconoce a los manglares como uno de los más vulnerables a este incremento. Sin embargo, las buenas noticias son que no todos los litorales con bosques de manglar son proyectados para experimentar un aumento en el respectivo nivel del mar. En sitios donde las mareas experimentan aumento, islas, zonas costeras de topografía variables, y escaso aporte de sedimentos o materia orgánica que favorezca la acreción son especialmente vulnerables. Por el contrario, los ecosistemas costeros con suministro de sedimento y/o espacio de moverse hacia el interior, y baja topografía son los que se proyectan como los sitios que pueden sobrevivir a los incrementos estimados del nivel del mar.

Por otra parte, las especies de manglar han demostrado tener tolerancias diferentes a los cambios en el nivel del mar, la salinidad y las tormentas. Es por ello que para identificar cuales ecosistemas de manglar son capaces de sobrevivir al incremento del nivel medio del mar y a otros efectos del CCG, la investigación sobre la resiliencia y la vulnerabilidad de estos ecosistemas en diferentes escenarios ambientales es esencial para determinar las localidades que requieren una mayor atención en términos de protección y/o restauración. La generación de esta información técnica proveerá de elementos a los tomadores de decisión para definir las políticas y programas costeros de adaptabilidad y mitigación a los efectos del CCG.

Cambio climático global y manglares

Las condiciones y variaciones del clima afectan el funcionamiento, distribución, dimensiones y forma de los ecosistemas costeros, por lo que los efectos del CCG en estos, incluyen el aumento de nivel medio del mar, el incremento de temperatura, los cambios en la distribución de precipitación y aporte de agua dulce, así como en la frecuencia e intensidad de huracanes y tormentas, todo operando en un amplio intervalo de escalas temporales y espaciales. Los efectos del CCG pueden agravarse como consecuencia de las interacciones con otras actividades humanas en regiones costeras (Woodroffe, 1995; Pont *et al.,* 2002; Scavia *et al.,* 2002). El desarrollo costero mal planeado tiene sus consecuencias en reducir la capacidad de resiliencia de los ecosistemas de manglar frente al CCG.

Los cambios esperados en los humedales costeros debidos al CCG incluyen incremento de eventos extremos de inundaciones, huracanes y sequías (Gilman *et al*., 2008), modificaciones de los flujos de agua que afectarán el hidroperíodo, aumento del estrés por calor en la flora y fauna; incremento del alcance y actividad de plagas y vectores de enfermedades; incremento de la erosión del suelo y daño a la infraestructura costera, cambios en la escorrentía, decremento de la recarga de algunos acuíferos, reducción en la disponibilidad de agua en los humedales que determinan su funcionamiento, daño a ecosistemas con los que mantienen la conectividad hidroecológica (*e.g.* praderas de pastos marinos, arrecifes de coral), expansión de especies exóticas, entre otras, todo lo anterior con la consecuente modificación de sus servicios ecológicos.

En escalas globales, el incremento eustático del nivel del mar (ESLR) en el siglo XX se calcula que ha sido de 0.15 a 0.20 m (Miller y Douglas, 2004). Sin embargo, la mayoría de los modelos de clima predicen que el aumento ESLR durante el siglo XXI será entre 0.20 y 0.60 m (IPCC, 2007), pero modelos recientes indican que ESLR podría ser mayor incluso a 1 m (Rhamstorf, 2007). El efecto del ESLR podría ser mayor en algunas áreas provocando cambios en la geomorfología costera o en la intrusión salina, por ejemplo.

En escalas locales, el efecto del SLR más los procesos locales de formación del suelo determinan el incremento relativo del nivel del mar (RSLR), la pérdida de humedales como son los manglares podría estar asociado a este incremento (Stevenson *et al.,* 1985). Las actividades antrópicas han acelerado el RSLR por el manejo de agua en las cuencas, restringiendo el aporte y por tanto los sedimentos, también se ha propiciado la contaminación y favorecido la invasión de especies entre otras consecuencias (Pont *et al.,* 2002; Day *et al.,* 2008).

Una de las principales preocupaciones del manejo de los efectos del CCG en humedales costeros y en especial en manglares, se refiere a la tasa de acreción y elevación del suelo, la cual es afectada por las actividades humanas. Los manglares pueden sobrevivir al aumento de nivel del mar sólo si se acumulan suelo verticalmente (elevación) a una tasa por lo menos igual al aumento de nivel del mar (Pont *et al.*, 2002; Cahoon *et al.,* 2006; Day *et al.,* 2008). Esta tasa de acumulación es función de las contribuciones inorgánicas (sedimentación y arrastre de arena) y orgánicas (producción y descomposición de hojas, raíces y tallos); y de los patrones hidrológicos que dependen en gran medida de las características del hidroperíodo (Cahoon *et al.,* 1995; Day *et al.,* 2008), variable que rara vez se mide y/o reporta en los estudios de humedales costeros en México.

Hasta hace poco solamente había pruebas empíricas del incremento en la frecuencia de ciclones y huracanes más intensos con el aumento de las temperaturas superficiales del mar (Raper, 1993; Walsh, 2004). Uno de los efectos de estos eventos son las olas de tormenta que afectan hacia el interior de la línea de costa y a elevaciones más altas por el respectivo incremento del nivel del mar. De acuerdo a lo anterior se podrían observar cambios en la geomorfología de las costas y con ello de los manglares, sin embargo, se debe insistir, que la capacidad de mitigación y de resiliencia de los manglares a estos eventos será mayor mientras mejor condición tenga el manglar en particular sujeto a impacto, lo cual significa contar con un diagnóstico de la condición que guardan cada ecosistema de manglar de acuerdo a indicadores de estructura

(especies, área basal, densidad de árboles, regeneración, entre otros) y de función (productividad, acreción/elevación del suelo, dinámica de nutrientes, entre otros), así como su nivel de vulnerabilidad y capacidad de resiliencia, estos diagnósticos integrados no existen o no están disponibles a los tomadores de decisión.

Para las costas de México, aun no hay consenso en cuanto al incremento o decremento de la precipitación anual y cambio en los patrones estacionales a nivel regional o local, así como tampoco los hay en el corto y largo plazo. Sin embargo, el más reciente informe de IPCC (2007) indica que habrá mayor disponibilidad de agua en los trópicos y en latitudes altas, por lo que cambios en la entrada de agua a los manglares estará en función de la latitud. Estos cambios provocarán las variaciones específicas en los aportes de sedimento y nutrientes que ingresen a los manglares. Por último, estos cambios en los aportes de agua y sedimentos se verán también afectados de forma sinérgica por las modificaciones esperadas por las acciones humanas sobre la circulación del agua y el manejo que se haga del suelo y de los desechos como producto de las actividades productivas en las costas del país.

En el corto plazo, las acciones en los ecosistemas de manglar deben estar dirigidas a favorecer su capacidad de mitigar, resistir o ser resilientes a los efectos del CCG, por lo que las políticas públicas deben tener un componente importante de conservación de los manglares que existen y de restauración de los degradados. Los resultados de los programas de monitoreo de largo-plazo deben ser considerados para sustentar la legislación actual, pero no significa quitar los "candados" que la actual 60 TER* establece.

En el largo plazo, hay que considerar la creación de nuevas zonas de manglar donde no haya conflicto con el desarrollo costero, por lo que se debe considerar en los ordenamientos costeros, tal y como se contempla en áreas de reserva territorial para nuevos asentamientos humanos. Si esto no es internalizado en las políticas públicas, en un futuro cercano las áreas de manglar desaparecerán y dejarán de ser el motor de las cadenas tróficas de muchas áreas costeras de México (Aburto-Oropeza *et al.,* 2008).

Desde la perspectiva de la variabilidad de climas en la zona costera y su efecto en las características individuales de los tipos de manglar, estos ecosistemas tienen que ser vistos en el contexto de su ubicación espacial, por lo que los impactos que resulten del cambio climático serán de tipo sitio-específico y por su conectividad los efectos negativos se verán en otros ecosistemas (*e.g.* praderas de pastos marinos y arrecifes de coral). Bajo esta perspectiva, se debe hacer un análisis de los cambios esperados de acuerdo a los modelos regionales y locales del clima, y determinar cómo estos concuerdan con las respuestas de los manglares a nivel de escala regional y local. Esto significa que los tomadores de decisión de los gobiernos federales, estatales y municipales, deberán invertir en programas de monitoreo de indicadores de vulnerabilidad y sensibilidad de los manglares.

* La 60 TER se refiere al artículo que se añadió a la Ley General de Vida Silvestre, y en la cual se señala la prohibición de acciones que pongan en riesgo el flujo hidrológico del manglar, el ecosistema y su área de influencia. estas actividades son el dragado, relleno, remoción, trasplante y poda del manglar. Pero también señala que si las actividades antes señaladas están enfocadas a proteger, restaurar, investigar y conservar pueden ser exceptuadas de la prohibición.

Lecciones aprendidas

El escenario ambiental de Yucatán

La península de Yucatán (PY) se ubica en la porción sureste de México, donde hay un clima de tipo cálido–húmedo, caracterizado por presentar 3 temporadas climáticas: secas (marzo a mayo), lluvias (junio a octubre) y "Nortes" (noviembre a febrero). La precipitación media es de 400 mm/año, con una evaporación media de 2 000 mm/año. El régimen de marea que se presenta en la costa de Yucatán es de tipo mixto semidiurno de 0.6 m (Herrera- Silveira, 1994).

La PY es una plataforma cárstica, con escasa elevación y accidentes topográficos, expuesta a huracanes. Por la escasa pendiente (<1%), se ha estimado que los ecosistemas costeros como los manglares en esta zona son vulnerables al aumento acelerado del nivel del mar (Ortíz-Pérez y Méndez, 1999). Por otra parte, la geomorfología de la PY favorece la formación de una serie de cuerpos de agua inundables estacionalmente denominadas ciénegas (*e.g.* puertos de Progreso, Sisal, El Palmar) o permanentemente conformando lagunas costeras (*e.g.* Celestún, Chelém y Dzilám). En ambos casos, estos cuerpos de agua se encuentran bordeadas por bosques de manglar dominados por una o la mezcla de dos o más especies (*Rhizophora mangle, Avicennia germinans y Laguncularia racemosa)*.

Una de las características geomorfológicas que más destacan en la PY es la ausencia de flujos superficiales de agua continental a través de ríos. Debido a la condición cárstica del suelo; los aportes de agua dulce llegan a la costa a través de descargas de agua subterránea a manera de manantiales (Herrera-Silveira y Comín, 2000). Esta fuente de agua dulce se caracteriza por sus altos aportes de nitratos (>60 μM) y silicatos (>300 μM), así como bajo contenido fosfatos (<0.05 μM) y materia particulada (<1mg/l) (Herrera-Silveira, 2006), por lo que entre otros aspectos tienen influencia en la formación de gradientes ambientales (de salinidad principalmente), dinámica de nutrientes, que se asocian a los patrones espaciales y temporales de estructura y función de los ecosistemas de manglar desde el nivel de especie hasta de paisaje (Herrera-Silveira *et al.,* 2000; Zaldívar-Jiménez *et al*., 2004).

Las características cársticas de la PY favorecen que el agua fluya en una compleja red de ríos subterráneos así como la presencia de los característicos cenotes en toda la Península, con una acumulación de los mismos a lo largo de una línea circular (anillo de cenotes) relacionado con el cráter de Chicxulub (figura 2), y el cual determina flujos dominantes hacia los extremos oriente (Bocas de Dzilám) y poniente (Celestún-Palmar) de este "anillo de cenotes".

De las 73 893 ha de cobertura de manglar para Yucatán, gran parte está distribuida en la Reserva de la Biosfera Ría Celestún y la Reserva Estatal Bocas de Dzilám (67 % del total), en la tabla 2 se describe la distribución de manglares en Yucatán donde el mayor porcentaje de manglares coincide con las principales zonas de descarga de agua del acuífero. La geohidrología de la costa norte de Yucatán determina el desarrollo de escenarios ambientales a nivel regional de manglares tipo húmedo y seco (figura 3).

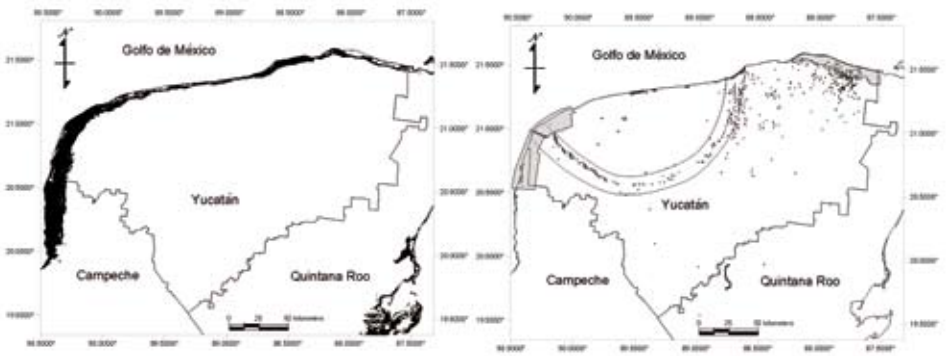

Figura 2. Características ambientales de las zona costera de Yucatán entre las que destacan la cobertura de manglar (a); y el anillo de cenotes (b) que intercepta en la costa y favorece la distribución espacial de la mayor cobertura de manglares en el estado (Celestún y Dzilam).

Tabla 2. Características ecológicas, de gestión y amenazas que definen la condición y vulnerabilidad de los manglares en Yucatán al CCG.

Localidad/descripción	**Celestún**	**Sisal**	**Progreso**	**Dzilám**
Estatus de protección	ANP Federal	ANP Estatal	ANP Estatal	ANP Estatal
Densidad de población humana (indiv * km^{-2})	10	30	112	12
Escenarios geohidrológico	Laguna costera con descargas de subterránea	Ciénega	Lagunar costera/ciénega	Litoral costero con descargas de agua subterránea
*Relación extensión humedal/agua	8.56	0.74	1.46	0.59
Cobertura de manglar condición buena (%)	47	26	46	25
Cobertura de manglar condición regular (%)	36	16	13	13
Cobertura de manglar condición mala (%)	16	57	41	63
Especie dominante	*Rhizophora mangle*	*Avicennia germinans*	*Rhizophora mangle*	*Laguncularia racemosa* y *Rhizophora mangle*
Productividad aérea (g m^{-2} día)	4.7	2.6	2.8	3.9
Numero de huracanes en los últimos 100 años	3	5	9	10
Escenario acreción/ elevación	Baja subsidencia	Baja subsidencia	No definido	Alta subsidencia
Susceptibilidad a inundación	Bajo	Bajo	No definido	Alto

*Es la relación entre la superficie del cuerpo de agua asociada a la superficie de manglar, valores >1 indican que la superficie de agua es mayor en proporción a la del manglar asociado.

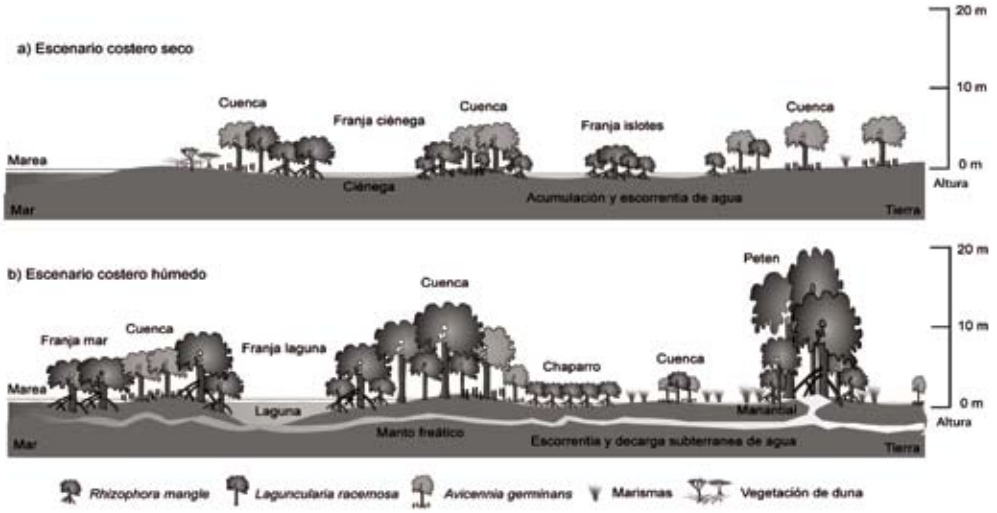

Figura 3. Modelo esquemático de la asociación entre las características geohidrológicas de la península de Yucatán y la tipología de los humedales de manglar. En sitios donde se presentan los menores aportes de agua subterránea y se observan características de manglares de ambientes secos (a), y sitios con mayores aportes de agua subterránea (b) done la vegetación de manglar adquiere estructuras forestales similares a las de sistemas húmedos.

En caso del escenario seco (figura 3a), este se caracteriza por que la inundación y los aportes de agua dulce están fuertemente influenciados por la estacionalidad de la precipitación, de manera que sus suelos son hipersalinos (>45 gr/kg) y con baja concentración de nutrientes, dando como resultado estructuras forestales de ambientes áridos, esto es, troncos de diámetro pequeño (10 cm), de baja altura (<3m) ("achaparrados-arbustivos"), y dominados por *Avicennia germinans* (mangle negro, *ta´abché* en maya). Este escenario de manglar es dominante en localidades como Sisal, Progreso, Telchac y Río Lagartos.

El escenario húmedo se caracteriza por su interacción con el anillo de cenotes al concentrar y dirigir el agua subterránea hacia sitios de intercepción preferencial con la costa siendo las dos principales regiones de Celestún-Palmar y Bocas de Dzilám (figura 3b). La interacción del agua subterránea con los humedales de manglar en estos sitios propicia que se desarrollen bosques con características ecológicas y estructuras forestales similares de ambientes ribereños y deltaicos, caracterizados por árboles de diámetros de tronco grandes (hasta 20 cm), altos (>9m) y bajas densidades (1800 árbol/ha). Estos sitios están sujetos a un régimen hidrológico de inundación-sequía frecuente por combinación de la marea y la descarga de agua subterránea. Su vegetación está dominada por *Rhizophora mangle* (mangle rojo, *taab ché* en maya) y *Laguncularia racemosa* (mangle blanco, *sakokom* en maya).

A escala local, en cada escenario de manglar se pueden observar diferentes tipos ecológicos definidos por su estructura forestal e hidroperíodo, siendo dominantes los de tipo franja, cuenca, chaparro y petén.

De acuerdo a la literatura disponible en otras partes del mundo –y que no existe para México-, los ecosistemas de manglar que reciben sedimentos terrígenos y se localizan en zonas de macro-mareas se espera puedan resistir mejor el incremento del nivel medio del mar que los manglares localizados en ecosistemas de micro-mareas y de ambientes de oligotróficos (cársticos) (Day *et al.*, 2008), tal y como sucede en las costas de la PY.

Los servicios ecológicos que proporcionan los manglares les confieren alto potencial económico y social. No obstante, son vulnerables a factores antrópicos, como cambio de uso del suelo, salinización de los sedimentos, cambios del hidroperíodo, contaminación y deforestación, así como a eventos de huracanes, tormentas e incremento del nivel medio del mar por el cambio climático. De acuerdo a lo anterior, las estrategias de manejo de manglares en Yucatán deben centrarse en la restauración ecológica de sitios degradados y en la conservación de sitios en buena condición, sin embargo, ¿hay un diagnóstico de los mangares de la PY para definir que acción tomar en cada localidad?, hasta donde sabemos no lo hay, por lo que esta sería la prioridad para generar la información necesaria para definir acciones y políticas.

En el escenario de incremento de tormentas y huracanes, los manglares son altamente resistentes por su heterogeneidad ecológica y específica. Empero, su capacidad de resistencia y recuperación natural se ha visto reducida en muchos sitios por causa de actividades antrópicas, las cuales ponen en riesgo la continuidad de los manglares y por ende, sus bienes y servicios ecológicos (Teutli-Hernández, 2004).

Vulnerabilidad y resiliencia de los manglares

Los manglares están identificados como ecosistemas altamente resilientes a factores ambientales. Sin embargo, esta capacidad de recuperación se asocia al estado ecológico que deben guardar sus características estructurales y funcionales, ya que esto les permite adaptarse a la variación de factores externos. En la interacción de las características ecológicas, el uso y aprovechamiento por las comunidades circundantes a los manglares y los instrumentos de gestión para su conservación y restauración juegan un papel importante sobre los manglares, ya que en su conjunto determinan la sensibilidad de estos ecosisitemas a ciertos impactos y/o perturbaciones que incluyen las manifestaciones de CCG. La sensibilidad a ser afectados por un factor natural y/o antrópicos es lo que se conoce como su vulnerabilidad.

La combinación de las características ecológicas intrínsecas de cada manglar (geohidrología, condición de su estructura forestal, especie dominante), el estatus de protección y uso (áreas naturales protegidas, desarrollo urbano) y las presiones antrópicos y naturales (amenazas y perturbaciones), son factores que determinan la vulnerabilidad de los manglares al CCG, sobre todo en su estructura, función y servicios ecológicos (tabla 2). Las amenazas del CCG sobre los manglares y que causan deterioro son principalmente asociados a modificaciones hidrológicas, contaminación del agua/suelo y cambio de uso de suelo. Los efectos del CCG sobre los manglares están determinados por los impactos antrópicos y el escenario ambiental en que se encuentre: por lo que la vulnerabilidad a los efectos del CCG podría esperarse menor en lagu-

nas costeras por su alta heterogeneidad en comparación con las ciénagas. Los huracanes tienen efectos importantes en los manglares, sin embargo, parece incrementarse en localidades donde el cambio del uso del suelo es mayor y la recuperación de manera natural se ve afectada en sitios con alta presión antrópica y escenario ambiental de ciénega.

Elevación del sedimento y acreción vertical del suelo: vulnerabilidad de los manglares al incremento del nivel medio del mar

En la península de Yucatán, solo las lagunas de Términos y Celestún cuentan con registros de elevación y acreción vertical del suelo como una aproximación de su vulnerabilidad al incremento del nivel medio del mar.

La respuesta de los manglares a este incremento del nivel medio del mar depende de la interacción entre la acumulación de materia orgánica, variaciones de la hidrología, procesos de compactación geológica e intensidad de tormentas (Cahoon *et al*. 1995). En sistemas carbonatados como es el caso de la península de Yucatán, la ausencia de ríos no permite el aporte de sedimentos terrígenos (aportes aloctótonos), el sustrato entonces tiene como origen esqueletos de organismos carbonatados y la materia orgánica producida por los manglares, principalmente compuesta por raíces y hojarasca (aportes autóctonos). A nivel local la producción de raíces, caída de hojarasca y su descomposición son factores biológicos que determinan la formación del suelo, y entre los físicos se cuentan a la erosión y acumulación de materiales acarreados por las corriente de agua superficial y el contenido de agua subsuperficial.

La tabla de sedimentación (SET) es un dispositivo mecánico portátil para medir la respectiva elevación de sedimentos en humedales, y ayuda a entender los procesos responsables de las variaciones de elevación (figura 4a). El SET puede usarse para determinar tanto el efecto sobre el suelo de un evento meteorológico (huracanes), así como de procesos de largo-plazo y relacionarlos con el incremento del nivel del mar. Los cambios de elevación del sedimento medidos por el SET están influenciados tanto por procesos superficiales y sub-superficiales que ocurren en el interior del perfil del suelo del manglar. Al mismo tiempo que el SET se deben realizar medidas simultaneas con marcas de horizonte (con feldespato) para determinar la acreción vertical que incluye procesos que ocurren principalmente en superficie (figura 4b). Cuando se usan simultáneamente el SET y las marcas de feldespato pueden proveer información de los procesos debajo del suelo que influyen en variaciones del nivel del sedimento en un humedal. La diferencia entre la tasa de acreción vertical y el cambio de elevación se conoce como subsidencia superficial.

El monitoreo con el SET y la marca de feldespato son aproximaciones metodológicas para abordar la hipótesis de que la acreción es igual a la elevación por lo que la subsidencia es igual a cero y ante un incremento del nivel medio del mar el humedal se inundará. En el ejemplo hipotético 1 (figura 4) la diferencia entre los valores de acreción y de elevación es cercano a cero por lo que en sitios con ese comportamiento la subsidencia superficial es baja; estos sitios

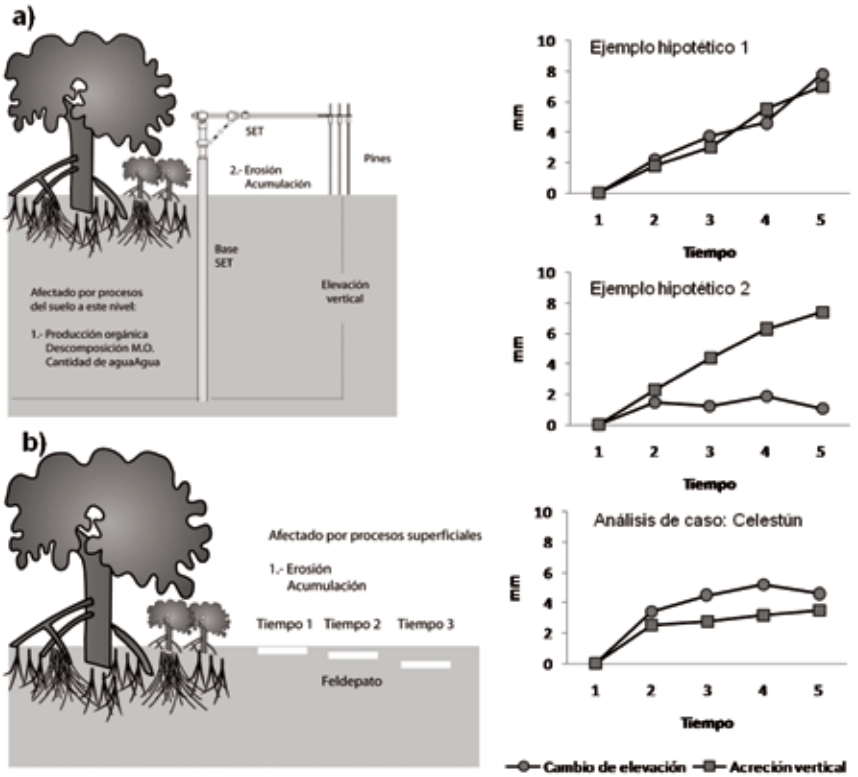

Figura 4. Aproximación metodológica empleada para la medición de las variaciones de elevación del sedimento con la tabla de sedimentiación "SET" (a); y la acreción con el feldespato (b). En el ejemplo hipotético 1, la diferencia entre la acreción y la elevación se conoce como subsidencia, en este caso es cercano a cero indicando que este sitio se encuentran en equilibrio en cuanto a los procesos de formación del suelo por lo que son menos vulnerables a inundarse. En el ejemplo hipotético 2, se presenta alta subsidencia por lo que son altamente vulnerables a inundarse en el largo plazo por el incremento del nivel medio del mar. En el ejemplo real de Celestún, la subsidencia estimada en el programa de monitoreo indica que esta es baja, por lo que este manglar puede mitigar los efectos del CCG.

no son vulnerables a inundación; por otra parte, en el ejemplo hipotético 2, la diferencia entre la acreción y elevación indica alta subsidencia superficial por lo que potencialmente son vulnerables a inundarse.

Como un ejemplo, en la laguna Celestún (Yucatán) se lleva a cabo el monitoreo de la acreción y elevación desde 1999, el cual forma parte del Programa de Manglares implementado por el laboratorio de Producción Primaria del Cinvestav-IPN Unidad Mérida. Los manglares de laguna Celestún presentan baja subsidencia y son capaces de responder a un incremento de 2 mm por año del nivel medio del mar ya que su acreción y elevación están por arriba de este valor (figura 4), por lo que no serían vulnerables a inundarse, lo cual no concuerda con lo sugerido por Ortíz-Pérez y Méndez (1999), indicando que los procesos greomorfológicos y de

clima local son importantes en el momento de hacer predicciones y por lo tanto el diseño de políticas y acciones dependerán de los resultados sitio-específicos.

De acuerdo a lo anterior, el monitoreo de los procesos que controlan la formación del suelo de los manglares a nivel de sitio debe de considerarse una prioridad para el manejo de estos ecosistemas frente al cambio climático e incremento del nivel medio del mar.

Secuestro de carbono

También en el contexto del largo-plazo, los ecosistemas de manglar deben empezar a ser considerados seriamente como almacenes de corto y largo plazo de carbono en los programas de mitigación de los impactos del CCG, por lo que los programas de rehabilitación/restauración de manglares no sólo deben ser apoyados con base en consideraciones ecológicas y socioeconómicas, sino también por su potencial como eficientes sumideros de CO_2 (tabla 3).

Los bosques de manglar son considerados como ecosistemas muy productivos, sin embargo, la mayoría de los datos sobre su productividad son con base en la caída de hojarasca colectada mensualmente, y mucho menos información existe sobre su producción de biomasa relacionada con madera o subterránea. El carbono producido por los manglares puede tener varios destinos diferentes: (i) que parte se consuma como biomasa por la fauna directamente o después de la exportación al sistema acuático; (ii) puede ser incorporado al sedimento donde es almacenado por períodos de tiempo más largos; (iii) puede ser remineralizado y exportado a la atmósfera como CO_2, o como carbono inorgánico disuelto; y (iv) puede ser exportado a los ecosistemas adyacentes en forma orgánica (disuelta o particulada) donde puede ser depositado en sedimentos, mineralizado, o consumido por la fauna (Bouillon *et al*., 2009). En México el papel que juegan los manglares como almacenes y sumideros de carbono son prácticamente desconocidos tanto a nivel local, regional, por tipo geomorfológico y ecológico.

Tabla 3. Comparación de almacenes y acumulación de carbono en el largo-plazo por parte de diferentes ecosistemas costeros. Pg = 10^{15} g. (Laffoley y Grimsditch, 2009).

Tipo de Ecosistema	C acumulado ($g\ C\ m^2$)		C global acumulado (Pg C)		Tasa de acumulación de C en suelo ($g\ C\ m^{-2}\ año^{-1}$)
	Planta	Suelo	Planta	Suelo	
Marisma templadas	--	--	--	--	210
Manglares	7 990	--	1.2		139
Pastos marinos	184	7 000	0.06		83
Bosques de macroalgas	120	720	0.009	0.02	--

Sugerencias y recomendaciones

Se espera que el cambio climático global actúe sobre los ecosistemas costeros en sinergia con otras presiones, lo cual depende de características regionales como clima, geomorfología, entre otros, y locales como la microtopografía, balance entre acreción y subsidencia.

En el contexto del CCG, los humedales y en especial los costeros, son considerados entre los ecosistemas menos conocidos y con papeles ecológicos importantes por su contribución en la dinámica, flujo y almacenamiento de nitrógeno, fósforo y en especial del carbono. Es por ello, que la política ambiental debe promover la conservación y restauración de los humedales como parte de la estrategia de mitigación y adaptación al cambio climático de las zonas costeras.

Entre las primeras estrategias de manejo tendientes a minimizar los efectos del CCG en los manglares, están las acción para reducir las fuentes de estrés adicional que puedan reducir la capacidad de resiliencia de los manglares al CCG. Se debe mantener la hidrología natural, reducir la contaminación, reducir la introducción de vegetación exótica, proteger la diversidad biológica e integridad, como acciones importantes para mantener y/o mejorar la resistencia de los ecosistemas de manglar. Con el propósito de mitigar los efectos del CCG, la restauración ecológica debe ser considerada como parte de las políticas ambientales de las instituciones federales, estatales y municipales, sin embargo, debido a los extensos fracasos que la reforestación de manglar ha tenido en Yucatán, se recomienda como acción la rehabilitación hidrológica.

En términos de investigación y monitoreo, se sugiere llevar a cabo estudios relacionados con la modelación de la vulnerabilidad de los manglares al incremento acelerado del nivel medio del mar en cada localidad debido a las variaciones espaciales de hidrodinámica, microtopografía, procesos asociados a las tasas de acreción y subsidencia que afectan la elevación del sedimento, así como investigaciones relativas a flujos y almacenes de carbono en manglares de diferente tipo ecológico y bajo escenarios ambientales y de impacto variable. Todo lo anterior con el propósito de que los manglares recuperen y/o continúan proveyendo servicios ecológicos importantes bajo condiciones climáticas cambiantes.

Literatura citada

Aburto-Oropeza, O., E. Ezcurra, G. Danemann, V. Valdez, J. Murray, y E. Sala, 2008. Mangroves in the Gulf of California increase fishery yields. *Proceedings of the National Academy of Science,* 105(30): 10456 –10459.

Bouillon, S., VH. Rivera-Monroy, RR. Twilley, JG. Kairo, D.d'A. In Laffoley, y G. Grimsditch (eds), 2009. The management of natural coastal carbon sinks. IUCN, Gland, Switzerland. 53 p.

Cahoon, D.R., D.J. Reed, y J.W. Day, 1995. Estimating shallow subsidence in microtidal salt marshes of the southeastern United State: Kaye and Barghoon revisited. *Marine Geology,* 128: 1-9

Cahoon, D.R., P.F. Hensel, T. Spencer, D.J. Reed, K.L. McKee, y N. Saintilan, 2006. Coastal wetland vulnerability to relative sea-level rise: wetland elevation trends and process controls. p. 271-292. *In:* J.T.A. Verhoeven, B. Beltman, R. Bobbink, D. Whigham (eds.), Wetlands and Natural Resource Management. Ecological Studies, vol. 190. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg.

Conabio, 2009. Manglares de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México DF. 99 p.

Day, J. W., R. R. Christian, D. M. Boesch, A. Yáñez-Arancibia, J. Morris, R. R. Twilley, L. Naylo, L. Schaffner, y C. Stevenson, 2008. Consequences of climate change on the ecogeomorphology of coastal wetlands. *Estuaries and Coasts,* 31:477–491.

Erwin, K. L., 2009. Wetlands and global climate change: the role of wetland restoration in a changing world. *Wetlands Ecol Manage,* 17:71–84

Field C., 1995. Rationale for restoration of mangrove ecosystems in restoration of mangrove systems. The international tropical timber organisation in the International Society for Mangrove Ecosystem. pp. 28-35.

Gilman. E.L., J. Ellison, N.C. Duke, y C. Field, 2008. Threats to mangroves from climate change and adaptation options: A review. *Aquatic Botany,* 89: 237–250.

Gobierno del estado de Yucatán, 2010. Reserva estatal Ciénegas y Manglares de la costa norte de Yuctán. Diario Oficial del Gobierno del Estado de Yucatán. Decreto 285.

Herrera-Silveira, J.A., 1994. Spatial and temporal patterns in a tropical coastal lagoon with groundwater discharges. *Journal of Coastal Research,* 10(3): 738-746.

Herrera-Silveira, J.A., 2006. Lagunas costeras de Yucatán (SE, México): Investigación, diagnóstico y manejo. *Interciencia,* 19(2):94-108.

Herrera-Silveira, J.A., J. Ramírez, y A. Zaldivar, 2000. Structure and soil salinity of two mangroves forests of Yucatan, SE Mexico. *Verh. Internat. Verein. Limnol.,:* 1707-1710.

Instituto Nacional de Ecología-Semarnat (INE), 2005. Evaluación Preliminar de las Tasas de Perdida de Superficie de Manglar en México. INE-Semarnat.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007. Climate Change: the Science Basis. Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report, Cambridge University Press, Cambridge, UK. 2007.

Miller, L., y B. Douglas, 2004. Mass and volume contributions to twentieth-century global sea level rise. *Nature,* 428: 406–409.

Laffoley, D.d'A., Grimsditch, G. (eds). The management of natural coastal carbon sinks. IUCN, Gland, Switzerland. 2009. 53 p.

Ortíz-Pérez, M.A. y J.A. Méndez, 1999. Escenarios de vulnerabilidad por ascenso del nivel del mar en la cosa mexicana del Golfo de México y el Mar Caribe. *Investigaciones Geográficas,* 39: 66-81.

Pont, D., J. Day, P. Hensel, E. Franquet, F. Torre, P. Rioual, C. Ibañez, y E. Coulet, 2002. Response scenarios for the deltaic plain of the Rhône in the face of an acceleration in the rate of sea level rise, with a special attention for Salicornia-type environments. *Estuaries,* 25: 337–358.

Rahmstorf, S., 2007. A semi-empirical approach to projecting sea level rise. *Science,* 315: 368–370.

Raper, S., 1993. Observational data on the relationship between climatic change and the frequency and magnitude of severe storms. p. 192-212. *In*: R. Warrick, E. Barrow, and T. Wigley (eds.) Climate and Sea Level Change: Observations, Projections, and Implications. Cambridge University Press .

Ruiz-Luna, A., J. Acosta-Velazquez, y C. Berlanga-Robles, 2008. On the reliability of the data of the extent of mangroves: a case study in Mexico. *Ocean & Coastal Management,* 51: 342-351

Scavia, D., J.C. Field, D.F. Boesch, R.W. Buddemeier, V. Burkett, D.R. Cayan, M. Fogarty, M.A. Harwell, R.W. Howarth, C. Mason, D.J. Reed, R.C. Royer, A.H. Sallenger, y J.E. Titus, 2002. Climate change impacts on US coastal and marine ecosystems. *Estuaries,* 25: 149–164.

Stevenson, J.C., M.S. Kearney, y E.C. Pendleton, 1985. Sedimentation and erosion in a Chesapeake Bay brackish marsh system. *Marine Geology,* 67: 13–235.

Teutli-Hernandez, C., 2004. Estimación del éxito de la restauración hidrológica en zonas de manglar de la parte norte de Yucatán. Tesis profesional. Cinvestav-BUAB. 77 p.

Tomlinson, P.B., 1986. The Botany of Mangroves. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Twilley, R.R., S.C., Snedaker, A. Yáñez-Arancibia, y E. Medina, 1996. Biodiversity and ecosystem processes in tropical estuaries: perspectives on mangroves ecosystems. p. 327-370. *In:* H. A. Mooney, S. H. Cushan, E. Medina, O.E. Sala, E.D. Schultze (eds). Functional roles of biodiversity: A global perspective. John Wiley & Sons Ltd. Chapt.

Zaldívar-Jiménez, A., J. Herrera-Silveira, C. Coronado-Molina, y D. Alonzo-Parra, 2004. Estructura y productividad de los manglares en la reserva de biosfera Ría Celestún, Yucatán, México. *Madera y Bosques,* 2:25-35.

Walsh, K., 2004. Tropical cyclones and climate change: unresolved issues. *Climate Research,* 27: 77–83.

Woodroffe, C.D., 1995. Response of tide-dominated mangrove shorelines in northern Australia to anticipated sea-level rise. *Earth Surf. Proc. Land,* 20: 65–85.

Flores Hernández D., J. Ramos Miranda, L.A. Ayala-Pérez, y A. Sosa-López, 2010. Las pesquerías y el cambio climático, p. 437-452 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.

Las pesquerías y el cambio climático

Domingo Flores Hernández, Julia Ramos Miranda, Luis Amado Ayala Pérez y Atahualpa Sosa López

Resumen

Los efectos del cambio climático global en las pesquerías están asociados a los efectos sobre el ambiente en el que ellas se desarrollan; por tanto hablar del impacto del cambio climático *per se* sobre las pesquerías es prácticamente imposible sin considerar al ecosistema. En los sistemas marinos, uno de los eslabones más sensibles de la red trófica a cambios en el régimen climático son los productores primarios (fitoplancton). Cuando este eslabón es modificado, una serie de cambios pueden ocurrir a lo largo de toda la cadena trófica hasta los depredadores de mayor nivel, produciendo modificaciones en abundancia y distribución de las especies. Las pesquerías a nivel mundial están en una tendencia hacia la reducción de las capturas y la mayoría de las pesquerías mexicanas muestran también tendencias a la disminución. La gran parte de los recursos están catalogados por la Sagarpa en un nivel de máxima explotación. Aunque la actividad pesquera constituye el 3.0% del Producto Interno Bruto del país (PIB); no se reporta ninguna medida o evaluación del efecto del cambio climático sobre las pesquerías. De acuerdo a los diagnósticos de explotación de los recursos, aquellos que muestran alguna posibilidad de crecimiento en el lado Pacífico, son el calamar gigante en Baja California; la langostilla, el pez espada, el barrilete y el sargazo. En el lado del Golfo de México y el Mar Caribe, la almeja, el atún y el pulpo. Sin embargo, la proporción de incremento de la explotación no se ha determinado para ninguno de estos recursos. Asimismo, algunos han sido estudiados de manera particular, en relación a la variabilidad de su abundancia con el cambio climático global. Tal es el caso de la sardina, el atún, el abulón, el calamar gigante, la almeja

generosa, el camarón, el ostión y como recurso natural la ballena, mostrando efectos concluyentes en el comportamiento de su abundancia y distribución. Estos efectos son asociados a los eventos del Niño y La Niña, pero también a variaciones en la salinidad y temperatura de los ecosistemas.

Introducción

Actualmente es reconocido que las capturas pesqueras son un indicador del cambio climático global (Sharp, 2003). Esto realza su importancia ante un fenómeno que hoy por hoy es de gran importancia. Los cambios en el clima se deben principalmente a la variabilidad de la actividad solar (Sharp, 2003); sin embargo, numerosos autores han reconocido que la temperatura de la superficie del océano en todo el mundo se ha ido incrementando en los últimos 45 años, aunque la tasa de calentamiento varía considerablemente de un océano a otro (Levitus *et al*., 2000, 2005 y 2009). Los efectos del cambio climático global en las pesquerías son por tanto asociados a los efectos sobre el ambiente en el que ellas se desarrollan; por tanto hablar del efecto del cambio climático *per se* sobre las pesquerías es prácticamente imposible sin considerar al ecosistema.

El calentamiento global antropogénico ha influenciado significativamente los procesos físicos y biológicos a escalas regional y global; sin embargo, los cambios observados y los anticipados representan oportunidades y desafíos para las sociedades y sus economías (Allison *et al*. 2009). Se ha demostrado, que el incremento de la concentración de CO_2 antropogénico debido a la combustión de petróleo fósil y la deforestación, tienen un efecto sobre el ecosistema (Harley *et al*., 2006). Las actividades humanas provocan grandes concentraciones de gases invernadero en la atmósfera, lo cual a su vez origina una serie de cambios físico-químicos en la zona costera y océanos (figura 1). Diferentes efectos del cambio climático global como la modificación de los "*upwellings*", el incremento en la temperatura del agua y su acidificación pueden tener efectos sobre los organismos y los ecosistemas, afectando finalmente las pesquerías.

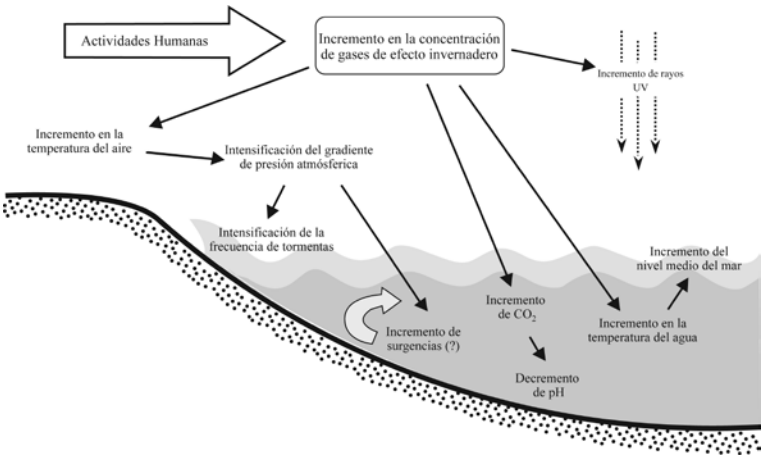

Figura 1. Cambios abióticos importantes asociados con el cambio climático. Tomada de Harley *et al.* (2006).

Se han esquematizado los efectos que tiene el cambio climático global sobre el ciclo de vida de especies marinas, incluidas especies comerciales (figura 2; Harley *et al*., 2006). A nivel población (caja rectangular), los cambios abióticos en el ambiente tienen impactos directos (cajas cuadradas) sobre la dispersión y el reclutamiento y sobre la eficiencia individual (crecimiento, mortalidad, otros) en varias etapas del ciclo de vida. A nivel organismo, la comprensión de la relación causa-efecto del cambio climático en los ecosistemas requiere una evaluación de los límites térmicos de las especies y de su habilidad para hacer frente a los cambios de temperatura; ya que este factor además de incidir directamente sobre la tolerancia térmica, tiene un papel importante en la capacidad de aporte de oxígeno a los tejidos, siendo una limitante después de cierto nivel (Pörtner y Knust, 2007). Efectos adicionales se filtran a nivel de la comunidad vía cambios en el tamaño de las poblaciones y los efectos *per cápita* de las interacciones entre especies. Los efectos ecológicos del cambio climático incluyen desviaciones en las eficiencias individuales, la dinámica de las poblaciones y la estructura de las comunidades. Juntos, estos efectos dan lugar a patrones emergentes (caja oval) tales como cambios en la distribución de las especies, biodiversidad, productividad y procesos microevolutivos, aunque es difícil tener predicciones precisas sobre los impactos en las especies del calentamiento global (Schubert *et al*., 2006).

Un hecho aceptado generalmente es que algunas especies se verán afectadas positivamente, pudiendo ampliar su rango de distribución; mientras que otras se verán afectadas negativa-

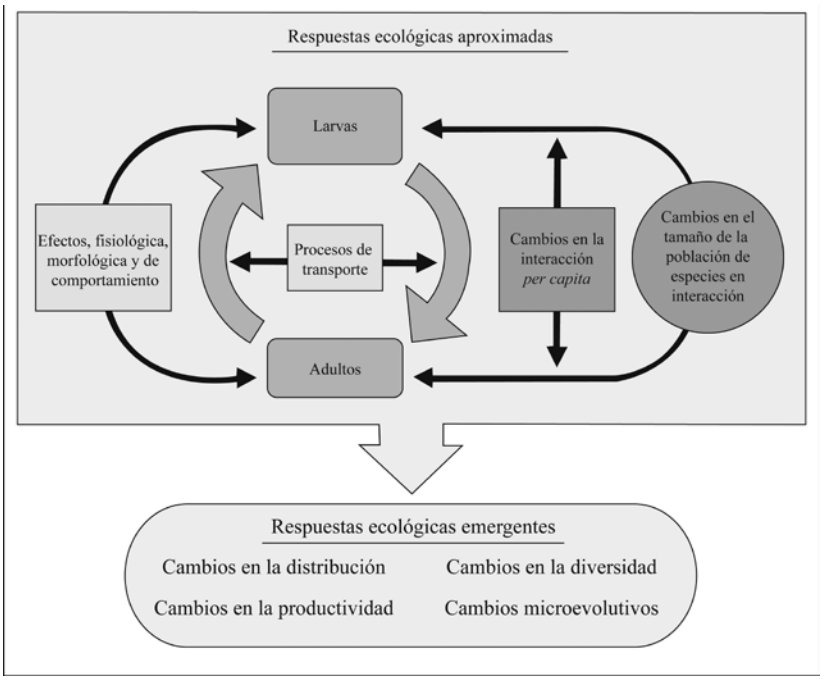

Figura 2. Respuestas ecológicas potenciales al cambio climático global. Modificada de Harley *et al.* (2006).

mente, reduciendo su rango de distribución, entre estas se encuentran las especies confinadas a las zonas polares (Parmesan, 2006). Esto sin penetrar mucho más en el complejo de relaciones de cada especie con los factores abióticos ni con las relaciones intra e interespecíficas que deben de verse también afectadas. De esta forma, es posible también considerar alteraciones en las relaciones tróficas de muchas especies. En este sentido una de las grandes incertidumbres es como se ven afectadas las interacciones entre especies, aunque se ha documentado que en grandes lagos templados desde 1962, ha habido rupturas en las uniones entre fitoplancton y zooplanton, produciéndose un desfasamiento en el momento del *bloom* fitoplantónico, que a largo plazo produjo el decaimiento de las poblaciones de *Daphnia*, repercutiendo en cascada en otros niveles tróficos, incluyendo los recursos pesqueros (Winder y Schindler, 2004). En otro aspecto, se han señalado fuertes cambios en el ecosistema y particularmente en el fitoplancton; durante el periodo más cálido en el Atlántico noreste, en donde la producción de fitoplancton se incrementó; mientras que en la zona más cálida decreció (Richardson y Schoeman, 2004).

Se ha señalado que los ecosistemas marinos muestran ya una pérdida de poblaciones y de especies con consecuencias desconocidas Worm *et al*. (2006). La proporción de colapso de recursos se incrementa y la recuperación potencial de la estabilidad y la calidad del agua decrecen exponencialmente con la declinación de la biodiversidad. La restauración de la biodiversidad, en contraste, incrementa la productividad y reduce la variabilidad 21% en promedio. Señalando que la tendencia negativa puede aún ser revertida. Asimismo se ha mencionado que el cambio climático puede afectar de dos formas, la primera supone un cambio gradual en el cual las especies van adaptándose suavemente; otro cambio drástico (ciclones), el cual pone en juego la capacidad de resiliencia del ecosistema y en consecuencia la permanencia de la comunidad. Es pertinente hacer esfuerzos para mantener la resiliencia de los ecosistemas y así conservar los recursos incluyendo las pesquerías (Marten *et al*., 2001).

Cambio climático global y pesca, factores que modifican el ecosistema y las pesquerías

Diferentes autores indican que hay un efecto sinergético entre el cambio climático global y la sobrepesca (Gitay *et al*., 2002; Schubert *et al*., 2006; Kirby *et al.,* 2009, entre otros) y han esquematizado las relaciones entre organismos a través de la red trófica (figura 3) (Schubert *et al*., 2006). En los sistemas marinos, uno de los eslabones más sensibles de la red trófica a cambios en el régimen climático son los productores primarios (fitoplancton). Cuando este eslabón es modificado, una serie de cambios pueden ocurrir a lo largo de toda la cadena trófica hasta los depredadores de mayor nivel, este flujo de energía desde la base de la cadena trófica es conocido como control "*bottom-up*". Sin embargo, el flujo energético y la estructura de la cadena trófica también pueden ser modificados por cambios en el eslabón superior lo cual corresponde a un control "*top-down*"; esto puede darse por sobrepesca de los depredadores y/o cambios climáticos que afectan a los mismos. Los cuales pueden tener profundas modificaciones en la estructura de la comunidad y la biodiversidad, La figura 3, es aplicable no sólo a un ecosistema

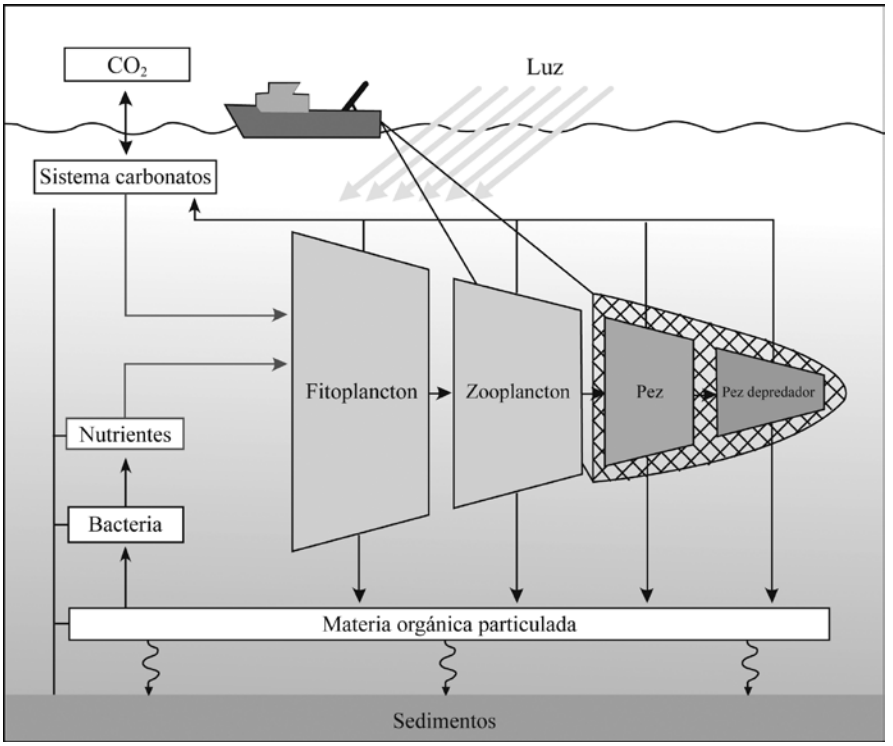

Figura 3. Estructura esquemática de un ecosistema marino pelágico. Las flechas grises indican las entradas para la productividad primaria; flechas negras señalan la interacción con el sistema de carbonato; las flechas muestran la descomposición de la biomasa. Se excluyen aves y mamíferos marinos. Tomado de Schubert *et al.* (2006).

pelágico, sino a otros, pues muchos organismos demersales y aún bentónicos poseen etapas pelágicas en su desarrollo ontogénico.

Otros autores (Gitay *et al.*, 2002) reportan como resultado un cambio en la productividad y la estructura de los ecosistemas marinos. Señalan que el cambio en el clima de los años ochenta tuvo un impacto en el plancton y la pesca, cuya consecuencia fue la reducción del reclutamiento del bacalao en el Mar del Norte. Una vasta serie de datos sobre la temperatura y el número de bacalaos y el plancton, muestra que se produjo una serie de cambios desde el pelagos hasta el bentos, creando una cascada trófica favoreciendo los grupos tróficos inferiores sobre los recursos pesqueros comerciales. Asimismo, estos autores indican que la recuperación del estado inicial es improbable, por lo que es mejor adaptar el manejo de los recursos a esta nueva situación integrando los aspectos ecológicos. Por otra parte se ha señalado que en muchas pesquerías la sobrepesca ha sido un factor muy importante, tal es el caso de la pesquería de anchoveta del Perú y el bacalao de Nueva Inglaterra; sin embargo, se tiende a asociar el colapso de estas pesquerías al cambio climático a pesar de que aún se continúa con la sobreexplotación de los recursos (Pauly *et al.*, 2002).

Atribuir las causas de tendencias biológicas al cambio climático es complicado debido a que hay factores no climáticos que determinan cambios biológicos en el corto plazo y localmente. Diversos análisis muestran un rango de desviación de la distribución de las especies de 6.1 km por década hacia los polos, además un significativo avance de la primavera de 2.3 días por década. Asimismo se ha observado en el análisis de series de datos de gran escala en tiempo y en espacio para 273 especies, que efectivamente hay un impacto del cambio climático en los ecosistemas (Parmesan y Yohe, 2003). Aunque se menciona que el efecto de la pesca sobre las poblaciones sucedió antes que otros factores (*e.g.* contaminación, destrucción del hábitat, etc.) (figura 4) y que existe un efecto sinérgico sobre los ecosistemas y en consecuencia sobre las poblaciones y las pesquerías (Jackson *et al*., 2001).

Como se ha mencionado, se ha documentado el ir y venir de las pesquerías desde hace mucho tiempo. ¿Cuántos de estos cambios se deben a la pesca y/o a otras causas? es el dilema. La mayoría de especies oceánicas se desarrollan cerca de la media del rango de temperatura de tolerancia. En la mayoría de las especies locales el estrés térmico ocurre en no o más allá de sus extremos cálido o frío (Sharp, 2003). Especies con más amplia tolerancia con frecuencia tienen una única característica fisiológica y anatómica y muchos de este grupo han evolucionado hacia adultos grandes y/o con amplias migraciones.

Por diversas razones, el cambio climático global ha sido más estudiado en la zona norte del Pacífico y en la parte norte del Atlántico, pero poco en México. Se ha señalado que desde 1950 estos cambios están asociados a un progresivo calentamiento de la temperatura superficial tropical, particularmente en los océanos Índico y Pacífico (Hoerling *et al*., 2001). Los cambios en los océanos alteran el patrón y magnitud de las lluvias tropicales y la temperatura atmosférica, por lo que la respuesta atmosférica incluye la estructura espacial de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO por sus siglas en inglés).

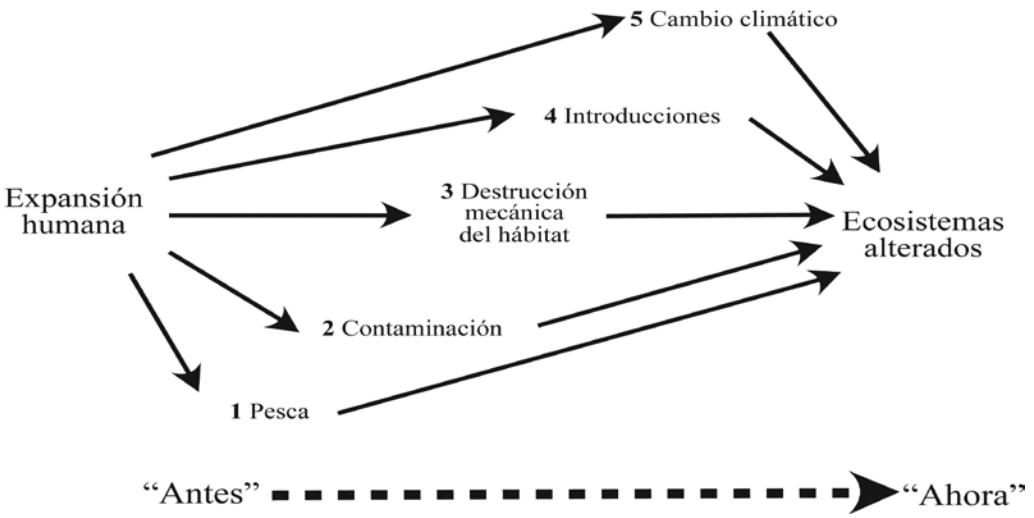

Figura 4. Secuencia histórica de perturbaciones humanas sobre ecosistemas costeros. Tomada de Jackson *et al*. (2001).

Los cambios más dramáticos en producción pesquera se dan en el Pacífico este, en las pesquerías pelágicas masivas, sin embargo, virtualmente todos los sistemas pesqueros desde templados hasta polares exhiben fuertes variaciones (Sharp, 2003). También algunas especies demersales son moduladas de la misma forma por estos cambios de régimen y la mayoría de especies migratorias predadoras reflejan el mismo patrón que sus presas favoritas, las cuales se han desplazado. Las especies bénticas son más vulnerables por no tener la capacidad de movimiento que las especies nectónicas (*e.g.* el ostión, pues la determinación del sexo está determinada por la temperatura del agua). Algunos autores (Perry *et al.,* 2005) muestran que las distribuciones de peces del Mar del Norte explotados y no explotados tienen respuestas marcadas a incrementos de temperatura recientes; cerca de dos tercios de las especies muestran desviaciones hacia el norte en la latitud media o mayor profundidad o ambas en los últimos 25 años. Las especies que desviaron sus distribuciones tienen ciclos de vida más cortos y tallas más pequeñas que aquellas que no mostraron desviaciones. Estos cambios tendrán profundos impactos en las especies comerciales debido a cambios continuos en la distribución y alteración en las interacciones de la comunidad.

Uno de los problemas a nivel mundial es que se requieren series de datos completos y en la mayoría de las ocasiones estos no existen. En los últimos 80 años en la costa oeste de los Estados Unidos se han mostrado grandes cambios de la temperatura superficial del agua (SST) interanuales e interdécadas. Los cambios interanuales desaparecen de manera súbita y sincrónica a lo largo de toda la costa, y la frecuencia de los eventos cálidos han aumentado desde la década de los setentas (McGowan *et al*., 1998). Esto es en alguna medida extrapolable a la península de Baja California.

Estado del arte

Las pesquerías mexicanas y variaciones en las capturas de los recursos presente y futuro

Las pesquerías a nivel mundial están en una tendencia hacia la reducción (figura 5) (FAO, 2002). De acuerdo a las informaciones del INAPESCA-Sagarpa, la mayoría de las pesquerías mexicanas muestran también tendencias a la disminución. Asimismo, la gran parte de los recursos están catalogados en un nivel de máxima explotación (Sagarpa, 2004). La actividad pesquera constituye el 3.0% del Producto Interno Bruto del país (PIB); sin embargo, no se reporta ninguna medida o evaluación del efecto del cambio climático sobre las pesquerías (Fernández y Martínez, 2003). De los recursos pesqueros que muestran alguna posibilidad de crecimiento en el Pacífico se encuentran el calamar gigante en Baja California, la langostilla, el pez espada, el barrilete y el sargazo. En el lado del Golfo de México y el Mar Caribe se tienen a la almeja, el atún y al pulpo los cuales tienen algunas posibilidades de incrementar la explotación (Sagarpa, 2004). Lo anterior basados en los diagnósticos de explotación, pero no en el impacto que tiene

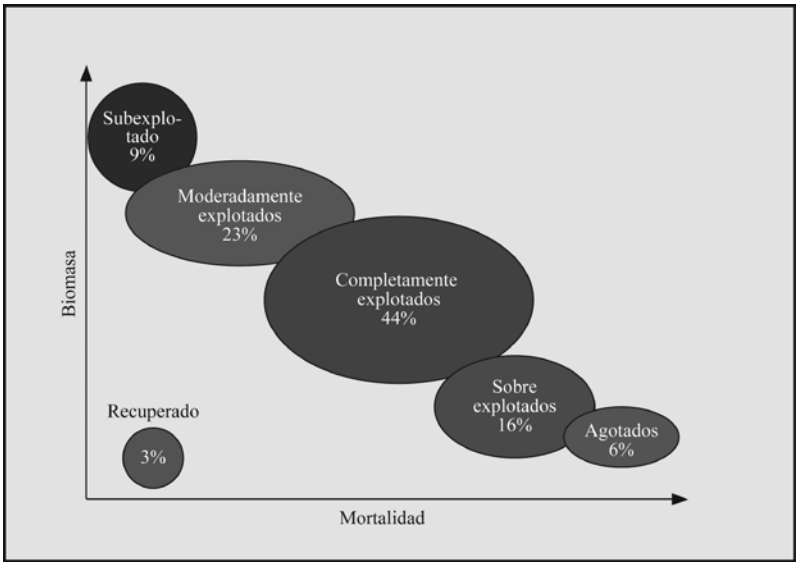

Figura 5. Esquema de la distribución del grado de explotación las pesquerías mundiales, la biomasa y relación con la mortalidad por pesca. Tomada de FAO(2002).

el cambio climático. Sin embargo, la proporción de incremento de la explotación no se ha determinado para ninguno de estos recursos.

Asimismo, algunos recursos han sido estudiados de manera particular, en relación a la variabilidad de su abundancia con el cambio climático global. Tal es el caso de la sardina, el atún, el abulón, el calamar gigante, la almeja generosa, el camarón, el ostión y como recurso natural la ballena, mostrando efectos concluyentes en el comportamiento de la abundancia y distribución de los recursos (en esta obra).

Por otra parte, es claro que en un ambiente de variabilidad creciente es difícil prever cual será el futuro de la actividad pesquera, por lo que es una necesidad continuar con el monitoreo de la explotación de los mismos y las variables que determinan su abundancia y persistencia.

Causas de estas variaciones (CCG, sobrepesca, contaminación, destrucción de hábitats, variabilidad ambiental)

Los recursos pesqueros pueden estar sujetos a diferentes factores antropogénicos vía su efecto sobre los ecosistemas. Los efectos al ecosistema se presentan en distintos niveles, llegando finalmente sobre las poblaciones de recursos pesqueros. Un factor importante es el patrón de explotación, como se ha mencionado, la mayor parte de las pesquerías mexicanas están en el nivel de máxima explotación. Por otra parte, el desarrollo sin control de pesquerías en zonas protegidas como lagunas costeras y estuarios tiene un fuerte efecto sobre los recursos (sobreexplotación del crecimiento), aunque esto ha dado empleo a numerosos pescadores ribereños. A

este sistema complejo se suman la alteración y/o destrucción del hábitat (a veces por la misma pesca), el desarrollo urbano y agrícola con los consecuentes desechos domésticos, así como plaguicidas y fertilizantes.

Los litorales del Pacífico y del Atlántico mexicanos son geomorfológicamente muy diferentes, por lo que los efectos del cambio climático global son diferentes en ambos lados. El primero completamente abierto a intercambios con el océano; en cambio el Golfo de México, está semicerrado, incluso es considerado por algunos autores como una gran laguna costera. En el Pacífico mexicano hay una mayor influencia de cambios climáticos sobre los ecosistemas y los recursos pesqueros, al menos son más evidentes. Por otra parte, existen recursos masivos de gran volumen e interés socio-económico, los cuales están conformados por grupos de especies pelágicas (sardina, anchoveta, atún), que se han revelado sensibles a dichos cambios en diversas partes del mundo (Chávez *et al*., 2003). Del lado del Golfo de México, uno de los recursos más importantes es el camarón; sin embargo, los intercambios del Golfo de México con el océano son menos drásticos que en el Pacífico. De esta forma, los estudios que relacionan los recursos y el cambio climático global, son más bien escasos. Para el Golfo de México, se reporta el efecto de modificaciones del clima sobre el reclutamiento del camarón rosado en el corto y largo plazo y se sugiere que la disminución en la tasa de reclutamiento estuvo fuertemente influenciada por la disminución en la salinidad y la disminución en la productividad primaria (Arreguín-Sánchez *et al*., 2008). Estos autores señalan que la situación puede cambiar si se mejoran los niveles de productividad primaria. Otro caso es el calamar, el atún y la sardina en el Pacífico, cuyas modificación en distribución y abundancia puede estar influenciadas por los eventos del Niño y la Niña, los cuales a su vez se ven modificados por el cambio climático global. Por otra parte el ostión en el Golfo de México, debido a sus hábitos de vida puede verse fuertemente afectado por la calidad del hábitat, principalmente variaciones en la temperatura que afectan su reproducción y por la salinidad. Esto es ampliamente explicado en los casos de estudios que se presnetan en esta obra.

Lecciones aprendidas

Entre las herramientas utilizadas para abordar el problema del cambio climático global, están las predicciones de diferentes variables como el incremento de la temperatura, la concentración de gases invernadero, el nivel del mar, la temperatura superficial del mar, entre otras. Sin embargo, las simulaciones del comportamiento de pesquerías o de comunidades en función de la temperatura no son muy abundantes en la literatura y pueden estar asociadas a incertidumbres por un lado desconocidas y generalmente muy grandes. En relación a las simulaciones de CO_2, se ha señalado los posibles efectos que podrían tenerse son cambios en: la línea de costa, estuarios, humedales, arrecifes de coral y las fronteras de los ecosistemas oceánicos; esto finalmente afectaría los ecosistemas, las poblaciones y los recursos pesqueros (Scavia *et al.,* 2002).

El incremento en la tasa de elevación del mar y la frecuencia e intensidad de tormentas y huracanes en las próximas décadas aumentará la amenaza sobre las líneas de costa, humeda-

les, y el desarrollo costero. La productividad estuarina cambiará en respuesta a la alteración en la temporalidad y cantidad de agua dulce, nutrientes y sedimentos descargados. Mayores temperaturas del agua y cambios en la descarga de agua dulce alterarán la estratificación estuarina, el tiempo de residencia y la eutroficación. Incrementos en la temperatura del océano se espera que aumenten el blanqueamiento del coral y mayores niveles de CO_2 pueden reducir la calcificación coralina, haciendo más difícil para los corales recuperarse de otros disturbios y finalmente desviarse hacia los polos. Otro de los efectos es la acidificación del océano y sus posibles consecuencias sobre la alteración del proceso de calcificación de algunos organismos (Schubert *et al*., 2006). El calentamiento del océano se espera que cause una desviación hacia los polos en el rango de distribución de muchos organismos incluyendo especies comerciales y estas desviaciones pueden tener efectos secundarios sobre la relación predador-presa. Sin embargo, estos potenciales impactos del cambio climático, pueden variar de sistema en sistema; es importante reconocer que estos se traslaparán y en muchos casos se intensificarán otras presiones del ecosistema (contaminación, depredación, destrucción del hábitat, especies invasivas, uso de la tierra y los recursos, eventos naturales extremos), lo cual puede dar lugar a efectos más notorios.

Se han proporcionado algunos escenarios para Europa del Norte, y se ha indicado que el duplicar el CO_2 atmosférico incrementará la temperatura de la superficie del mar entre 3 y 7°C; tales cambios serían muy difíciles de predecir en un ecosistema muy alterado por presiones antropogénicas. En este sentido en los ríos europeos el rango potencial de algunas especies de peces se distribuirían más hacia el norte y cambios pronunciados en la abundancia de algunas especies ocurrirían (Lehtonen, 1996). La producción total podría aumentar pero el valor comercial de las especies capturadas podría disminuir debido al cambio mencionado. Se ha señalado también la incertidumbre implícita en las predicciones sobre los diferentes escenarios que se manejan para el cambio climático global. Estas incertidumbres surgen por un lado del dilema que se tienen sobre las futuras emisiones de gases invernadero y su concentración en la atmósfera, y la incertidumbre asociada a la sensibilidad del sistema climático a las variaciones en los gases invernadero como agente forzante (Mantua y Mote, 2002). Se citan diferentes simulaciones sobre la temperatura que habrá para el año 2100: 1.4 a 5.8°C (IPCC TAR, 2001), 1.1 a 4.5°C 95% de confianza (Reilly *et al*., 2001), 1.7 a 4.9°C 90% de confianza (Wigley y Raper, 2001). Asimismo, las simulaciones de la temperatura superficial del mar y de la presión del nivel del mar, en general señalan que para el 2080 la mayor parte del planeta tendrá incrementos entre 1 y 2°C. Entre las zonas más sensibles al incremento a la temperatura se encuentran las zonas polares; uno de los efectos de este calentamiento global es el deshielo de los polos y el consecuente aumento del nivel del mar, el cual varía de región en región, dependiendo entre otras cosas de la geomorfología de las zonas. Se ha señalado un incremento global del orden de 3.4 cm en el periodo entre 1993 y 2004 (Cazenave y Nerem, 2004).

Por otra parte se han simulado las temperaturas del Golfo de México para el 2099 durante el período de ciclones (junio-noviembre) y se han predecido valores de la superficie del agua entre 29.5 y 31.1°C (Garcíes y Cuxart, 2006). Tomando en cuenta lo señalado por Arreguín-

Sánchez *et al*. (2008), este escenario no le es favorable a la productividad primaria y por lo tanto al reclutamiento del camarón rosado en el Golfo de México.

Respecto a las pesquerías, FAO (2002) muestra algunas predicciones de producción de grupos de especies que conforman los mayores recursos pesqueros del Pacífico Norte y del Atlántico Norte. Estas predicciones están basadas en la relación entre las capturas y el régimen atmosférico en períodos de 55, 60 y 65 años (basados en fluctuaciones climáticas), el resultado es que la producción de las mayores especies comerciales seleccionadas se espera que decrezcan en el Pacífico del norte y que se incrementen en el Atlántico del norte en la próxima década (figura 6). Especies como el arenque del Pacífico, el bacalao del Atlántico, las sardinas de Sud Africa y de Perú y la anchoveta japonesa se espera un incremento entre 2000 y 2015, para decrecer posteriormente. En contraste, la producción total de las sardina japonesa, peruana, californiana y europea, el salmón del Pacífico, el pollock de Alaska y la macarela de Chile se espera que su producción disminuya para incrementarse posteriormente. La captura total de las especies consideradas –las cuales representan cerca de un tercio de los desembarques de especies marinas–, se espera a se incrementen en 5.6 millones de toneladas hacia el 2015, para disminuir en 2.8 millones de toneladas hacia el 2030; cabe mencionar que estas predicciones no toman en cuenta los niveles de explotación de los recursos.

Sugerencias y recomendaciones

Varios autores comparten la idea de que es innegable el efecto del cambio climático sobre los ecosistemas y/o sobre las pesquerías; también coinciden en que el nivel de explotación de muchos recursos pesqueros debe reducirse y aún, se deberían determinar zonas oceánicas libres de

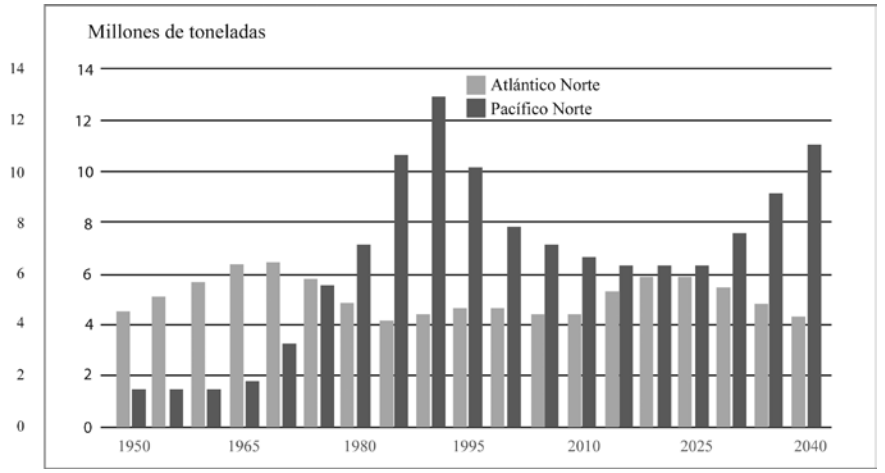

Figura 6. Tendencias de captura observadas (1951-1998) y predicciones (2000-2040) de las mayores especies comerciales. Tomada de FAO (2002).

pesca y en otras, el esfuerzo de pesca debe disminuir a niveles razonables para poder esperar la sostenibilidad de las pesquerías. Además, desde épocas anteriores se han presentado cambios en el clima de la tierra, sin embargo, actualmente el planeta está sometido a cambios climáticos abruptos inducidos en parte por las actividades humanas; la predictibilidad de estos cambios y sus consecuencias tienen aún una fuerte incertidumbre, por lo que los encargados de las políticas pesqueras deberían crear mecanismos para incrementar la investigación sobre el cambio climático (Alley *et al.,* 2003). Es más adecuado adaptar los sistemas de gestión del ecosistema y sus recursos, la toma de acciones diseñadas para mejorar la adaptabilidad y resiliencia de los ecosistemas y la economía.

Lo que es claro es que el clima seguirá cambiando y las pesquerías seguirán adaptándose a esos cambios, como lo han hecho en el pasado (Sharp, 2003). Las pesquerías más sensibles a las variables climáticas son en orden descendente: a) pesquerías de agua dulce en pequeños lagos y ríos, en regiones con grandes cambios de temperaturas y lluvias; b) pesquerías dentro de la zona económica exclusiva (ZEE), particularmente donde los mecanismos de regulación del acceso reducen artificialmente la movilidad de grupos pesqueros y sus flotas y así las habilidades para ajustar fluctuaciones en la distribución y abundancia del stock; c) pesquerías en grandes ríos y lagos; d) pesquerías en estuarios, particularmente donde hay especies sin migración o patrones de dispersión del desove o en estuarios impactados por aumento en el nivel del mar o decrecido flujo del río; e) pesquerías marinas de altura. Además de lo mencionado, una observación especial merecen las pesquerías más sensibles al cambio climático, como son aquellas más afectadas por la intervención del hombre con la construcción de tapos, disminución del accesos a migraciones río abajo o río arriba, relleno de humedales y otros impactos urbanos, agrícolas y manipulación de hábitats. Es por tanto muy importante para la administración de los recursos el tomar en cuenta tanto aspectos oceanográficos, como biológico-pesqueros para un mejor manejo y administración del recurso.

Se ha recomendado que para reducir los impactos del cambio climático sobre las pesquerías, el mecanismo más plausible sería reducir la mortalidad por pesca de los stocks que se encuentran en máximo nivel de explotación y los sobreexplotados (Brander, 2007). Se propone también una reducción de la capacidad de pesca sobre los océanos y el establecimiento de zonas oceánicas libres de pesca y por otro lado el disminuir el esfuerzo a niveles razonables en otras zonas del océano; estas medidas permitirían la sustentabilidad de los recursos (Pauly *et al*., 2002).

Referente a las pesquerías mexicanas, como se ha mencionado, la mayor parte están a un nivel máximo de explotación, por lo que las medidas señaladas anteriormente son válidas: reducción del nivel de mortalidad por pesca, creación y sobre todo respeto de las zonas prohibidas a la pesca (áreas naturales protegidas), a las medidas de regulación pesqueras (vedas, artes de pesca, patrón de pesca, etc.). Asimismo es importante desarrollar políticas de ordenamiento y manejo pesquero con enfoques ecosistémicos y adapatativos que incluya el desarrollo de tecnología, procesamiento y distribución de los recursos ante el gasto energético y la búsqueda de los recursos.

Literatura citada

Alley,R. B., J. Marotzke, W. D. Nordhaus, J. T. Overpeck, D. M. Peteet, R. A. Pielke Jr., R. T. Pierrehumbert, P. B. Rhines, T. F. Stocker, L. D. Talley, y J. M. Wallace, 2003. Abrupt climate change. *Science,* 299: 2005-2010.

Allison, M., C. Badjeck, W. N. Adger, K Brown, D. Conway, A. S. Halls, G. M. Pilling, J. D. Reynolds, N. L. Andrew, y N. K. Dulvy, 2009. Vulnerability of national economies to the impacts of climate change on fisheries. *Journal Compilation Fish and Fisheries*, 2009; 1-24.

Arreguín-Sánchez F., M. Ramírez-Rodríguez, M.J. Zetina-Rejón, y V. H. Cruz-Escalona, 2008. Natural hazards, stock depletion, and stock management in the southern Gulf of Mexico pink shrimp fishery. *American Fisheries Society Symposium,* 64: 419–428.

Brander, K. M., 2007. Global fish production and climate change. *PNAS,* 104 (50): 19709–19714.

Cazenave A., y R. Nerem, 2004. Present-day sea level change: Observations and causes'. *Reviews of Geophysics,* 42(3): 139–50.

Chávez F. P., J. Ryan, S.E. Lluch-Cota, y M.C. Ñiquen, 2003. From anchovies to sardines and back: Multidecadal change in the Pacific Ocean. *Science*, 299: 217-221.

FAO, 2002. The State of the World Fisheries and Aquaculture. FAO Fisheries Department. Roma, Italia. 150p.

Fernández A., y J. Martínez J. (coords.), 2003. Avances de México en materia de cambio climático, 2001-2002. INEGI, México. 112p.

Garcies L., y J. Cuxart, 2006. Tendencias futuras de la temperatura superficial del mar en el Caribe y el Mediterráneo occidental. *Tethys*, 3: 21–26.

Gitay H., A. Súarez, R. T. Watson, y D.J. Dokken (eds.), 2002. Climate Change and Biodiversity. IPCC. UNEP. 86 p.

Harley C. D. G., A. R. Hughes, K. M. Hultgren, B. G. Miner, C. J. B. Sorte, C. S. Thornber, L.F. Rodriguez, L. Tomanek, y S.L. Williams, 2006. The impacts of climate change in coastal marine systems. *Ecology Letters*, 9: 228–241.

Hoerling M. P., J. W. Hurrell, y T. Xu, 2001. Tropical origins for recent North Atlantic climate change. *Science,* 292: 90-92.

IPCC TAR, J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, N. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell y C. A. Johnson (eds.), 2001. Climate Change 2001: The scientific basis. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Jackson J.B.C., M. X Kirby, W.H. Berger, K.A. Bjorndal, L.W. Botsford, B.J. Bourque, R.H. Bradbury, R. Cooke, J. Erlandson, J.A. Estes, T.P. Hughes, S. Kidwell, C.B. Lange, H.S. Lenihan, J. M. Pandolfi, C.H. Peterson, R.S. Steneck, M.J. Tegner, y R.R. Warner, 2001. Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science*, 293: 629-638.

Kirby R. R., G. Beaugrand, y J.A. Lindley, 2009. Synergistic effects of climate and fishing in a marine ecosystem. *Ecosystems*, DOI: 10.1007/s10021-009-9241-9.

Lehtonen H., 1996. Potential effects of global warming on northern european freshwater fish and fisheries. *Fisheries Management and Ecology*, 3: 59-71.

Levitus S., J. I. Antonov, T. P. Boyer, y C. Stephens, 2000. Warming of the world ocean. *Science*, 287: 2225–2229.

Levitus S., J. Antonov, y T. Boyer, 2005. Warming of the world ocean, 1955–2003. *Geophysical Research Letters,* 32, L02604, doi:10.1029/2004GL021592.

Levitus S., J.I. Antonov, T.P. Boyer, R.A. Locarnini, H.E. Garcia, y A.V. Mishonov, 2009. Global ocean heat content 1955–2008 in light of recently revealed instrumentation problems. *Geophysical Research Letters,* 36, L07608, doi:10.1029/2008GL037155, 2009.

Mantua J. N., y P.W. Mote, 2002. Uncertaintity in scenarios of human-caused climate change. p. 263-272. *In:* N. A. MacGinn (ed.). Fisheries in a changing climate. American Fisheries Society, Symposium 32, Bethesda, Maryland.

Marten S., S. Carpenter, J.A. Foley, C. Folke, y B. Walker, 2001. Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature,* 413: 591-596.

McGowan J. A., D.R. Cayan, y M.D. LeRoy, 1998. Climate-ocean variability and ecosystem response in the Northeast Pacific. *Science*, 281: 210-217.

Parmesan C., y G. Yohe, 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature,* 421: 37-42.

Parmesan C., 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst*., 37:637–69.

Pauly D., V. Christensen, S. Guénette, T.J. Pitcher, U.R. Sumaila, C. J. Walters, R. Watson, y D. Zeller, 2002. Toward sustainability in world fisheries. *Nature,* 418: 689-695.

Perry A. L., P.J. Low, J.R. Ellis, y D. Reynolds, 2005. Climate change and distribution dhifts in marine fishes. *Science,* 308: 1912-1915.

Pörtner H. O., y R. Knust, 2007. Climate change affects marine fishes through the oxygen limitation of thermal tolerance. *Science,* 315: 95-97.

Reilly J.P., H. Stone, C.E. Forest, M.D. Webster, H.D. Jacoby, y R.G. Prinn, 2001. Uncertainty and climate assessment. *Science*, 293: 430-433.

Richardson A. J., y D.S. Schoeman, 2004. Climate impact on plankton ecosystems in the Northeast Atlantic. *Science,* 305 (5690): 1609-1612.

Sagarpa, 2004. Carta Nacional Pesquera. 2004. http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/cona_carta_nacional_pesquera_2004.

Scavia D., J.C. Field, D.F. Boesch, R.W. Buddemeier, V. Burkett, D.R. Cayan, M. Fogarty, M. A. Harwell,R.W. Howarth, C. Mason, D.J. Reedd, T.C. Royer, A.H. Sallenger, y J. G. Titus, 2002. Climate change impacts on US coastal and marine ecosystems. *Estuaries*, 25. 2-149:164.

Schubert R., H.J. Schellnhuber, N. Buchmann, A. Epiney, R. Grießhammer, M. Kulessa, D. Messner, S. Rahmstorf, y J. Schmid, 2006. The Future Ocean-Warming up, Rising High and Tourning Sour. Special report. German Advisory Council on Global Change. Berlin, Germany. 110 p.

Sharp G. D., 1998. The case for dome-shaped reponse curves by fish populations. p. 503-524. *In:* M.H. Durand, P.Cury , R. Mendelssohn, C. Roy, A. Bakun, and D. Pauly (eds.). Global *versus* local changes in upwelling systems. A report from the CEOS Workshop. Monterey California, septiembre 1994. ORSTOMS estions. Paris.

Sharp G. D., 2003. Future climate change and regional fisheries: a collaborative analysis. FAO Fisheries Technical Paper. Rome, FAO. 75p.

Winder, M., y D.E. Schindler, 2004. Climate change uncouples trophic interactions in an aquatic ecosystem. *Ecology*, 85(8): 2100-2106.

Wigley T. M., y S.C. Raper, 2001. Interpretation of high projections for global-mean warming. *Science*, 293: 451-454.

Worm B., E. B. Barbier, N. Beaumont, J. E. Duffy, C. Folke, B. S. Halpern, J. B. C. Jackson, H. K. Lotze, F. Micheli, S. R. Palumbi, E. Sala, K. A. Selkoe, J. J. Stachowicz, y R. Watson, 2006. Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science,* 314: 787-790.

Arreguín-Sánchez F., 2009. Cambio climátio y el colapso de la pesquería de camarón rosado (*Farfantepenaeus duorarum*) de la Sonda de Campeche, p. 453-464. 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 y el colapso de la pesquería de camarón rosado (*Farfantepenaeus duorarum*) de la Sonda de Campeche

Francisco Arreguín-Sánchez

Resumen

Se presentan las evidencias de la asociación del colapso de la pesquería de camarón de la Sonda de Campeche, y en particular del camarón rosado (*Farfantepenaeus duorarum*), con eventos de cambio climático de las últimas cuatro décadas. Los rendimientos anuales del camarón rosado son actualmente 5% de los que se obtenían en la década de los 60 (cercanos a las 18 000 t), con el consecuente efecto negativo sobre la economía y desarrollo social de la región. Se describe la interpretación inicial de eventos como la sobrepesca, impactos negativos de corto plazo de diferente origen, y la degradación de la zona costera como causantes del estado del recurso; así como las evidencias que destacan el efecto del cambio climático como agente conductor de la tendencia decreciente de la abundancia del recurso desde inicio de la década de los 70. Se presentan como evidencia las tendencias de las anomalías del reclutamiento durante el periodo de 1970 a la mitad de la década de los 90, con respecto a las anomalías de la producción primaria del ecosistema, la temperatura, salinidad, nivel medio del mar y el índice de oscilación del Atlántico norte. Se concluye señalando la estrategia de manejo adoptada para esta condición del recurso.

El problema pesquero

Históricamente la pesquería de camarón de la Sonda de Campeche fue una actividad económica sumamente importante debido a los altos volúmenes de captura y a que la mayor parte de su producción se destinaba al mercado de exportación. Tenía también una relevancia social ya que por muchos años la explotación del camarón fue concesionada a sociedades cooperativas de producción pesquera, donde el objetivo era generar el mayor beneficio social posible a través de la generación de empleo e ingresos económicos (Arreguín-Sánchez *et al.,* 1997a, b; Gracia, 1997; Gracia *et al.,* 1997). También históricamente las especies comercialmente más importantes han sido el camarón rosado (*Farfantepenaeus duorarum*), el blanco (*Litopenaeus setiferus*), café (*F. aztecus*), así como otras especies consideradas como secundarias, como son el camarón siete barbas (*Xyphopenaeus kroyeri*), el sintético *Trachypenaeus similis*, y el de roca (*Sicyonia brevirostris*).

El inicio de la pesquería de camarón con barcos arrastreros operando en la plataforma continental de la Sonda de Campeche data de la década de los años 40 (Navarrete del Proó, 2007), alcanzando un rápido desarrollo por la abundancia del recurso. Hacia finales de la década de los 50 hasta inicios de los 70, los rendimientos variaban entre 18 000 t y 25 000 t anuales, siendo el camarón rosado la especie más abundante, constituyendo entre 80% y 90% de las capturas totales. En esa época y hasta diciembre de 1979 operaron en la pesquería tres flotas, una de Estados Unidos, otra de Cuba y una de México. El potencial de explotación estimado para todas las especies era cercano a las 30 000 t anuales (Arreguín-Sánchez y Chávez, 1985). Desde enero de 1980 sólo la flota de México continuó en operación.

Actualmente esta pesquería reporta rendimientos de alrededor de 3 500 t anuales, de las cuales al camarón rosado le corresponden cerca del 30%, al camarón siete barbas cerca del 50% y el resto a otras especies, siendo que el camarón blanco se encuentra en veda permanente. En este contexto es claro el colapso de la pesquería donde la especie que mayor incidencia ha tenido en esta condición es el camarón rosado, cuya captura actual es de alrededor del 5% de la obtenida hace 5 décadas.

La tendencia histórica de las capturas de camarón rosado se muestra en la figura 1. Los rendimientos más altos se registraron a inicios de la década de los 60, aunque la pesquería se mantuvo en niveles altos de producción desde mitad de la década de los 50 hasta los primeros años de los 70. En la década de los 70 se empieza a observar un decremento en las capturas, y se pensó que la presión de pesca que las tres flotas ejercían sobre el recurso era intensa y los acuerdos multinacionales condujeron a la salida de las flotas estadounidense y cubana, hacia finales del año 1979 (Ponce-Díaz *et al.,* 2009). En la década de los 80 el rendimiento de la pesquería continuó decreciendo, sin embargo varios sucesos enmascararon la reducción en la abundancia del recurso, entre los más relevantes se pueden mencionar la reducción de más de 40% de la flota pesquera entre 1980 y 1982, ocasionado por la salida de las dos flotas extranjeras; pero también por la reducción de la flota mexicana asociada al cambio de propiedad promovido por el gobierno federal con el propósito de ceder los bienes de explotación directamente a las sociedades cooperativas.

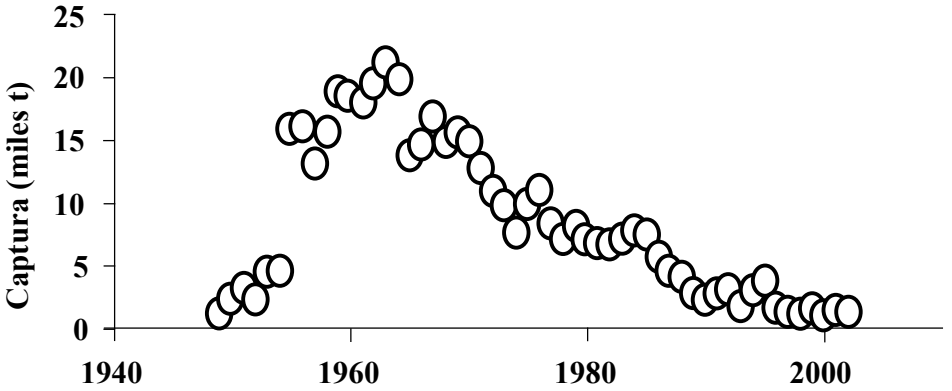

Figura 1. Tendencia histórica de las capturas anuales de camarón rosado (*F. duorarum*) de la Sonda de Campeche, México.

Así, durante la primera mitad de los años 80 no se detectó cambio en la abundancia del recurso, aspecto que empezó a notarse durante la segunda mitad de esa década. Por otro lado, fue justamente al inicio de esta década cuando inició operaciones de explotación la industria petrolera en la región marina de la Sonda de Campeche, habiéndose argumentado que la presencia de esta industria, por efecto de contaminación, perdida de hábitat marino y costero, entre otros, era la responsable de los bajos rendimientos, asociándose ya desde ese entonces con la condición de reducción de la abundancia del recurso. Esta idea se vio reforzada hacia inicios de los 90 dada la tendencia inversa entre los rendimientos de la pesca de camarón y la explotación de gas natural y petróleo de la región marina (figura 2).

A finales de la década de los 80 e inicios de los 90 ya era preocupante para el sector la reducción de la abundancia del recurso, y si bien continuaba la noción de un efecto negativo de la industria petrolera, también se identificaron altas tasas de explotación sobre el recurso tanto en la región marina, pero particularmente en aguas costeras, señalándose esta última como un elemento crítico y trascendente, ya que la explotación de juveniles en la región se había mantenido muy intensa por más de una década (Gracia, 1997).

Para esta época, mitad de los 90, habiéndose reconocido el deterioro del recurso, se intentó identificar las causas del estado de la pesquería emergiendo varias hipótesis; el efecto negativo de la industria petrolera (tanto por cierre de áreas al arrastre – zona de plataformas -, como por degradación de hábitat marino y costero); el efecto de la sobrepesca, tanto de reclutamiento como de crecimiento debido a altas mortalidades de adultos y reclutas, respectivamente; así como a posibles errores en la administración del recurso, aunque no tipificados y por tanto no evaluados.

Se menciona especialmente el posible efecto negativo del derrame del pozo "Ixtoc I" de junio de 1979 a marzo de 1980, como inicio del decremento de la abundancia de camarón, asumiéndose un impacto negativo intenso sobre el ecosistema por la duración del derrame,

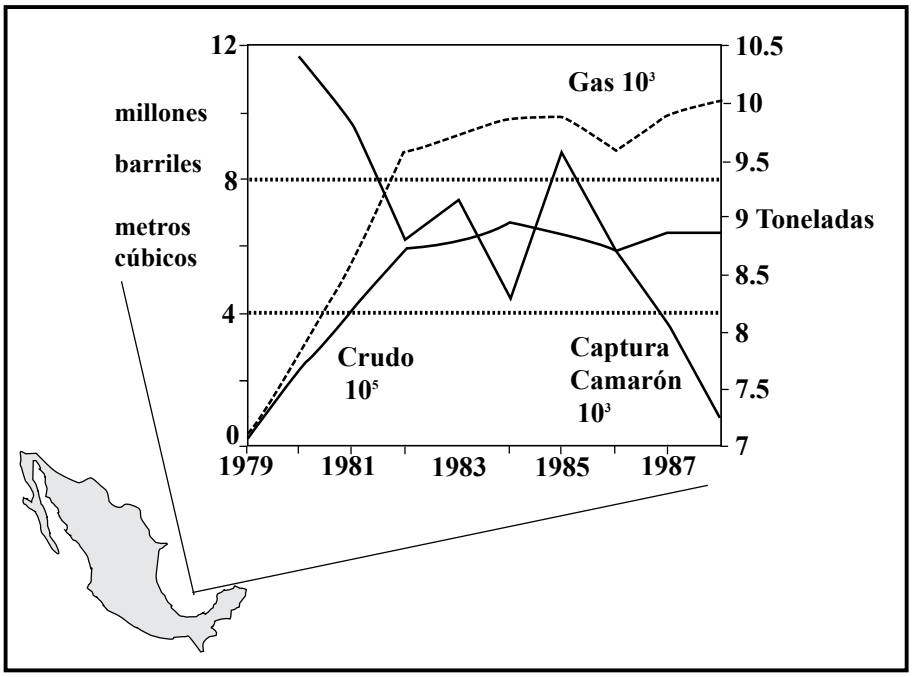

Figura 2. Tendencia de las capturas anuales de camarón y la producción de petróleo crudo y gas natural en la Sonda de Campeche durante la década de los 1980 (Tomada de Arreguín-Sánchez *et al.,* 1997b).

por la cantidad de petróleo vertido, de 3.3 millones de barriles, y por la extensión espacial que alcanzó. Sin embargo no hubo evidencia directa dado que una vez que desapareció la fuente de perturbación, el reclutamiento se recuperó al nivel previo inmediato. No obstante, la idea de una perturbación directa por parte de la industria petrolera permaneció, e incluso los reportes de impacto ecológico sugieren un posible efecto negativo a mediano plazo sobre la biomasa y producción de zooplancton (García-Cuellar *et al*., 2004; García-Cuellar, 2006).

También se mencionó la pérdida del efecto de criadero de las zonas costeras causando bajos niveles de reclutamiento asociado a eventos catastróficos de diversa intensidad, tanto de origen antropogénico (*e.g.* tala de manglar, relleno de costa o interrupción de flujos de marea por obra civil costera), como naturales (*e.g.* pérdida de hábitat por huracanes). No obstante estas hipótesis, no había evidencia contundente que demostrara una relación causa efecto.

A mitad de la década de los 90 se reconoció formalmente el deterioro del recurso a nivel de colapso de la pesquería, promoviéndose un fuerte esfuerzo de investigación científica y técnica multi-institucional y multidisciplinario con el fin de identificar una relación causa-efecto, bajo la premisa, implícita, de que el factor humano era responsable del estado del recurso. Así, se tomaron medidas administrativas limitando el acceso al recurso a través de periodos de veda y excluyendo la pesca de las zonas costeras, especialmente aguas interiores. En esta etapa los estudios pesqueros, además de diagnosticar el colapso de la pesquería, no predecían la

recuperación del recurso. El mejor escenario basado en modelos poblacionales resultó en una recuperación de 18% si se suspendía la pesca por un periodo de 10 años. Los modelos multiespecíficos basados en la estructura trófica del ecosistema (Arreguín-Sánchez, 2002, modificado de Manikchand-Haileman *et al.,* 1998) predecían una recuperación cercana a 40% si se controlaba de manera estricta y planeada la actividad de las otras flotas que operan sobre otros recursos-objetivo. Sin embargo, ambas premisas tomaban como base el tamaño del recurso en ese momento (mitad de los 90) donde el mejor escenario predecía una recuperación cercana al 30% de la abundancia existente al inicio de la década de los 70 (Arreguín-Sánchez, 2001; Arreguín-Sánchez *et al*., 2008), lo cual no reflejaba la recuperación esperada.

En este contexto, la estrategia de manejo del recurso fue declarar como objetivo la recuperación de la población al nivel de rendimiento máximo sostenible de etapas tempranas de la pesquería, manteniendo la talla mínima de captura, la no pesca dentro de las 15 millas de la zona costera, no pesca en aguas interiores, y una veda que se ajustaría año a año de acuerdo a las abundancias observadas; la idea era recuperar la población con base en el control de la mortalidad por pesca. En esos momentos, y de manera adicional, el sector pesquero analizaba la idea de sembrar postlarvas de camarón como medio de incrementar el reclutamiento, y por tanto la abundancia del recurso.

Identificación del efecto ambiental

Ramírez-Rodríguez *et al.* (2006) reportaron la presencia de un efecto ambiental significativo asociado a la abundancia de camarón; particularmente demostraron la existencia de una relación inversa donde los cambios de la temperatura explican de manera significativa cerca del 50% de la variación de reclutamiento, encontrando una relación similar, pero directa, con la salinidad. Por otro lado, Ramírez-Rodríguez *et al.* (2003) reportan cambios históricos en el patrón estacional de reclutamiento, donde para el periodo de 1974 a mitad de la década de los 80 predominaba un patrón con un máximo hacia el otoño; mientras que de mitad de los 80 a la época actual predomina un patrón con un máximo de reclutamiento en el verano (figura 3). Estos cambios parecen estar también fuertemente asociados a cambios en el régimen estacional de temperaturas. Por otro lado, de manera independiente Ramírez-Rodríguez y Arreguín-Sánchez (2003) y Navarrete del Proó (2007) reportan relaciones stock-reclutamento depensatorias para el camarón rosado con base en los modelos de Ricker (1975), Beverton y Holt (1957) (considerando incluso el efecto de la temperatura), y con base en un modelo trofodinámico del ecosistema (ver Zetina-Rejón, 2004 y Walters y Korman, 1999). En todos los casos la relación depensatoria inicia claramente desde los años 70 manteniéndose la tendencia hasta fines de los 90. Asimismo, Zetina-Rejón y Arreguín-Sánchez (2002) y Arreguín-Sánchez (2005, 2006), reportan una tendencia decreciente de la tasa de reclutamiento que viene desde inicios de los años 70 a hasta finales de los 90, esto es, las evidencias indican un decremento de la tasa de reclutamiento de camarón rosado durante tres décadas de manera continua (figura 4) sugiriendo un efecto de largo plazo, probablemente ambiental, afectando a la población.

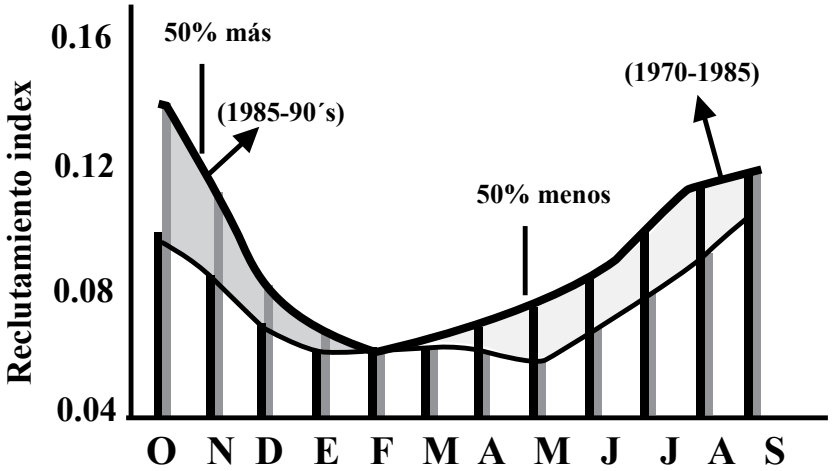

Figura 3. Cambio del patrón estacional de reclutamiento del camarón rosado en la Sonda de Campeche (Adaptada de Ramírez-Rodríguez *et al.*, 2003)

Arreguín-Sánchez *et al*. (2008) analizó los efectos ambientales catastróficos de corto plazo en relación con la tendencia de la tasa de reclutamiento, y particularmente los efectos de impactos del derrame del pozo "Ixtoc I", de los huracanes Gilberto, Opal y Roxana; y la erupción del volcán Chichonal, que arrojó una cantidad importante de cenizas que se depositó en la zona costera, justo en zonas de crianza de juveniles. En todos los casos se observó una falla de reclutamiento puntual en el tiempo, y de magnitud variable según la intensidad y duración de la perturbación. No obstante, también se observó que el reclutamiento se recuperó una vez que la perturbación desaparecía, aunque la recuperación ocurrió siguiendo una tendencia decreciente de largo plazo (figura 5). Esto sugirió la presencia de un recurso saludable en cuanto a su resiliencia, comportándose como una especie estratega "*r*" típica *sensu* Odum (1972) y Margalef (1974) (corta longevidad y tasa de producción alta), aunque presionada por algún efecto de largo plazo.

En contraste con estos escenarios, las series históricas de la pesquería expresadas por la captura por unidad de esfuerzo (CPUE), y el esfuerzo pesquero, no mostraban señal de agotamiento del recurso, sugiriendo simplemente que las capturas decrecieron porque el esfuerzo de pesca disminuyó y la CPUE se mantenía estable, sugiriendo una pesquería saludable (figura 6).

Efecto de gran escala: cambio climático

Zetina-Rejón (2004), con base en un modelo trofodinámico del ecosistema basado en el programa "Ecopath with Ecosim" (Christensen y Pauly, 1992; Walters *et al*., 1997; Christensen y Walters, 2004), estimó una serie de tiempo de producción primaria (PP) del sistema Sonda de Campeche - laguna de Términos para el periodo 1970 a 1995. Arreguín-Sánchez *et al.* (2008) mostró que esta anomalía de la PP presenta una tendencia casi paralela con la anomalía del re-

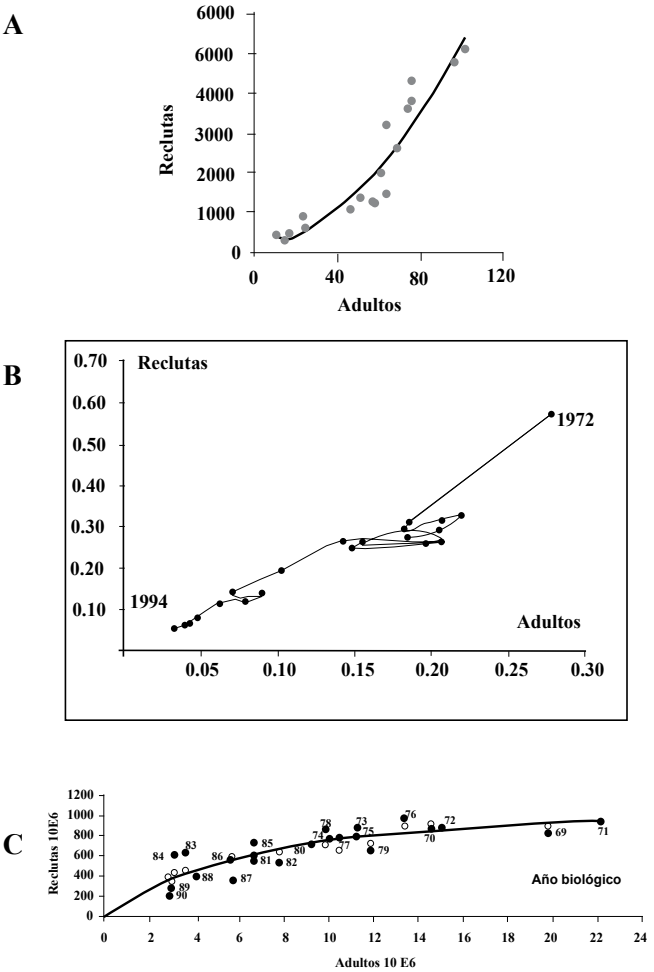

Figura 4. Modelos parentela-progenie para el camarón rosado de la Sonda de Campeche mostrando proceso depensatorio con base en: A) Modelo de Ricker (tomada de Arreguín-Sánchez *et al.,* 2008); b) Modelo Ecosim (Zetina-Rejón, 2004) ; c) Modelo de Bererton y Holt incorporando temperatura (Tomada de Ramírez-Rodríguez y Arreguín-Sánchez 2003).

clutamiento; en ambos casos, presentándose el cambio de fase en la primera mitad de la década de los 80, y coincidiendo con el cambio de fase de PP obtenida a partir de datos de imágenes de satélite para el periodo 1975 a 1985. En este contexto de tiempo, este autor mostró también una relación directa de la anomalía del reclutamiento con la anomalía de la salinidad; y una relación inversa con las anomalías de temperatura, del nivel medio del mar y del índice de oscilación del Atlántico norte (NOA), para el periodo de 1970 a finales de los 90 (figura 7).

Las tendencias de las anomalías de las variables mencionadas en el párrafo anterior respecto a la anomalía de reclutamiento sugieren un efecto de ambiental de largo plazo que afectó la abundancia del recurso camarón, al menos desde inicios de la década de los 70, cuando la pes-

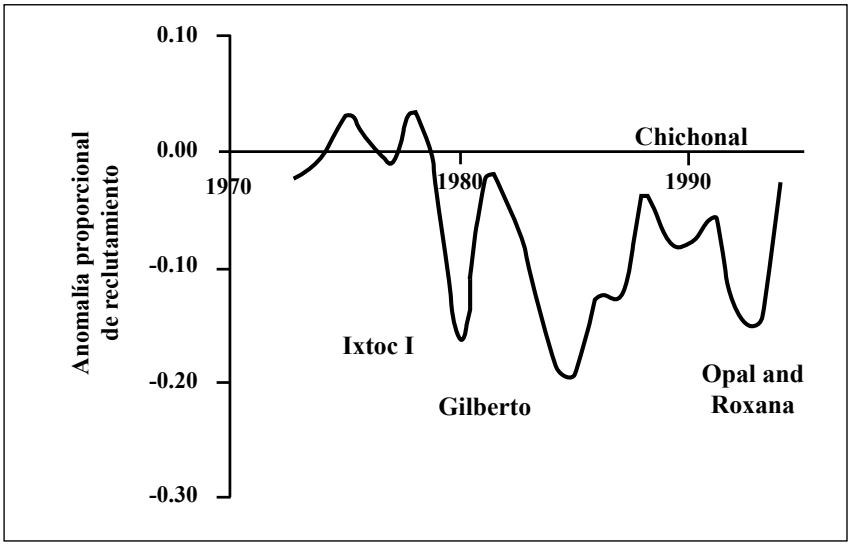

Figura 5. Tendencia de la anomalía del reclutamiento de camarón rosado de la Sonda de Campeche mostrando fallas de reclutamiento como consecuencia de eventos catastróficos de corto plazo (Adaptada de Arreguín-Sánchez *et al.*, 2008).

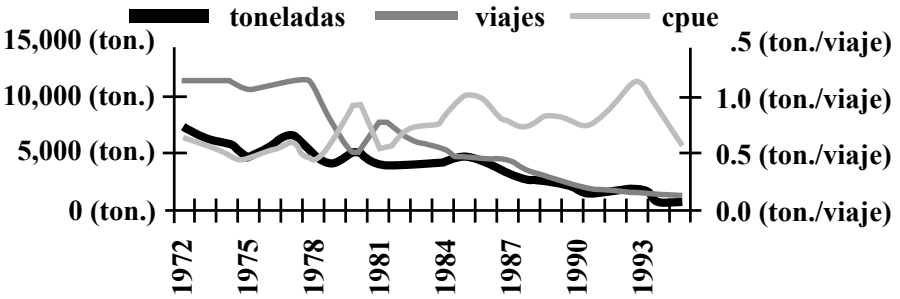

Figura 6. Tendencia histórica de captura, esfuerzo y captura por unidad de esfuerzo de la pesca de camarón de la Sonda de Campeche.

quería se consideraba saludable y se obtenían altos rendimientos anuales. Asimismo, el cambio de fase en todas las anomalías mencionadas (figura 7) ocurrió en todos los casos hacia la mitad de la década de los 80, y coincide circunstancialmente con los diversos eventos mencionados inicialmente; el inicio de las operaciones de la industria petrolera en la zona marina de la Sonda de Campeche y el derrame del pozo "Ixtoc I" a inicios de los 80; la salida de las flotas cubana y estadounidense a partir de 1980; la reducción importante de la operación de la flota mexicana durante el proceso de cambio de propietario de la iniciativa privada a cooperativas pesqueras, que concluyó en 1984; y el cambio en el patrón estacional de reclutamiento justo a partir la mitad de la década de los 80.

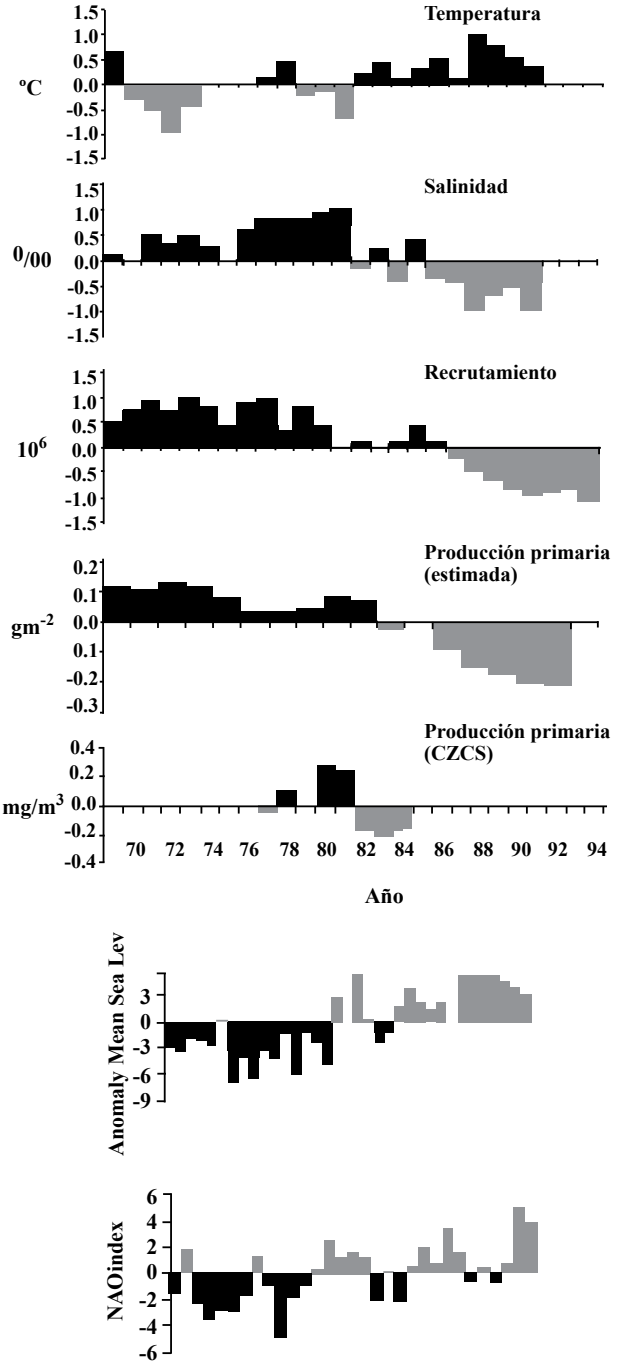

Figura 7. Serie histórica de la anomalía de reclutamiento de camarón rosado de la Sonda de Campeche y su relación con las anomalías de temperatura, salinidad, producción primaria (estimada y observada), nivel medio del mar y el índice de la oscilación del Atlántico Norte (adaptada de Arreguín-Sánchez *et al.*, 2008).

Arreguín-Sánchez (2008) sugiere como probable mecanismo la caída global de la capacidad de carga en el banco de Campeche. En principio en la península de Yucatán no hay ríos superficiales que aporten nutrientes a mar que favorezcan la producción primaria. Solo las áreas muy cercanas a la costa reciben una influencia cuyo impacto es muy limitado en términos espaciales al considerar la extensión de la plataforma continental. Lo que esto sugiere es que la producción de la Sonda de Campeche descansa fundamentalmente en a la producción primaria fitoplanctónica. Por otro lado, las corrientes marinas en la Sonda de Campeche son de muy baja intensidad generando un sistema hidrodinámico de muy baja energía, el cual es insuficiente para remover por turbulencia nutrimentos del fondo que permitan reponer la baja en la producción primaria fitoplanctonica que, como muestra la figura 7, ha venido decreciendo desde inicio de la década de los 70.

En términos de la pesquería de camarón rosado de la Sonda de Campeche, la administración actual del recurso establece como objetivo mantener la población en los niveles de abundancia actuales empleando para ello las mismas técnicas mencionadas anteriormente, teniendo como punto central la determinación de inicio y término de la temporada de veda cuyo criterio fundamental es mantener el stock reproductor a través del control de la pesca. Esto en principio supone el mantener el stock saludable tal que, cuando las condiciones ambientales sean propicias, su abundancia se recupere.

Las tendencias observadas no argumentan ni prueban la ausencia o presencia de efectos negativos causados por la industria petrolera, por el desarrollo de la zona costera y efectos derivados, o por la propia pesca. La evidencia sugiere que es la tendencia a largo plazo, aquí interpretado como cambio climático, la que condicionó el patrón decreciente observado, a la cual se sumaron los efectos de los procesos antes mencionados de origen antropogénico. Por ello, el control apropiado de la mortalidad por pesca sigue siendo indispensable, siempre que esta se ajuste a una tasa de cosecha apropiada al tamaño del stock. Es importante llevar a cabo una adecuada administración de la industria petrolera y de las actividades humanas en la zona costera que garanticen condiciones adecuadas del hábitat y zonas de crianza; medidas que sin duda favorecerán el sostenimiento del recurso.

Agradecimientos

El autor agradece el apoyo recibido a través del proyecto SEP-CONACYT clave 104974, GEF-UNIDO-Semarnat, SIP-IPN (20090932), así como al Instituto Politécnico Nacional por los apoyos a través de COFAA y EDI.

Literatura citada

Arreguín-Sánchez, F., 2001. Towards the management of fisheries in the ecosystem context: the case of Mexico. *EU Fish. Bull. Coop*., 14(1-4):4-12

Arreguín-Sánchez, F., 2002. Impact of harvesting strategies on fisheries and community structure on the Continental Shelf of the Campeche Sound, Southern Gulf of Mexico. p.127-134. *In:* T. Pitcher y K. Cochrane (eds.). The use of ecosystem models to investigate multispecies management strategies for capture fisheries. Fisheries Centre Research Reports. 156 p.

Arreguín-Sánchez, F., 2005. Scientific advice for the management of benthic fisheries in Mexico: present status and perspectives. Proc. Simp. Fishing Impact on benthic ecosystems. *Amer. Fish. Soc.* (en prensa).

Arreguín-Sánchez, F, 2006. La pesca en México. p. 13-36. En: P. Guzmán-Amaya y D. Fuentes-Castellanos (eds.). Pesca, Acuacultura e Investigación en México. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. Cámara de Diputados. LIX Legislatura / Congreso de la Unión. México D.F., México.

Arreguín-Sánchez F. y E.A. Chávez, 1985. Estado del conocimiento de las pesquerías de camarón en el Golfo de México. *Rev. Investigaciones Marinas CICIMAR*, 2(2):23-44.

Arreguín-Sánchez F., L.E. Schultz-Ruiz, A. Gracia, J.A. Sánchez y T. Alarcón, 1997a. Las pesquerías de camarón de altamar: Explotación, dinámica y evaluación. p.145-172. En: D. Flores-Hernández, P. Sánchez-Gil, J.C. Seijo y F. Arreguín-Sánchez (eds.). Análisis y Diagnóstico de los Recursos Pesqueros Críticos del Golfo de México, EPOMEX Serie Científica, Campeche, México. 496 p.

Arreguín-Sánchez F., L.E. Schultz-Ruiz, A. Gracia, J.A. Sánchez y T. Alarcón, 1997b. Estado actual y perspectivas de la pesquería de camarón. p. 185-203. En: D. Flores-Hernández, P. Sánchez-Gil, J.C. Seijo y F. Arreguín-Sánchez (eds.). Análisis y Diagnóstico de los Recursos Pesqueros Críticos del Golfo de México, EPOMEX Serie Científica, Campeche, México. 496 p.

Arreguín-Sánchez F., M. Ramírez-Rodríguez, M.J. Zetina-Rejón, y Victor H. Cruz-Escalona, 2008. Natural hazards, stock depletion, and stock management in the southern Gulf of Mexico Pink Shrimp Fishery. *American Fisheries Society Symposium,* 64: 419-428.

Arreguín-Sánchez, F., M. Zetina-Rejón, y M. Ramírez-Rodríguez, 2008. Exploring ecosystem-based harvesting strategies to recover the collapsed pink shrimp (*Farfantepenaeus duorarum*) fishery in the southern Gulf of Mexico. *Ecological Modelling*, 214:83–94.

Beverton, S.J.H., y S.J. Holt, 1957. On the dynamics of exploited fish populations. Fish. Invest. London, Ser. II, 19: 533 p.

Christensen V., y D. Pauly, 1992. Ecopath II./ a software for balancing steady-state ecosystem models and calculating metwork characteristics. *Ecological Modelling,* 61:169-185.

Christensen V., y C.J. Walters, 2004. Ecopath with Ecosim: methods, capabilities and limitations. *Ecological Modelling* 172: 109–139.

García-Cuellar, J.A., F. Arreguín-Sánchez, S. Hernández-Vázquez y D. Lluch-Cota, 2004. Impacto ecológico de la industria petrolera en la sonda de Campeche, México, tras tres décadas de actividad: una revisión. *Interciencia ,* 29(6):311-319.

García-Cuellar M.A., 2006. Análisis del impacto de la industria petrolera en el ecosistema y su relación con las pesquerías de la Sonda de Campeche, México. Tesis Doctor en Ciencias, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, México.

Gracia, A. 1997. Pesquería artesanal de camarón. p. 173-184. En: D. Flores-Hernández, P. Sánchez-Gil, J.C. Seijo y F. Arreguín-Sánchez (eds.).Análisis y Diagnóstico de los Recursos Pesqueros Críticos del Golfo de México, EPOMEX Serie Científica, Campeche, México. 496 p.

Gracia, A., A.R. Vázquez-Bader, F. Arreguín-Sánchez, L.E. Schultz-Ruiz y J.A. Sánchez, 1997. Ecología de camarones peneidos. p. 127-144. En: D. Flores-Hernández, P. Sánchez-Gil, J.C. Seijo y F. Arreguín-Sánchez (eds.). Análisis y Diagnóstico de los Recursos Pesqueros Críticos del Golfo de México, EPOMEX Serie Científica, Campeche, México. 496 p.

Manikchand-Haileman, S., L.A. Soto y E. Escobar, 1998. A preliminary trophic model of the continental shelf, South-western Gulf of Mexico. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 46: 885-899

Margalef, R., 1974. Ecología. Ed. Omega SA, Barcelona

Navarrete del Proó, A., 2007. Análisis de la Biología Pesquera de Camarón Rosado (*Farfantepenaeus duorarum*, Burkenroad, 1939), en la sonda de Campeche, Campeche, México. Tesis de Doctor en Ciencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

Odum E.P., 1972. Ecología. Editorial Interamericana, México. 600 p.

Ponce-Díaz, G., F. Arregín-Sánchez, A. Díaz-de León y P. Alvarez Torres, 2009. Promotion and management of marine fisheries in Mexico. p. 233-251. *In:* G. Winter (ed). Towards Sustainable Fisheries Law, A Comparative Análisis. IUCN Environmental Policy and Law Paper No. 74

Ramírez-Rodríguez, E.M., F. Arreguín-Sánchez, y D. Lluch-Belda. 2003. Recruitment patterns of the pink shrimp *Farfantepenaeus duorarum* in the southern Gulf of Mexico. *Fisheries Research*, 65:81-88

Ramírez-Rodríguez, M., y F. Arreguín-Sánchez, 2003. Spawning stock recruitment relationship of pink shrimp *Farfantepenaeus duorarum* in the southern Gulf of México. *Bulletin of Marine Science,* 72(1): 123-133.

Ramírez-Rodríguez, M., F. Arreguín-Sánchez y D. Lluch-Belda, 2006. Tendencias del reclutamiento del camarón rosado *Farfantepenaeus duorarum*, temperatura y salinidad superficial en la Sonda de Campeche, sur del Golfo de México. *International Journal of Tropical Biology and Conservation,* 54 (4): 1241-1245.

Ricker W.E., 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Board*, 191:382p.

Walters, C., V. Christensen, y D. Pauly, 1997. Structuring dynamic models of exploited ecosystem from trophic mass-balance assessments. *Rev. Fish. Biol. Fish*., 7:139-172

Walters C.J., y J. Korman, 1999. Linking recruitment to trophic factors: revisiting the Beverton–Holt recruitment model from a life history and multispecies perspective. *Reviews in Fish Biology and Fisheries,* 9: 187–202

Zetina-Rejón M.J., y F. Arreguín-Sánchez, 2002. Flujos de energía y estructura trófica de la Sonda de Campeche, Suroeste del Golfo de México. p. 70-77. En: A. Wakida-Kusunoki, R. Solana Sansóres y J. Uribe-Martínez (eds.). Mem. III Foro de Camarón del Golfo de México y del Mar Caribe. Instituto Nacional de la Pesca, México.

Zetina Rejón, M.J., 2004. Efectos de la pesca en ecosistemas interdependientes: Laguna de Términos y Sonda de Campeche, México. Tesis de Doctor en Ciencias. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional, La Paz, Baja California Sur, México.

Solana-Sansores L.R., y G.A. Compeán-Jiménez, 2010. Efectos del cambio climático en la pesquería mexicana del atún del Pacífico, p. 465-472. 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.

Efectos del cambio climático en la pesquería mexicana del atún del Pacífico

L. Rafael de J. Solana-Sansores y Guillermo A. Compeán-Jiménez

Resumen

El Calentamiento Global tenderá a cambiar las condiciones oceanográficas en el Océano Pacífico Oriental (OPO). Esto finalmente repercutirá en la dinámica espacial del atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) y por tanto en la pesquería mexicana que se desarrolla entorno a esa especie. Al OPO se le considera una región tropical de aguas cálidas y templadas, bañada por tres masas de agua superficiales predominantes. Entre sus características destacan la de presentar una termoclina superficial y una gran influencia de los procesos costeros que se desarrollan en el litoral americano. Esto último, conjuntamente con la presencia de zonas de surgencia, permiten desarrollarse zonas propicias para la reproducción del atún. Esta especie tiene preferencias por aguas cálidas y realiza amplias migraciones, siguiendo señales ambientales. Este comportamiento es el que marca la pauta en la actividad pesquera, observándose que las maniobras de pesca aprovechan las características oceanográficas prevalecientes en el OPO, las señales ambientales (presencia de delfines, objetos flotantes, actividad de alimentación de aves marinas, etc.) y el mismo comportamiento de las poblaciones de atún. Así, la modificación de las condiciones climáticas globales afectará indudablemente a la pesquería del atún, que se verán reflejados en sus patrones de distribución y migración, así como en el éxito de las capturas. Por ello, México deberá redoblar esfuerzos para adaptar esquemas que permitan seguir contando con una pesquería sustentable.

Introducción

La pesquería mexicana del atún se desarrolla en el denominado Océano Pacífico Oriental (OPO). Esta porción de mar abarca aproximadamente unos 35 millones de kilómetros cuadrados, entre las costas americanas y los 150º W y desde los 28º N hasta los 20º S. El OPO cuenta características muy especiales que lo hace exclusivo en el mundo. Por ejemplo, es una región con altos valores de productividad primaria y cuenta con una termoclina relativamente poco profunda, ubicada aproximadamente a 200 m desde la superficie del mar. La principal especie capturada es el atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*), aunque también se registra una captura relativamente importante de barrilete (*Katsowomus pelamis*). A la primera especie se le considera altamente migratoria, ya que realiza amplios circuitos de migración que abarcan prácticamente todo el OPO. Se supone que las rutas de migración que realiza están ligadas fuertemente a las características oceanográficas prevalecientes en el OPO, como serían la presencia de corrientes cálidas, los frentes oceánicos y señales ambientales que ayudan a los cardúmenes en la localización de sitios con gran abundancia de alimento o propicios para la reproducción.

Los patrones de migración del atún aleta amarilla obedecen a la búsqueda permanente de zonas propicias para el desarrollo y el éxito de las poblaciones. Por ejemplo, el encuentro de señales en la superficie terrestre, como serían los objetos flotantes indica a las poblaciones de atún la presencia de zonas de alimentación. La abundancia de estos objetos flotantes obedece a la cercanía de las costas donde desembocan los ríos, como sería el caso de la bahía de Panamá. Asimismo, las acumulaciones de objetos flotantes u otro tipo de señales en la zona oceánica puede ser consecuencia de la presencia de frentes oceánicos, los cuales son producto de la convergencia de dos corrientes marinas de circulación contraria. Así, los cambios de regímenes de precipitación pluvial en las costas americanas, producto de un cambio climático, tendrán como consecuencia una disminución de las corrientes de los ríos hacia el mar y, por tanto, la disminución de las descargas dulceacuícolas y su cargamento de objetos flotantes. Del mismo modo, cambios globales en las corrientes marinas provocarán cambios importantes en los patrones de distribución de las principales corrientes marinas del OPO. Estos cambios finalmente tendrán consecuencias importantes en la dinámica de la pesquería mexicana del atún aleta amarilla en el Pacífico Oriental.

Elementos medioambientales, sociales-económicos y políticos que afectan el desarrollo de la pesca de atún en el Pacífico Oriental

En la figura 1 se presenta el desarrollo de la pesquería mexicana del atún en el Pacífico Oriental, desde 1950 hasta 2007. Antes de 1980, México participaba de manera marginal en la pesquería. A partir de ese año, como consecuencia de apoyos económicos la captura de atún se duplico. Este crecimiento se estabilizó a partir de 1990, en alrededor de las 100 mil toneladas. A partir de ese año se registran algunos acontecimientos que afectaron a la dinámica pesquera

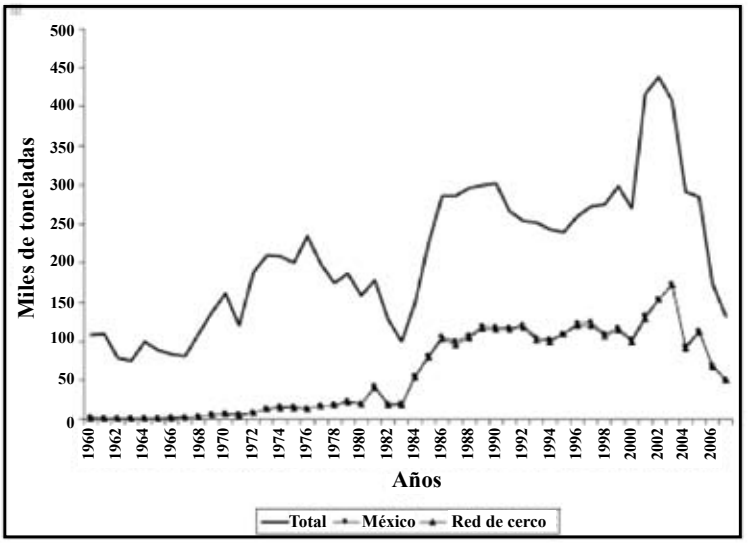

Figura 1. Capturas de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) en el Pacífico Oriental (miles de toneladas), realizadas por México (1960 – 2007).

de México: 1) el inicio del embargo atunero, motivado por la mortalidad incidental de delfines (1991); 2) El desarrollo de una pesquería de atún en el sur del OPO, con el uso de Objetos Flotantes Artificiales Agregadores de Peces (FAD, por sus siglas en inglés); 3) El desarrollo de acuerdos internacionales para la protección y conservación de delfines y aprovechamiento del atún; entre los más importantes. Todos estos acontecimientos económicos, sociales y políticos, desarrollaron un nuevo ambiente de desarrollo para la pesquería.

Aunado a lo anterior, en el OPO se han registrado eventos ambientales y en la dinámica del atún aleta amarilla que han afectado los niveles de productividad en la pesquería mexicana. En cuanto a la propia dinámica de la población de atún aleta amarilla se han observado diferentes niveles de reclutamiento. Por ejemplo, se ha registrado que la población de esta especie mostró un alto nivel de reclutamiento durante 1983; sin embargo, en años recientes el ingreso de nuevos individuos a la pesquería ha disminuido a un valor intermedio. Estos cambios de regímenes de reclutamiento, sin embargo, han permitido sostener a la pesca en el OPO e incluso soportar un incremento de la pesca de juveniles en el sur. Desafortunadamente todo indica que esto no podrá ser soportado por mucho tiempo, de tal forma que durante el periodo de 2005 a 2007, el rendimiento pesquero estuvo por debajo del nivel correspondiente al máximo sostenible promedio. "Una estimación del efecto de este tamaño de población reducido es que la depredación por aletas amarillas adultos sobre otras partes del ecosistema es reducida a aproximadamente el 36% de lo que fue en ausencia de una pesquería" (CIAT, 2008).

Como se observa, todos estos aspectos biológicos, ambientales y los provocados por el hombre han afectado la propia dinámica de la pesquería. Si a esto se le adiciona un cambio en el régimen climático, por ejemplo una elevación de la temperatura en la superficie del mar, esta

podrá potenciar a los factores descritos en los párrafos precedentes. Esto, finalmente repercutirá en la pesca mexicana del atún, teniendo como consecuencia cambios importantes en su dinámica, en su productividad y en los beneficios económicos y sociales que esta actividad trae para México.

Efectos del cambio climático en la pesca del atún del Pacífico Oriental

Los atunes tropicales del Pacífico Oriental llevan a cabo su ciclo de vida en las primeras capas superficiales del océano. Todos ellos tienen un comportamiento migratorio, por razones de alimentación y/o por reproducción. Estos lo realizan orientándose por diversos elementos del ecosistema, como los frentes oceánicos, presencia de objetos flotantes, montes submarinos y corrientes marinas. Un cambio en el régimen climático, con el consecuente efecto en la circulación oceánica, tendría efectos significativos en este comportamiento migratorio. En el caso del atún aleta amarilla se pudieran observar los siguientes cambios:

1. **Una modificación de las zonas principales de distribución de los peces.** Se puede prever que los patrones espaciales de la población de atún aleta amarilla se extienda hacia latitudes más al norte. En la figura 2 se presentan los patrones de distribución espacial de los lances de pesca realizados por la flota atunera mexicana (puntos), los cuales coinciden con la presencia de atún. El efecto del calentamiento global en las poblaciones de atún tropical se esquematiza con la dirección de la flecha. Si esto se registra durante los próximos años, el esfuerzo de pesca y de búsqueda de cardúmenes por parte de la flota mexicana tenderá a incrementarse, haciendo más costosas las operaciones de pesca.
2. **Una modificación de las relaciones ecológicas de los atunes tropicales.** Los atunes tropicales se consideran especies altamente migratorias y son muy sensibles a los cambios experimentados en los hábitats. Las migraciones se producen por las necesidades alimenticias de los organismos y por adaptaciones evolutivas para su éxito reproductivo. El calentamiento global, con un efecto importante en las primeras capas del océano, afectará sustancialmente la circulación de las aguas y la distribución de las masas de agua que dominan en el OPO. Estos cambios provocarán que los atunes modifiquen sus trayectorias de sus ciclos migratorios, así como también en la periodicidad en ellas. Del mismo modo, es posible suponer que las zonas importantes de reproducción cambiarán en cuanto a su productividad biológica, de tal suerte que los sitios de desove y crianza se vean disminuidos en alimento disponible afectando la sobrevivencia de los futuros reclutas; esto, independientemente de que la zona de desove se extenderá estacionalmente hasta la boca del Golfo de California. Hasta donde se sabe, la presencia de las larvas de atún aleta amarilla en el Océano Pacífico, es traspacífica aunque está limitada a las aguas tropicales donde su distribución se restringe a las aguas superficiales de no más de 50 a 60 metros de profundidad. En las costas mexicanas del Pacífico se le encuentra desde los 24º N hasta la frontera sur con Guatemala, incluida la zona de las Islas Revillagigedo.

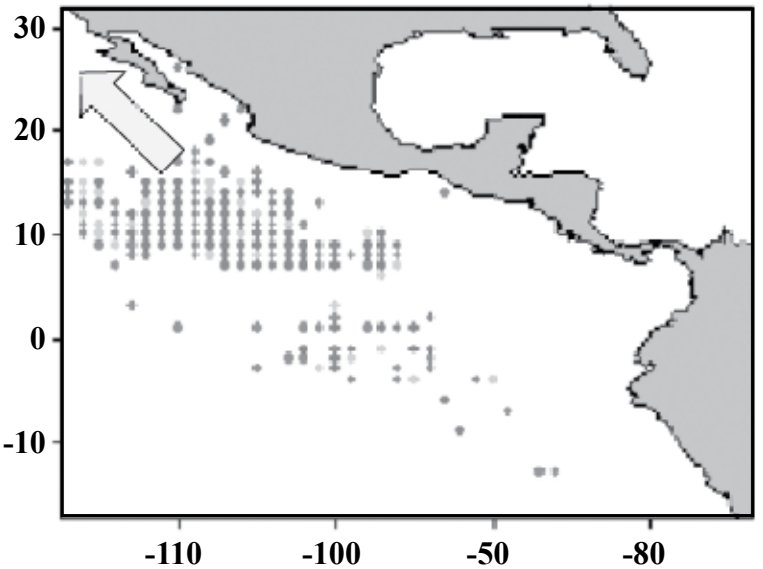

Figura 2. Patrones espaciales de los caladeros de pesca utilizados por la flota mexicana (puntos) y el efecto del cambio climático en el cambio de la distribución del atún tropical (flecha).

Uno de los principales lugares de desove y crianza de la población de esta especie es la bahía de Panamá, aunque también se considera importante el Golfo de Tehuantepec, Oaxaca. La productividad de estos sitios esta íntimamente ligada por el escurrimiento de los ríos y el aporte de nutrimientos desde la zona terrestre (en el caso de Panamá) y por la presencia de surgencias (en el Golfo de Tehuantepec). Relacionado con esto, pero con una dinámica específica, es el efecto del calentamiento global en los grupos taxonómicos que constituyen el forraje (*e.g.* peces linterna, peces voladores, calamares, etc.), los cuales ocupan los niveles intermedios de la red trófica. Estos elementos son "un vínculo entre la producción primaria en la base de la red trófica y los depredadores de nivel trófico superior" (CIAT, 2008). Aunque existe una gran incertidumbre sobre los efectos en estos grupos sobre la pesca de atún, la mayoría de los científicos están de acuerdo que se tendrá efectos importantes. Finalmente, todos estos cambios en las relaciones ecológicas modificarán la estructura de la población del atún aleta amarilla, de otros atunes tropicales y, por último, en su aprovechamiento pesquero.

3. **Una modificación en la relación con el ambiente físico.** El cambio climático cambiará drásticamente los eventos de corto y mediano plazo. Por ejemplo, algunos autores han sugerido que los eventos de El Niño/Niña serán más frecuentes y más intensos. Esto pudiera ocasionar una dispersión en las poblaciones y escasez de alimentos para los peces, modificando la vulnerabilidad de los atunes al formarse menor cantidad de cardúmenes y la posibilidad de que los que se formen sean de menor tamaño; asimismo

afectar drásticamente la distribución de los huevos y larvas de los atunes tropicales y por tanto el reclutamiento. Otra modificación en el ambiente es la intensificación y alargamiento de la temporada de los huracanes. En el Pacífico oriental la temporada de huracanes suele iniciar durante los meses de verano y terminar en octubre o noviembre. Estos eventos catastróficos de corto plazo (anuales) suelen tener trayectorias que pasan por los principales sitios de pesca de atún en la Zona Económica Exclusiva (ZEE) de México. Al intensificarse y alargarse la temporada de huracanes esto pudiera ocasionar una disminución de días de trabajo ya que los cardúmenes no pueden detectarse bajo condiciones de mar superiores al nivel 3 de la escala de Beaufort, mayor consumo de combustible en la búsqueda de lugares seguros para la pesca, incrementaría la probabilidad de accidentes en el mar y afectaría enormemente el abasto de atún para las plantas conserveras. Finalmente esto repercutiría en la escasez del producto en los mercados nacionales.

4. **Una modificación en los regimenes de pesca.** El comportamiento de la flota pesquera mexicana esta íntimamente ligada con la presencia de señales en la naturaleza asociados con los cardúmenes de atún en aguas superficiales. Por ejemplo, en la figura 3 se presenta un diagrama que ilustra los comportamientos típicos, de acuerdo con un viaje de

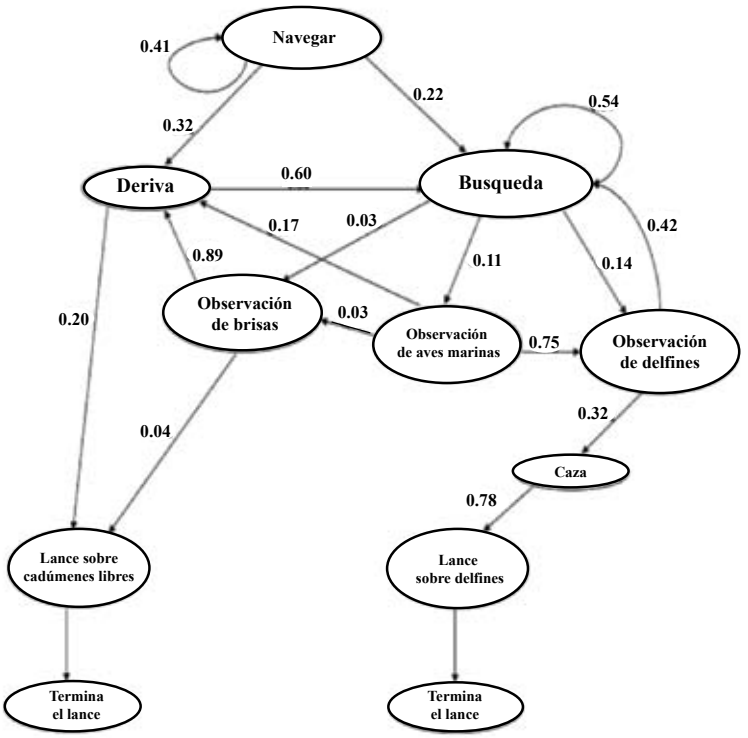

Figura 3. Comportamiento de la flota atunera mexicana, en presencia de señales ambientales.

pesca, que suele realizar una embarcación. Así, un barco navega; busca y encuentra señales o realiza un lance de pesca. Este diagrama se construyó por medio de un modelo de probabilidad de pasar de un estado del barco a otro estado: los círculos representan los estados de un barco y las flechas sus probabilidades de transición. Si es de suponer que el calentamiento global tendrá un efecto en todo el ecosistema marino, las señales utilizadas por la flota pesquera podrán cambiar su distribución. Por ejemplo, aves marinas que se han observado íntimamente relacionadas con los cardúmenes de peces podrán cambiar sus patrones de distribución espacial; lo mismo sucedería con manadas de delfines asociados con la pesca de atún. De esta forma, los efectos del cambio climático en los patrones de distribución deberán ser asimilados por la flota pesquera mexicana, que finalmente se adaptará. Sin embargo, en el proceso de adaptación se consumirá mayor cantidad de combustibles en el desplazamiento de las embarcaciones por el gran ecosistema marino del OPO, además de que el abasto de pescado no podrá ser garantizado. Además de lo anterior, el calentamiento global afectará seriamente algunos elementos de la potencia de pesca de la flota mexicana, como sería el caso de la capturabilidad. Esto pudiera ser el caso si este fenómeno tiende a incrementar la profundidad de la termoclina (capa de agua marina donde se produce un cambio brusco de temperatura), haciendo menos accesible a los peces.

Desarrollo de estrategias en México para mitigar el efecto del cambio climático en la pesca del atún

México, conjuntamente con otros países, deberá diseñar planes de acción para mitigar los efectos del cambio climático sobre la pesca del atún. Estos deberán desarrollarse con un enfoque integral, que comprenda entre otras cosas, lo siguiente:

a) En investigación se deberá realizar estudios con enfoques de manejo ecosistémico, que evalúen las relaciones de los peces con su ecosistema.

b) Se deberán mantener y apoyar de manera sostenida los programas de observadores científicos. Estos, además de realizar monitoreo de la pesca, deberán contar con protocolos específicos para observar otros elementos en la naturaleza.

c) Se deberá apoyar trabajos para desarrollo e innovación tecnológica en la captura, procesamiento y distribución del producto, enfocada a la disminución del gasto energético.

d) Desarrollar políticas de ordenamiento y manejo pesquero con enfoques ecosistémicos y adapatativos.

e) Se deberá incrementar la participación en los foros internacionales de manejo pesquero.

Lo anterior, entre otras cosas, para mitigar el efecto del calentamiento global en la pesquería mexicana del atún tropical en el Pacífico.

Literatura citada

Inter-American Tropical Tuna Commission (CIAT), 2008. Tunas and Billfishes in the Eastern Pacific Ocean 2007. Fishery Status Report No. 6. 140 p.

Bazzino Ferreri, G.A., 2009. Calamar gigante (*Dosidicus gigas*) y cambio climático: adaptaciones y vulnerabilidad, p. 473-482. 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.

Calamar gigante (*Dosidicus gigas*) y cambio climático: adaptaciones y vulnerabilidad

Gastón A. Bazzino Ferreri

Resumen

En el presente capítulo se analizan algunos de los impactos potenciales causados por eventos climático-oceanográficos, tales como El Niño o La Niña, sobre la pesquería del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California y el Océano Pacífico. Además, se examina la reciente expansión geográfica de *D. gigas* con relación a ciertos atributos poblacionales (adaptaciones y vulnerabilidad) y su respuesta frente al cambio climático global (calentamiento global, expansión de la zona de mínimo oxígeno y acidificación de los océanos).

La pesquería de *D. gigas* y la ocurrencia de eventos el Niño/la Niña

La pesquería del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California (GC) es considerada en la actualidad una de las más importantes en el noroeste de México. La captura de esta especie se inició en el GC a principios de los 1970, en su mayoría por pequeñas embarcaciones a escala local. En el año 1980 se otorgaron permisos de pesca a grandes barcos y la captura anual alcanzó las 22 000 toneladas. En 1982, la pesquería se colapsó y el calamar prácticamente desapareció del GC durante casi una década. Algunas posibles explicaciones para dicho colapso incluyeron la posibilidad de una sobreexplotación del recurso o incluso una disminución en la demanda de calamar en los mercados, lo cual podría haber causado que la captura del recurso no significara una oportunidad de negocio atractiva o rentable.

Según los antecedentes, el calamar gigante reapareció a partir de 1989, y para al año 1994 la pesquería reanudó operaciones en la región central del GC reflejando un patrón estacional bien marcado que se mantiene hasta el presente. Durante los meses de verano (mayo-octubre) la pesquería opera en la región de Santa Rosalía (Baja California Sur), mientras que durante el invierno (noviembre-mayo) se localiza en la región de Guaymas (Sonora) (Markaida y Sosa-Nishizaki, 2001). Por otro lado, las capturas comerciales de *D. gigas* en el Océano Pacífico frente a la península de Baja California han sido esporádicas u ocasionales, centrándose principalmente en la región costera frente a bahía Magdalena sólo en algunos años y durante cortas temporadas de pesca, al parecer coincidiendo con la ocurrencia de eventos El Niño (*e.g.* año 1998).

Durante los últimos 10 años, el calamar gigante se ha convertido en una de las pesquerías más importantes del país con capturas que han superado las 100 000 toneladas en algunos años (figura 1). Sin embargo, se ha observado una fuerte variabilidad interanual en la serie histórica de las capturas provocando un grado de incertidumbre en relación al aseguramiento de la materia prima para la industria establecida. Hasta la fecha se desconocen las causas de esta variabilidad aunque las primeras explicaciones sugirieron que puede haber una relación con los patrones migratorios de alimentación, de reproducción o con el éxito del reclutamiento (Klett-Traulsen, 1981; Ehrhardt *et al*., 1982, 1986; Ramírez y Klett-Traulsen, 1985) y más recientemente otros autores han sugerido que dicha variabilidad puede estar relacionada a factores climático-oceanográficos, como la ocurrencia de eventos El Niño o La Niña (Lluch-Cota *et al.,* 1999; Morales-Bojórquez *et al*., 2001; Nevárez-Martínez *et al.*, 2002)..

Los episodios más evidentes de variabilidad espacio-temporal en la disponibilidad de calamar gigante dentro del GC fueron observados durante las temporadas de pesca de 1998 y 2005. En el primer caso coincide con la ocurrencia del fuerte evento El Niño 1997-1998 y en el segundo caso con la presencia de anomalías cálidas durante 2004-2005 similares a las observadas en un evento El Niño débil. De acuerdo a los registros pesqueros (avisos de arribo), a comienzos de 1998 se registró una caída abrupta de las capturas de calamar gigante en las principales áreas de pesca del GC (Guaymas y Santa Rosalía), mientras que en el Océano Pacífico se comenzaron a observar grandes concentraciones de calamar gigante en la zona costera frente a la región

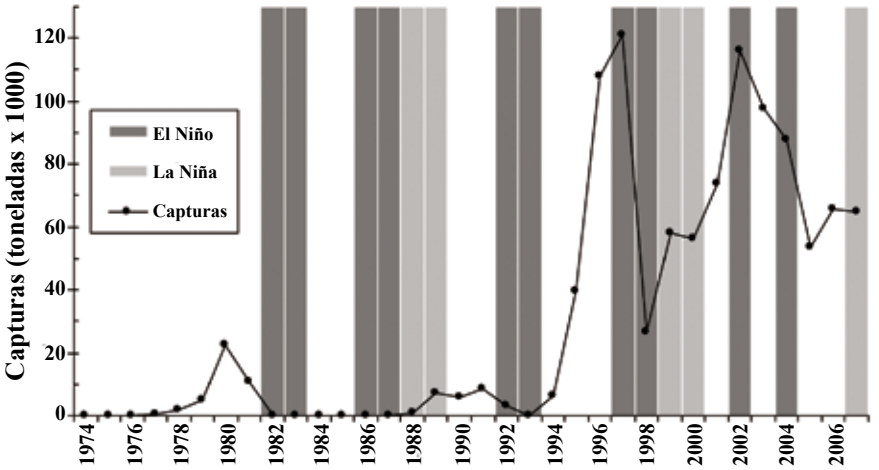

Figura 1. Capturas anuales de calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en México durante el período 1974-2007 (datos proporcionados por Sagarpa). Los períodos sombreados indican la ocurrencia de eventos El Niño o La Niña.

de bahía Magdalena, las cuales impulsaron un desplazamiento de la flota pesquera del Golfo hacia dicha zona con registros de capturas que alcanzaron aproximadamente 12 000 toneladas (Nevárez-Martínez *et al.*, 2002).

Los eventos El Niño constituyen la señal interanual más fuerte de variabilidad climática en el GC (Herrera-Cervantes *et al.*, 2007; Lluch-Cota *et al.,* 2007) y en el Océano Pacífico Oriental. Esta posible relación entre la ocurrencia de eventos El Niño y el desplazamiento del calamar gigante por fuera del GC puede estar directamente asociada a un stress fisiológico causado por las altas temperaturas, o indirectamente a través de un efecto negativo sobre las poblaciones de peces mictófidos o de pelágicos menores (*e.g.* la sardina del Pacífico; Lluch-Cota *et al.*, 2007), las cuales constituyen algunas de las presas del calamar gigante dentro del GC (Markaida y Sosa-Nishizaki, 2003).

En este contexto, vale la pena mencionar que algunos de los posibles escenarios futuros de cambio climático contemplan un posible aumento en la amplitud y frecuencia de los eventos El Niño (Collins, 2000a y b; Latif y Keenlyside, 2008; Perry *et al.*, 2009), lo cual podría ocasionar una disminución considerable en la abundancia del calamar gigante dentro del GC y podría reflejarse en una mayor variabilidad interanual de las capturas con efectos negativos sobre la pesquería. Sin embargo, aún se desconoce con certeza cuáles son los impactos potenciales que pueden ocasionar determinados eventos climático-oceanográficos, tales como El Niño o La Niña, sobre la pesquería del calamar gigante en el GC o en el Océano Pacífico (figura 1).

Expansión geográfica de *Dosidicus gigas* y variabilidad climático-oceanográfica

El calamar gigante es una especie endémica del Océano Pacífico Oriental que se distribuye desde California (aprox. 40º N) hasta el sur de Chile (45º S) (Nesis, 1983; Nigmatullin *et al.*, 2001). En años recientes se ha observado una expansión significativa de su área de distribución hacia el norte desde la región de California, pasando por la Columbia Británica hasta Alaska (figura 2; Cosgrove, 2005; Gilly, 2005; Wing, 2006; Zeidberg y Robison, 2007).

Es una especie que muestra un crecimiento rápido y un ciclo de vida corto que oscila entre 1 y 2 años (Nigmatullin *et al.*, 2001; Markaida *et al.*, 2004). Estas características en conjunto con una alta plasticidad ecológica o fenotípica (Markaida, 2006; Bazzino *et al.*, 2007) le permiten al calamar gigante una rápida adaptación a cambios en las condiciones ambientales o a cambios de hábitat (Bazzino, 2008; Bazzino *et al.*, 2010). De hecho, se ha demostrado que las especies con tiempos de generación cortos presentan ventajas adaptativas cuando experimentan cambios significativos en su rango de distribución geográfico, ya sea por efecto del calentamiento global (Perry *et al.*, 2005) o también en respuesta a cambios de la estructura trófica del ecosistema (Caddy y Rodhouse, 1998).

Figura 2. Distribución espacial de *Dosidicus gigas*. Se indica la expansión geográfica observada en años recientes (Roper *et al.*, 1984; Nigmatullin, 2001; Gilly, 2005).

A pesar de la capacidad exhibida por *D. gigas* para expandir su área de distribución en el Océano Pacífico Oriental; ¿porqué lo hace en determinados momentos? Esta es una pregunta compleja que incluye variaciones temporales en muchos aspectos biológicos y oceanográficos dentro de una gran variedad de escalas de tiempo. De acuerdo al trabajo publicado por Zeidberg y Robison (2007), la reciente expansión geográfica de *D. gigas* parece coincidir con cambios en las condiciones climático-oceanográficas: a) períodos de calentamiento asociados a los últimos eventos El Niño (1997-98 y 2002); y b) una fase de enfriamiento asociada al último cambio de régimen de temperatura en el Océano Pacífico Oriental que se registró a finales de la década de los años 90 (de templado a frío; Chávez *et al*., 2003).

En este contexto, vale la pena mencionar que el patrón de expansión actual en la distribución del calamar gigante se ha producido en conjunto con numerosos varamientos masivos a lo largo de la costa de California y con avistamientos en zonas más al norte, como Canadá y Alaska. De la misma forma, también se han observado patrones similares de varamientos y de expansión geográfica en el extremo austral del rango de distribución de *D. gigas* (región sur de Chile; Chong *et al.,* 2005), lo cual también ha sido asociado con una intrusión de aguas cálidas y un aumento del flujo en dirección polar.

Cambio Climático: adaptaciones y vulnerabilidad de *Dosidicus gigas*

Uno de los mayores desafíos que enfrentan las ciencias marinas contemporáneas es predecir la respuesta de las poblaciones, comunidades y ecosistemas frente a los cambios climáticos inminentes, tales como el calentamiento global, la expansión de la zona de mínimo oxígeno (ZMO) y la acidificación de los océanos (< pH).

Expansión de la Zona de Mínimo Oxígeno (ZMO)

En los últimos años se han publicado algunos trabajos que incluyen análisis a largo plazo de la dinámica de la ZMO y que describen una tendencia a la disminución del oxígeno disuelto a profundidades intermedias de la columna de agua. Esto es equivalente a un desplazamiento del límite superior de la ZMO hacia menores profundidades o a una expansión de la ZMO, tanto en el Pacífico tropical (Stramma *et al*., 2008) así cómo en el Pacífico subártico (Whitney *et al*., 2007). También se han observado periódicamente anomalías hipóxicas en zonas costeras frente a Oregón (EUA) durante los últimos 5 años (Grantham *et al*., 2004; Chan *et al*., 2008).

Esta expansión de la ZMO parece estar relacionada con la variabilidad climático-oceanográfica a través de diversos procesos y factores. Por ejemplo, el calentamiento global ha provocado una mayor estratificación de la columna de agua, lo cual dificulta el transporte e intercambio de oxígeno entre las capas profundas y superficiales. Por otro lado, se ha observado una tendencia al aumento de la productividad primaria (mayor cantidad de "blooms" fitoplanctónicos), lo cual se refleja en una mayor cantidad de materia orgánica en la columna de agua que conlleva

a una mayor disminución del oxígeno en la columna de agua (Kahru y Mitchell, 2008). Estos cambios en la concentración de oxígeno disuelto a profundidades intermedias constituyen un factor relevante en la estructura funcional del ecosistema pelágico de la Corriente de California y podrían estar representando la expansión de un hábitat que resulta favorable para muchos depredadores mesopelágicos, como es el caso de *D. gigas* (Bograd *et al.,* 2008).

De acuerdo a los resultados obtenidos durante los experimentos de marcaje satelital en el Golfo de California y en el Océano Pacífico, *D. gigas* realiza activas migraciones verticales diarias desde profundidades intermedias características de la ZMO en horas del día, hasta aguas someras cercanas a la superficie en la noche (figura 3; Gilly *et al*., 2006; Bazzino *et al.*, 2010). De hecho, es una especie altamente flexible y que se adapta a fuertes variaciones en algunos parámetros ambientales (temperatura, O_2 disuelto), así cómo al tipo de presas, lo cual le permite un aprovechamiento eficiente de toda la columna de agua. Sin embargo, una migración vertical de este tipo implica la permanencia durante varias horas en un ambiente con déficit de oxígeno (hipoxia), lo cual representa un desafío fisiológico para un calamar tan activo como *D. gigas*.

En este contexto, se realizaron experimentos de respirometría con *D. gigas*, en los cuales se comprobó la existencia de una inhibición (reversible) de su tasa metabólica aeróbica cuando los niveles de oxígeno reflejan condiciones de hipoxia (Gilly *et al*., 2006). No obstante, esta adaptación no puede ser el único mecanismo fisiológico involucrado si tomamos en cuenta los altos niveles de actividad (frecuencia de buceo) reflejados por *D. gigas* a profundidades dentro

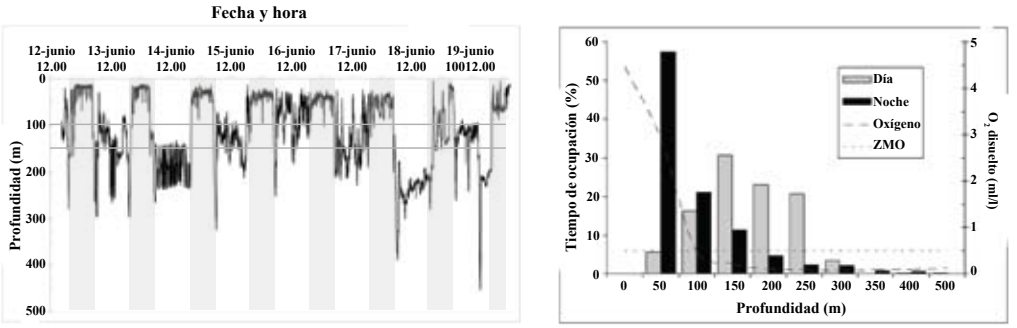

Figura 3. Gráfico izquierdo: migraciones verticales de *Dosidicus gigas* en el Océano Pacífico frente a la península de Baja California. Datos obtenidos con una marca satelital en Junio de 2005. Las líneas punteadas indican aproximadamente el límite superior de la Zona de Mínimo Oxígeno (ZMO; 100-150 m). Los períodos sombreados corresponden a las noches. Gráfico derecho: histograma día-noche con el tiempo ocupado por *D. gigas* en cada franja de profundidad. Las barras grises corresponden al tiempo diurno y las barras negras al nocturno. La línea segmentada corresponde a un perfil de oxígeno disuelto según la profundidad. La línea punteada indica el nivel de oxígeno en la ZMO (0.5 ml/l). Las barras que se observan a la derecha del punto de intersección entre ambas líneas (aprox. 100 m de profundidad) corresponden al tiempo de ocupación dentro de la ZMO (mayoritariamente durante el día y en menor proporción durante la noche). Extraído y modificado de Bazzino (2008) y Bazzino *et al.* (2010).

de la ZMO, comparables a los observados en las aguas bien oxigenadas cerca de la superficie (figura3; Bazzino *et al*., 2010).

De esta forma, se hace evidente la existencia de una fuerte asociación entre el calamar *D. gigas* y la ZMO, independientemente de la región geográfica donde habita. La capacidad de alimentarse tanto en aguas superficiales ricas en oxígeno, así cómo dentro de la ZMO, podría ser altamente ventajoso para un depredador de rápido crecimiento como *D. gigas*. Otros beneficios adicionales podrían incluir una reducción de la competencia y una mayor protección respecto a los depredadores que no toleran las condiciones de hipoxia, tales como los grandes peces pelágicos (Prince y Goodyear, 2006).

Acidificación de los océanos (< pH)

De acuerdo a los modelos climáticos utilizados por el IPCC (por sus siglas en inglés, "Intergovernmental Panel on Climate Change"), las emisiones de CO_2 provocarán un descenso en el pH superficial del océano de hasta 0.3 unidades hacia el final del siglo XXI (Meehl *et al.*, 2007). Este proceso es conocido como acidificación de los océanos (Caldeira y Wickett, 2003). Al mismo tiempo, se espera que continúe el calentamiento global de los océanos (Bindoff *et al*., 2007) y la expansión asociada de la ZMO (Stramma *et al*., 2008).

Rosa y Seibel (2008) sugieren que la acidificación de los océanos (< pH) provocará una inhibición considerable de la tasa metabólica aeróbica (31%) y de los niveles de actividad (45%) del calamar gigante *D. gigas* en el Océano Pacífico Oriental. Esta reducción de la tasa metabólica aeróbica, y posiblemente de la capacidad de locomoción, podría afectar las interacciones predador-presa del calamar gigante, perjudicando el crecimiento, la reproducción y la supervivencia de esta especie. Además, la expansión de la ZMO, obligará al calamar gigante a pasar más tiempo en las capas superficiales durante la noche para alimentarse y recuperarse del déficit de oxígeno sufrido durante las horas del día en sus migraciones verticales dentro de la ZMO (Rosa y Seibel, 2008).

Consideraciones finales

De acuerdo a lo expuesto en este documento, resulta evidente que el calamar gigante *Dosidicus gigas* es una especie altamente flexible y que se adapta rápidamente a fuertes variaciones en algunos parámetros ambientales, particularmente con la temperatura y la concentración de oxígeno disuelto. No obstante, los mecanismos fisiológicos adaptativos o las capacidades migratorias demostradas por esta especie podrían no ser suficientes en el futuro para hacer frente a los cambios ambientales asociados a la variabilidad climático-oceanográfica o al cambio climático (*e.g.* la expansión de la ZMO y/o la acidificación de los océanos). De esta forma, dichas perturbaciones podrán provocar, en el mediano o largo plazo, una reducción del rango de profundidades habitable de *Dosidicus gigas*, aumentando su vulnerabilidad y afectando negativamente a esta especie.

Agradecimientos

Se agradece al Dr. César A. Salinas Zavala (CIBNOR) por los comentarios y sugerencias realizados que enriquecieron el presente manuscrito.

Litertura citada

Bazzino G., 2008. Estructura poblacional, movimientos horizontales y migraciones verticales del calamar gigante (Dosidicus gigas) en el Golfo de California y en el Océano Pacífico frente a la Península de Baja California. Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR). La Paz, B.C.S., México. 127 p. (disponible en http://cybertesis.cibnor.mx:8080/sdx/cibnor/rsimple.xsp?q=Bazzino&base=documents)

Bazzino G., CA. Salinas-Zavala, y U. Markaida, 2007. Variabilidad en la estructura poblacional del calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en Santa Rosalía, región central del Golfo de California. *Ciencias Marinas,* 33(2): 173-186.

Bazzino G, WF. Gilly, U. Markaida, CA Salinas-Zavala, y J. Ramos-Castillejos, 2010. Horizontal movements, vertical habitat utilization and diet of the jumbo squid (*Dosidicus gigas*) in the Pacific Ocean off Baja California Sur, Mexico. *Progress in Oceanography*, 86: 59-71.

Bindoff NL., *et al*., 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, p. 385-432. *In:* S. Solomon S, *et al.* (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Bograd SJ., CG Castro, E. Di Lorenzo, DM. Palacios, H. Bailey, W. Gilly, y FP. Chavez, 2008. Oxygen declines and the shoaling of the hypoxic boundary in the California Current. Geophys. Res. Lett. 35: L12607, doi:10.1029/2008GL034185.

Caddy JF., y PG. Rodhouse, 1998. Cephalopod and groundfish landings: evidence for ecological change in global fisheries? *Rev. Fish. Biol. Fisheries,* 8:431–444.

Caldeira K., y ME. Wickett, 2003. Anthropogenic carbon and ocean pH. *Nature,* 425: 365.

Chan F., JA. Barth, J. Lubchenco, A. Kirincich, H. Weeks, WT. Peterson, y BA. Menge, 2008. Emergence of anoxia in the California current large marine ecosystem. *Science,* 319: 920.

Chávez FP., J. Ryan J, SE. Lluch-Cota, y CM. Niquen, 2003. From anchovies to sardines and back: multidecadal changes in the Pacific Ocean. *Science,* 299: 217–221.

Chong J., C. Oyarzún, R. Galleguillos, E. Tarifeño, RD. Sepúlveda, y CM. Ibáñez, 2005. Parámetros biológico-pesqueros de la jibia, *Dosidicus gigas* (Orbigny, 1835) (Cephalopoda:Ommastrephidae) frente a la costa de Chile central (29ºS y 40ºS) durante el periodo 1993-1994. *Gayana* 69: 319-328.

Collins M., 2000a. The El-Niño Southern Oscillation in the second Hadley Centre coupled model and its response to greenhouse warming. *J. Climate,* 13: 1299-1312.

Collins M., 2000b. Understanding the uncertainties in the response of ENSO to greenhouse warming. Geophys. *Res. Lett.,* 27: 3509–3512.

Cosgrove JA., 2005. The first specimens of Humboldt squid in British Columbia. *PICES Press,* 13(2): 30-31.

Ehrhardt NM., PS. Jacquemin, DG. González, RP. Ulloa, BF García, CJ Ortiz, y NA Solís, 1982. Des-

cripción de la pesquería del calamar gigante *Dosidicus gigas* durante 1980 en el Golfo de California. Flota y poder de pesca. *Cienc. Pesq.,* 3: 41-60.

Ehrhardt NM., NA. Solís, PS. Jacquemin, CJ. Ortiz, RP. Ulloa, DG. González, y BF. García, 1986. Análisis de la biología y condiciones del stock del calamar gigante *Dosidicus gigas* en el Golfo de California, México, durante 1980. *Cienc. Pesq.,* 5: 63-76.

Gilly WF., 2005. Spreading and stranding of jumbo squid. Ecosystems Observations for the Monterrey Bay National Marine Sanctuary 2005: 20-22 (available online at http://www.montereybay.noaa.gov/reports/2005/eco/harvestedsp.html.

Gilly WF., U. Markaida, CH. Baxter, BA. Block, A. Boustany, L. Zeidberg, K. Reisenbichler, B. Robison, G. Bazzino, y C. Salinas, 2006b. Vertical and horizontal migrations by jumbo squid, *Dosidicus gigas*, revealed by electronic tagging. *Mar Ecol Prog Ser,* 324: 1–17.

Grantham BA., F. Chan, KJ. Mielsen, DS. Fox, JA. Barth, A. Huyer, J. Lubchenco, y BA. Menge, 2004. Upwelling-driven nearshore hypoxia signals ecosystem and oceanographic changes in the northeast Pacific. *Nature,* 429, 749-754.

Kahru M., y BG. Mitchell, 2008. Ocean color reveals increased blooms in various parts of the World. EOS, Trans. AGU, 89(18): 170.

Klett-Traulsen A., 1981. Estado actual de la pesquería del calamar gigante en el estado de Baja California Sur. Depto. de Pesca México. *Serie Científica,* 21: 1-28.

Herrera-Cervantes H., DB. Lluch-Cota, SE. Lluch-Cota, y G. Gutiérrez-de-Velasco, 2007. The ENSO signature in the Gulf of California using sea surface temperature. *Journal of Marine Research,* 65: 589-605.

Lluch-Cota D., D. Lluch-Belda, S. Lluch-Cota, J. López-Martínez, M. Nevárez-Martínez, G. Ponce-Díaz, G. Salinas-Zavala, A. Vega-Velazquez, JR. Lara-Lara, G. Hammann, y J. Morales, 1999. Las pesquerías y El Niño. p. 137-178. En: VO. Magaña-Rueda (ed.). Los impactos de El Niño en México. DGPC-SG-UNAM-IAI-SEP-conacyt.

Lluch-Cota SE., EA. Aragón-Noriega, F. Arreguín-Sánchez, D. Aurioles-Gamboa, J. Bautista-Romero, RC. Brusca, R. Cervantes-Duarte, R. Cortéz-Altamirano, P. Del-Monte-Luna, A. Esquivel-Herrera, G. Fernández, ME. Hendrickx, S. Hernández-Vázquez, H. Herrera-Cervantes, M. Kahru, M. Lavín, D. Lluch-Belda, D. Lluch-Cota, J. López-Martínez, SG. Marinone, MO. Nevárez-Martínez, S. Ortega-García, E. Palacios-Castro, A. Parés-Sierra, G. Ponce-Díaz, M. Ramírez-Rodríguez, CA. Salinas-Zavala, RA. Schwartzlose, y AP. Sierra-Beltrán, 2007. The Gulf of California: Review of ecosystem status and sustainability challenges. *Prog. Oceanogr.,* 73: 1-26.

Markaida U., 2006. Population structure and reproductive biology of jumbo squid *Dosidicus gigas* from the Gulf of California after the 1997–1998 El Niño event. *Fish. Res.,* 79(1-2): 28-37.

Markaida U, Sosa-Nishizaki O. 2001. Reproductive biology of jumbo squid *Dosidicus gigas* in the Gulf of California, 1995-1997. *Fish. Res*., 54(1): 63-82.

Markaida U., y O. Sosa-Nishizaki, 2003. Food and feeding habits of jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae) from the Gulf of California, Mexico. *J. Mar. Biol. Ass.,* 83: 507-522.

Markaida U., C. Quiñónez-Velázquez, y O. Sosa-Nishizaki, 2004. Age, growth and maturation of jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae) from the Gulf of California, Mexico. *Fish. Res.,* 66(1): 31–47.

Markaida U., JJC. Rosenthal, y WF. Gilly, 2005. Tagging studies on the jumbo squid, *Dosidicus gigas*, in

the Gulf of California, Mexico. *Fish. Bull.,* 103(1): 219-226.

Meehl GA., *et al*., 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I. p. 747-845. *In:* S. Solomon, *et al.* (eds.). Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

Morales-Bojórquez E., MA. Cisneros-Mata, MO. Nevárez-Martínez, y A. Hernández-Herrera, 2001. Review of stock assessment and fishery biology of *Dosidicus gigas* in the Gulf of California, Mexico. *Fish. Res.,* 54: 83–94.

Nesis KN., 1983. *Dosidicus gigas*. p. 215-231. *In:* PR. Boyle PR (ed.). Cephalopod Life Cycles Vol. I, Species Accounts. Academic Press, New York.

Nevárez-Martínez MO., GI. Rivera-Parra, E. Morales-Bojórquez, J. López-Martínez, DB. Lluch-Cota, E. Miranda-Mier, y C. Cervantes-Valle, 2002. The jumbo squid (*Dosidicus gigas*) fishery of the Gulf of California and its relation to environmental variability. *Investig. Mar.,* 30(1): 193-194.

Nigmatullin ChM., KN. Nesis KN, y AI. Arkhipkin, 2001. A review of the biology of the jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae). *Fish. Res.,* 54: 9-19.

Pecl GT., y GD. Jackson, 2008. The potential impacts of climate change on inshore squid: biology, ecology and fisheries. *Rev. Fish Biol. Fisheries,* 18: 373–385.

Perry AL., PJ. Low, JR. Ellis, y JD. Reynolds, 2005. Climate change and distribution shifts in marine fishes. *Science,* 308: 1912-1915.

Perry RI., P. Cury, K. Brander, S. Jennings, C. Möllmann, y B. Planque, 2009. Sensitivity of marine systems to climate and fishing: Concepts, issues and management responses. *J. Mar. Syst*., doi:10.1016/j.jmarsys.2008.12.017

Prince ED., y CP. Goodyear, 2006. Hypoxia-based habitat compression of tropical pelagic fishes. *Fish. Oceanogr.,* 15: 451–464.

Ramírez RM., y TA. Klett-Traulsen, 1985. Composición de la captura del calamar gigante en el Golfo de California durante 1981. *Trans. CIBCASIO,* X: 123-137.

Rosa R., y BA. Seibel, 2008. Synergistic effects of climate-related variables suggest future physiological impairment in a top oceanic predator. Proceedings of the National Academy of Sciences. *PNAS,* 105: 20776–20780.

Roper CFE., MJ. Sweeney, y CE. Nauen, 1984. FAO Species Catalogue Vol. 3 Cephalopods of the World. *FAO Fisheries Synopsis,* 125(3): 181-183.

Stramma L., GC. Johnson, J. Sprintall, y V. Mohrholz, 2008. Expanding oxygen-minimum zones in the tropical oceans. *Science* 320: 655-658.

Wing BL., 2006. Unusual invertebrates and fish observed in the Gulf of Alaska, 2004-2005. *PICES Press,* 14 (2): 26-28.

Whitney FA., JH. Freeland, y M. Robert, 2007. Persistently declining oxygen levels in the interior waters of the eastern subarctic Pacific. *Prog. Oceanogr*., 75: 179-199.

Zeidberg LD., y BH. Robison, 2007. Invasive range expansion by the Humboldt squid, *Dosidicus gigas*, in the eastern North Pacific. *Proceedings of the National Academy of Sciences,* 104: 12948–12950.

Lluch-Belda, D., 2010. Cambio climático en México. caso sardina, p. 483-492. 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: caso sardina

Daniel Lluch-Belda

Resumen

Las poblaciones de sardina (*Sardinops sagax*) del Pacífico costero nororiental presentan cambios dinámicos de distribución y abundancia en respuesta a condiciones cambiantes del ambiente en varias escalas de tiempo: estacional, interanual, decenal y multidecenal. Estos cambios evidencian variaciones de gran alcance en el clima oceánico que no han sido contemplados cuando se proyectan escenarios de calentamiento global por acumulación de gases con efecto invernadero. Basándonos en la historia de tales cambios, sugerimos que los próximos años (posiblemente hasta mediados de la década de los 2020), la Corriente de California sufrirá un enfriamiento similar al experimentado entre ~1940 y mediados de la década de los 1970, y consecuentemente su distribución y abundancia en las áreas norteñas de su distribución máxima declinará.

Introducción

Lo aquí expuesto constituye un conjunto de hipótesis con distintos grados de aceptación y comprobación; algunos de los aspectos que se discuten están en la actualidad sujetos a intenso debate. En lo personal, creo que el esquema global que aquí se presenta es coherente y explica razonablemente bien los hechos observados. Sin embargo, el lector debe tener en cuenta que somos muchos los investigadores interesados en el tema y no todos estamos de acuerdo en cada uno de los aspectos que aquí se plantean.

La pesquería de sardina es un excelente indicador de cambio climático de escalas geográficas regional y global, así como de escalas temporales mensuales, interanuales y de menor frecuencia. Estas características se deben básicamente a su muy considerable movilidad estacional, la interacción entre especies de afinidad templada y tropical, su altísimo potencial de crecimiento poblacional y corta vida. En el presente capítulo se examinan las variaciones que presenta su distribución y abundancia en las escalas de tiempo que se han descrito: estacional, interanual, en la frecuencia de los eventos El Niño/La Niña, decenal (variaciones de 10-20 años) y del régimen (mayor de 30 años). La figura 1 muestra estas escalas de variación en la Corriente de California (Lluch-Belda *et al.*, 2003a).

La pesquería de sardina de México se lleva a cabo en el noroeste del país, incluyendo la costa occidental de la península de Baja California y el Golfo de California. Es una pesquería multiespecífica, que explota especies de afinidad templada, como las sardinas de California (*Sardinops sagax,* en adelante referida simplemente como sardina) y japonesa (*Etrumeus teres*), así como otras de origen tropical, como la sardina crinuda (*Opisthonema* spp., a la que en adelante denominaremos simplemente crinuda); varias especies de anchoas y anchovetas (*Engraulis mordax, Cetengraulis mysticetus*); en menor escala, un escómbrido (la macarela, *Scomber japonicus*) y un carángido (*Oligoplites* spp.). Es la pesquería que aporta el mayor volumen en el país (alrededor del 30%) y el producto se destina en su mayor parte a la obtención de harina y aceites de pescado para la producción de alimentos balanceados para animales (Anón., 2006).

Las poblaciones de sardina de California se distribuyen en la zona de transición templado-tropical del Pacífico nororiental, caracterizada por la mezcla de agua de la Corriente de California proveniente de la divergencia subártica al norte y la tropical de la Corriente Ecuatorial del norte, que penetra al norte como Contracorriente de California (también llamada por algunos autores en ciertas épocas del año Corriente de Davidson); el Golfo de California constituye el extremo meridional de su distribución. Hay una condición evidente en la distribución de la sardina: se limita al norte por temperaturas frías, mientras que el límite sur está definido por temperaturas cálidas; por ende, un enfriamiento de la región extiende su distribución al sur y viceversa: un calentamiento expande su hábitat hacia el norte.

Variación estacional

El ciclo anual de la zona de transición templado-tropical es dinámico y de gran alcance. La Corriente de California se intensifica durante el invierno y primavera, ocasionando que el área

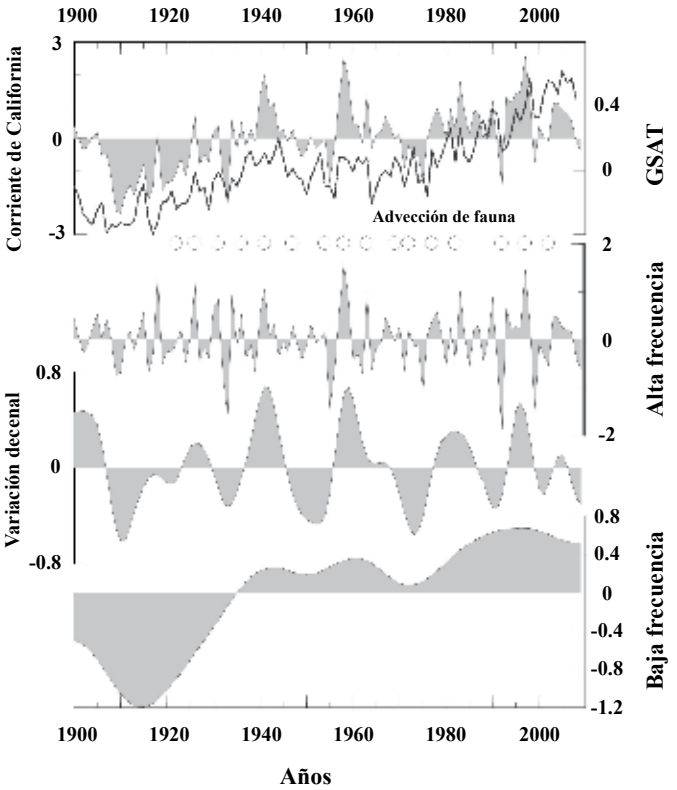

Figura 1. Escalas de variación en la Corriente de California, extraídas del promedio de las anomalías anuales de temperatura superficial del mar en la Corriente de California en cuadrantes de 2° x 2°. La gráfica superior muestra el primer componente (PC1) de todos los cuadrantes (curva sombreada), así como la serie de anomalías de la temperatura global de superficie (GSAT, linea punteada); los círculos indican los eventos de advección de fauna del sur al norte relacionados con los ENOS; las tres gráficas inferiores muestran los valores filtrados de alta frecuencia (<10 años), decenal (10-20 años) y de baja frecuencia(>30 años).

de mezcla se desplace hacia el sur; las menores temperaturas y los más bajos niveles del mar del año se presentan durante abril-mayo, coincidiendo con la máxima advección de la Corriente de California y la intensificación de los vientos del noroeste, que generan considerables surgencias costeras. En el Golfo de California la Corriente de California penetra a través de su boca, los vientos del noroeste se intensifican y provocan un corredor de surgencias a lo largo de la costa continental que lo enfrían y enriquecen. Durante la temporada de enfriamiento los cardúmenes de sardina expanden su distribución hacia el sur, generalmente hasta Topolobampo a lo largo de los corredores de surgencia, aprovechando el enriquecimiento para desovar.

Al iniciarse el verano, los vientos del noroeste se debilitan y las surgencias costeras se detienen. El nivel del mar se incrementa, mientras la capa superficial se calienta, la Corriente de California se debilita y aleja de la costa mientras el agua de origen tropical penetra hacia el norte

creando una amplia zona de mezcla; asimismo, invade el Golfo y penetra a lo largo de la costa continental. Durante el calentamiento anual la sardina se concentra en refugios de verano, la región de las grandes islas en el Golfo de California y la zona de Punta Eugenia-Bahía Sebastián Vizcaíno en la costa pacífica, mientras las especies tropicales (especialmente la crinuda) invaden los espacios ocupados durante este periodo por agua de origen tropical (Lluch-Belda *et al.,* 2003b, Félix-Uraga *et al.*, 2005)

Este ciclo anual es intensificado cada tanto por la ocurrencia de eventos El Niño (ENOS) y La Niña. Si bien la frecuencia del ENOS se ha definido como de entre dos a siete años, sus efectos físicos al norte de la boca del Golfo de California se caracterizan por una frecuencia de cinco años (Lluch-Cota *et al.,* 2003); aproximadamente cada periodo de esta duración hay intensificación de la penetración de agua y organismos de origen tropical hacia la zona templada, con efectos que pueden identificarse hasta la región norte de la Corriente de California, frente a la Isla Vancouver en Canadá. Este fenómeno ha sido relacionado con los eventos ENOS. Los efectos de estos eventos incluyen elevación anómala del nivel del mar, así como profundización de la termoclina y nutriclina (Lluch-Cota *et al.,* 1999). De manera opuesta, los eventos La Niña están relacionados con intensificación de la Corriente de California y advección de organismos de afinidad templada hacia el sur (Lluch-Belda *et al.,* 2005).

Cuando ocurre un evento ENOS, el centro del desove de la sardina se desplaza al norte (Radovich, 1959) en la costa del Pacífico; en el Golfo de California los cardúmenes de sardina no se mueven hacia el sur, sino que permanecen alrededor de las grandes islas, su zona de refugio. Por el contrario, durante los eventos La Niña los cardúmenes de sardina en el Golfo llegan más al sur, a veces hasta Mazatlán (Lluch-Belda *et al.,* 1986; 2003b).

Durante los eventos ENOS, en los que la sardina de California no se mueve hacia el sur hasta las áreas que normalmente son utilizadas por la pesquería (Bahía Magdalena en la costa occidental; la costa de Sonora y Sinaloa en el Golfo), ésta captura sardinas tropicales, particularmente crinuda, que se distribuye en las áreas que la sardina de California ocupa la mayor parte de los años (Lluch-Belda *et al.,* 1986). Como puede apreciarse, esta escala de variación responde a cambios en el patrón de distribución estacional de los cardúmenes de sardina y a su interacción con los cambios de la distribución estacional de especies tropicales.

Este mecanismo explica las variaciones entre años, particularmente en el ciclo del ENOS/La Niña, pero no es la única escala temporal de fluctuaciones en la abundancia de estas especies.

Variación decenal

La variación en escalas decenales (10-20 años; Lluch-Belda *et al.,* 2003) tiene impactos relevantes sobre la abundancia y distribución de las poblaciones de sardina. El mecanismo por el que opera puede hacerse evidente en el evento multianual que se presentó entre 1955 y 1962 (figura 2): coincidiendo con la tendencia temporal de calentamiento de la variación decenal de finales de los 1950s (figura 1), el desove relativo (que había estado restringido mayormente al sur) fue incrementándose hacia el norte, culminando con el establecimiento de una población

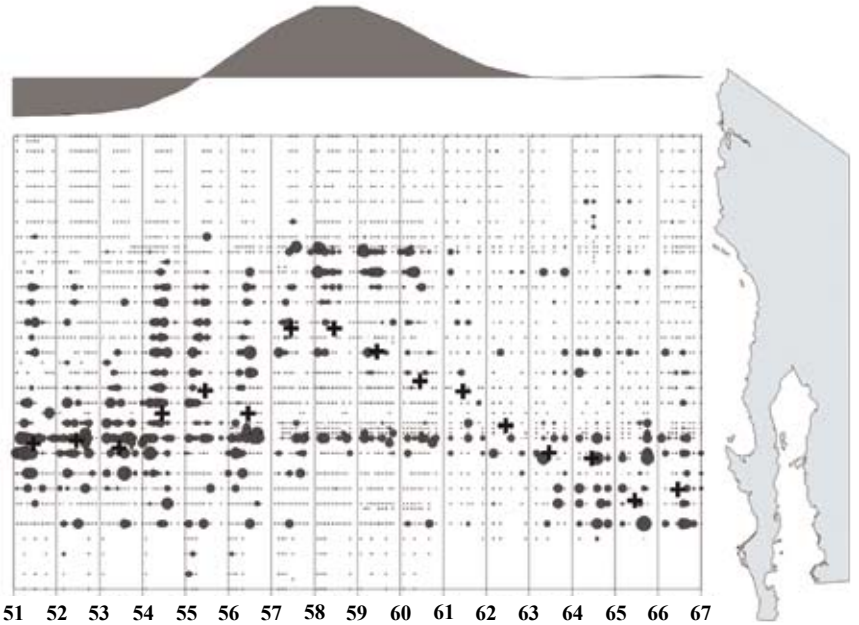

Figura 2. Abundancia promedio de huevos de sardina de California por línea CalCOFI. Los puntos pequeños muestran lugares de muestreo sin presencia de huevos; el tamaño de los círculos grises es proporcional a la abundancia. Las cruces muestran la latitud promedio de desove. La línea llena superior muestra la variación decenal en ese periodo. El mapa a la derecha sirve de referencia.

en la región del sur de California con desoves casi continuos a lo largo del año entre 1957 y principios de 1961. Cuando la variación decenal cambió para dar lugar a una tendencia de enfriamiento, el desove en esa zona disminuyó hasta prácticamente desaparecer (Lluch-Belda *et al.,* 2003). La capacidad de originar una nueva población residente es una de las bases para comprender la escala de fluctuación de menor frecuencia de la abundancia de sardina; se describió hace ya varios años y se basó en sus enormes variaciones sincrónicas en los principales sistemas de mezcla de corrientes mayores, que permitieron la identificación del "Problema del Régimen" (Lluch-Belda *et al.,* 1989).

Variación multidecenal (El problema del régimen)

Durante los periodos de enfriamiento, la zona del sur de California es demasiado fría para el establecimiento de una población residente; cuando se incrementa la temperatura lo suficiente (como sucedió después de 1957) se establece una población permanente; la reproducción en esa área es muy exitosa porque es una zona más productiva que aquella de origen (la de Punta Eugenia-Sebastián Vizcaíno). La población residente crece muy rápidamente. El ecotipo re-

sultante de la reproducción en esa área norteña resulta de mayor tamaño y mayor capacidad de movimiento y, si el periodo de calentamiento es suficientemente prolongado y se expande hacia el polo, los cardúmenes empiezan a extenderse durante la temporada propicia, aprovechando la disponibilidad de zonas de productividad más alta. Esta expansión estacional puede llegar hasta el Golfo de Alaska, aunque la reproducción masiva está restringida a la parte sur de esta nueva área de distribución.

En esta condición, la biomasa de las poblaciones de sardina es máxima; durante el periodo de abundancia anterior, constituyó la pesquería de mayor volumen de Norteamérica, llegando a casi 600 000 ton anuales a finales de los 1930. Cuando la fase de crecimiento culmina, el régimen de enfriamiento que le sigue resulta en la declinación de la abundancia de las poblaciones de sardina de norte a sur (Lluch-Belda *et al.,* 1989) hasta quedar restringidas al extremo sur de su distribución, la costa occidental de la península de Baja California y el Golfo de California. El ciclo completo de crecimiento-declinación ha ocurrido al menos durante los últimos 2 000 años, documentado a través de la abundancia de escamas en los sedimentos laminados de la cuenca de Santa Bárbara (Soutar e Isaac, 1969) con una duración promedio de 60 años (Baumgartner *et al.,* 1992).

A lo largo del siglo pasado el ciclo se presentó entre aproximadamente 1910 (baja abundancia), 1940 (alta abundancia) y mediados de los 70 (baja abundancia); el nuevo ciclo de incremento de la abundancia culminó alrededor de 1997 y a partir de entonces parece haberse establecido un nuevo régimen de declinación (Hill *et al.,* 2007; Lo *et al.*, 2007).

La alternancia de abundancia entre sardinas y anchovetas en las principales regiones de mezcla de corrientes templadas y tropicales se debe esencialmente a la competencia entre ellas, dominada por la sardina. Cuando ésta es abundante, la anchoveta se encuentra en baja abundancia; sólo cuando la abundancia de sardina está deprimida se incrementa la de anchoveta aprovechando la productividad de la zona en un nicho muy cercano a la base productiva.

Aunque la causa fundamental de estos ciclos de abundancia reside en la variación climática natural de escala global, es indudable que una pesquería intensa puede acelerar una declinación de manera significativa. Un ejemplo de lo anterior lo podemos apreciar en el presente ciclo de abundancia: tanto en el noroeste del Pacífico (Japón, Corea y China) como en el Pacífico sudamericano (Chile y Perú), las capturas máximas se alcanzaron a finales de la década de los 80s, mientras que en Norteamérica se retrasaron hasta finales de los 90. Esta diferencia es congruente con la baja intensidad de la explotación en esta última área, contrastando con la alta intensidad de la pesca en las dos anteriores.

Las perspectivas futuras

Con estas consideraciones, ¿qué podemos esperar que suceda en los próximos años?

El IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático) ha pronosticado que la temperatura se incrementará unos 0.2°C promedio por década las próximas dos décadas, considerando que en las dos décadas más recientes a partir del informe de 1990 esa ha sido la tasa de incre-

mento; a más largo plazo considera que dependerá mayormente de las estrategias que se sigan para controlar las emisiones de gases con efecto invernadero (IPCC, 2007). Hay que resaltar que las proyecciones del IPCC se basan en un escenario de incremento monotónico de la temperatura por efecto antropogénico y no incorporan la variabilidad natural.

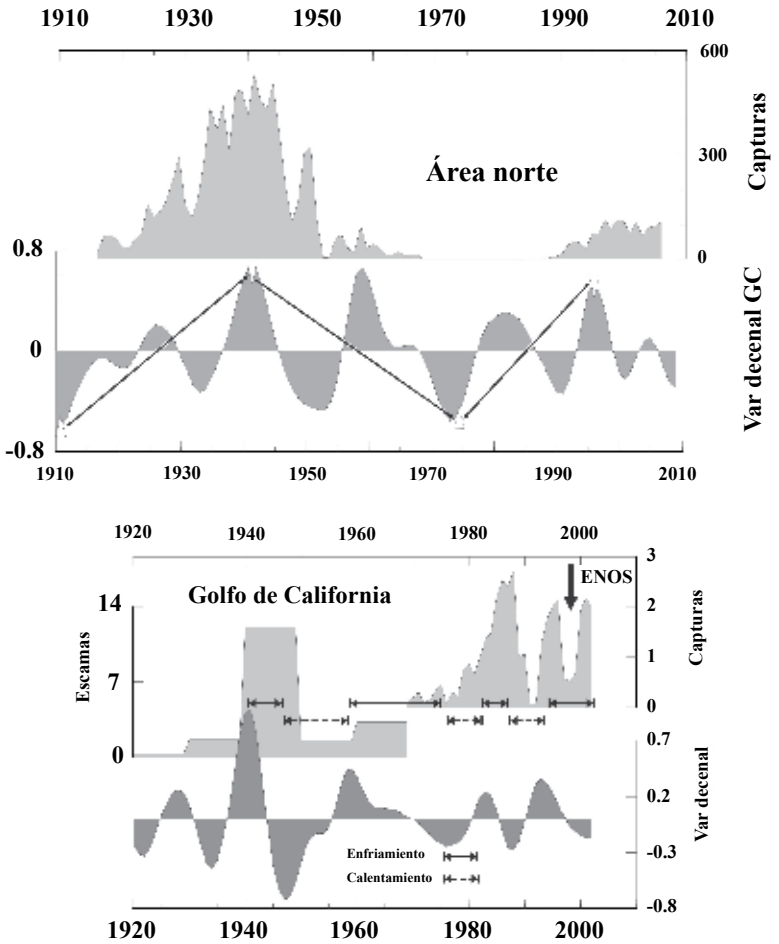

Figura 3. Variación de la abundancia relativa de sardina (capturas): arriba, en el área norte (de Ensenada hasta la Columbia Británica, Canadá; límite boreal de la distribución de sardina); siguiente gráfica es la variación decenal de la temperatura superficial del mar en la Corriente de California. Las puntas de flecha muestran los cambios de régimen identificados, unidos por las líneas de tendencia de enfriamiento y calentamiento de la escala multidecadal. Abajo, Abundancia relativa de sardina (capturas y número de escamas en los sedimentos laminados de la cuenca de Guaymas), comparados con la variación decenal de la temperatura superficial del mar en el Golfo de California, el extremo meridional de distribución de la sardina.

La Corriente de California se ha calentado en promedio, desde principios del siglo XX, 0.135°C por década; 0.2°C a partir del año más frío, 1910. Sin embargo, desde 1997 hasta 2009 se enfrió 0.8°C por década. Esta tendencia se parece mucho a la que se presentó entre 1940 y 1955 (enfriamiento de 0.9°C por década); en la escala del régimen de enfriamiento (1940 a 1976) la Corriente de California se enfrió a una tasa de 0.84°C por década.

Si bien la tendencia de la temperatura global ha sido muy documentada, es factible que la condición de la Corriente de California dependa de condiciones locales, particularmente de cambios mayores en el patrón de corrientes (Lluch-Belda *et al.,* 2003). Si así fuera y se repiten las condiciones que han ocurrido en el pasado, sería concebible que el futuro cercano fuese similar al régimen de enfriamiento de 1940-1976 y podríamos esperar que persista hasta mediados de la década de 2020, caracterizada por una disminución de la abundancia de sardina en su distribución norteña y la restricción de los desoves masivos al extremo meridional de su distribución, Punta Eugenia-Sebastián Vizcaíno y el Golfo de California. En esencia, menor abundancia en el norte, mayor en el sur.

Literatura citada

Anón., 2006. Sustentabilidad y pesca responsable en México, evaluación y manejo. Secretaria de Agricultura, Ganaderia, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de la Pesca. 560 p.

Baumgartner, T., A. Soutar, y V. Ferreira, 1992. Reconstruction of the history of Pacific sardine and northern anchovy populations over the past two millennia from sediments of the Santa Barbara Basin, California. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigation Reports,* 33: 24–40.

Felix-Uraga, R., V.M. Gomez-Muñoz, C. Quiñones-Velazquez, F.N. Melo-Barrera, K.T. Hill, y W.Garcia-Franco, 2005. Pacific sardine (*Sardinops sagax*) stock discrimination off the west coast of Baja California and southern California using otolith morphometry. *Calcofi Rep.,* 46: 113 – 121

Hill, K. T., E. Dorval, N.C.H. Lo, C. Show, y R. Felix-Uraga, 2007. Assessment of the Pacific sardine resource in 2007 for U.S. management in 2008. U.S. Dept. Comm. Natl. Marine Fish Serv., Southwest Fish. Sci. Center

Lo, N.C.H., B. J. Macewicz, y R.L. Charter, 2007. Spawning biomass of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) off california in 2007. U.S. Dept. Comm. Natl. Marine Fish Serv., Southwest Fish. Sci. Center

Lluch-Belda, D., F. J. Magallón, y R. A. Schwartzlose, 1986. Large fluctuations in the sardine fishery in the Gulf of California: Possible causes. *Calcofi Rep.,* 27: 136-140.

Lluch-Belda, D., R.J.M. Crawford, T. Kawasaki, A.D. MacCall, R.H. Parrish, R.A. Schwartzlose, y P.E. Smith, 1989. World-wide fluctuations of sardine and anchovy stocks: The regime problem. *S. Afr. J. Mar. Sci.,* 8: 195-205.

Lluch-Belda, D., D.B. Lluch-Cota, y S.E. Lluch-Cota, 2003a. Scales of interannual variability in the California Current System: associated physical mechanisms and likely ecological impacts. *Calcofi Rep.,* 44:76-85

Lluch-Belda, D., D.B. Lluch-Cota, & S.E. Lluch-Cota, 2003b. Baja California's biological transition zones: refuges for the California sardine. *Journal of Oceanography,* 59: 503-513.

Lluch-Belda, D., D.B. Lluch-Cota, y S.E. Lluch-Cota, 2005. Changes in marine faunal distributions and ENSO events in the California Current. *Fisheries Oceanography,* 14 (6): 458–467.

Lluch-Cota, D. B., D. Lluch-Belda, S. Lluch-Cota, J. López-Martínez, M. Nevárez-Martínez, G. Ponce-Díaz, C. Salinas-Zavala, A. Vega-Velázquez, J.R. Lara-Lara, G. Hamman, y J. Morales, 1999. Las pesquerías y El Niño. Los impactos de El Niño en México. V. O. Magaña R (ed.). México DF, UNAM-Secretaría de Gobernación: 137-178.

Lluch-Cota, D.B., W.S. Wooster, S.R. Hare, D. Lluch-Belda, y A. Parés-Sierra, 2003. Principal modes and related frequencies of sea surface temperature variability in the Pacific coast of North America. *Journal of Oceanography,* 59: 477-488

Radovich J., 1982. The collapse of the California sardine fishery. What have we learned?. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports,* 23: 56-77

Soutar, A., y J. Isaacs, 1969. History of fish populations inferred from fish scales in anaerobic sediments off California. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigation Reports,* 13: 63–70.

Zárate-Noble V.M., y L.R. Solana-Sansores, 2010. Efectos del cambio climático en las poblaciones de ostión (*Crassostrea virginica*) de las lagunas costeras del Golfo de México, p. 493-498. 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.

Efectos del cambio climático en las poblaciones de ostión (*Crassostrea virginica*) de las lagunas costeras del Golfo de México

Víctor M. Zárate-Noble y L. Rafael Solana-Sansores

Resumen

En el litoral del Golfo de México, la extracción del ostión es una actividad cuyo nivel de producción representa la primera pesquería más importante en el litoral y la sexta a nivel nacional. Además, representa una importante fuente de ingresos a las comunidades costeras de los estados litorales del Golfo de México. Sin embargo, en las últimas dos décadas esta pesquería ha mostrado importantes fluctuaciones en los niveles de producción, debido a aspectos de índole humana (sobreexplotación, contaminación y mal manejo de los bancos ostrícolas), pero también por problemas ambientales (perturbaciones climatológicas, azolvamientos de los cuerpos de agua y cambios ecológicos), por lo que es evidente que las poblaciones de ostión son altamente sensibles a variaciones medioambientales. Así, un cambio en el clima y sus efectos en las condiciones medioambientales de los cuerpos de aguas costeros afectarán sensiblemente a las poblaciones de ostión y de manera específica a la del ostión de placer (*Crassosstrea virginica*), especie de mayor interés en el Golfo de México. Entre los impactos del cambio climático en las lagunas costeras del Golfo de México destacan: la erosión de las playas; las inundaciones en el litoral adyacente; un incremento de avenidas de los ríos y tormentas; y el incremento de la salinidad de los estuarios y acuíferos. Estos cambios, de acuerdo con el Panel Internacional de Cambio Climático, serían altamente críticos en los ecosistemas por la modificación a los ciclos geoquímicos y a la dinámica ecológica, lo cual finalmente afectarían a las existencias de ostión. Reconociendo esto, es imperante tomar medidas para la conservación de la especie y la protección de la actividad pesquera y las comunidades del

litoral del Golfo de México. Estas incluirían: el acondicionamiento del ostión para que resista cambios en el medio ambiente; desarrollar programas de aseguramiento de la calidad ambiental en las lagunas costeras y su vigilancia; desarrollar paquetes tecnológicos al alcance de los productores de ostión, así como programas de asesoramiento; y por último, considerar la necesidad de transformar el sector ostrícola, promoviendo la capacitación y la diversificación de actividades.

Introducción

La extracción de ostión en México se remonta históricamente más allá de la época prehispánica debido a la facilidad de colecta que tiene este organismo. Sin embargo, como actividad económica dirigida y constituida se promovió en 1937 con el decreto de exclusividad para las sociedades cooperativas de pescadores, reiterando este hecho para sus formas de extracción, cultivo, aprovechamiento y protección al sector social en la entonces Ley de Pesca de 1992. De esta manera, la historia de la pesquería y su producción, la cual si bien no se ha modernizado en más de 70 años, en los últimos 40 años no ha mostrado ser particularmente estable.

En la figura 1, se muestra la producción de ostión nacional y del Golfo de México en los últimos 23 años en la cual se nota claramente la variabilidad de la producción con picos máximos como el del año 1988 que presentó un récord de 56 582 toneladas y valles como los mostrados en 1993, 1995, 1998 y 2005.

El ostión se mantiene como el sexto producto pesquero más conocido a nivel nacional (Ipsos México, 2008) y el más importante en volumen de pesca en el Golfo de México según las últimas estadísticas pesqueras (Anuario Pesquero, 2007), cabe hacer mención que la participación en volumen del ostión del Golfo de México en los últimos 23 años excede el 92% del anual nacional (figura 1). De acuerdo a las estadísticas del año 2007, se extrajeron en el país 50.2 mil toneladas de ostión proveniente de ambos litorales de los cuales el Golfo de México

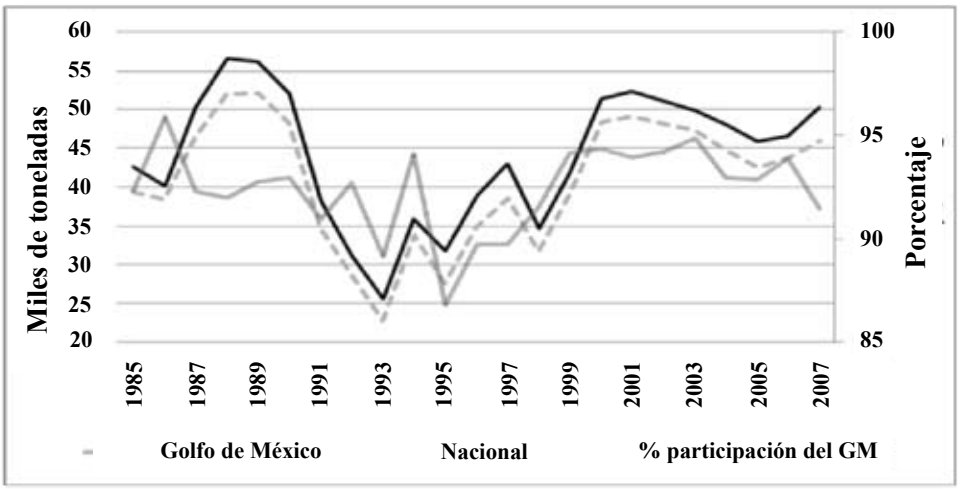

Figura 1. Volumen de captura nacional y regional de ostión (*Crassostrea virginica*) en el Golfo de México entre 1985 a 2007 (miles de toneladas) (Anuarios de Pesca 1986, 1996, 2006 y 2007).

aportó 45.9 mil toneladas y cuyo aporte se concentra en los estados de Veracruz y Tabasco. Esta extracción concentrada ha sido muy variable e incluso con tendencias que se invierten en las diferentes zonas de producción. Es decir, el máximo histórico para Veracruz fue registrado en 1988 con una producción de ostión de 40.5 mil toneladas, mientras que para Tabasco ha sido en el año 2000 con 24.8, sin olvidar que la participación de los cultivos aportaría aproximadamente entre un 60 y 70% más a las producciones anuales mencionadas como extractivas.

Al hablar de una tendencia a la baja de la producción pesquera y acuícola de ostión, significa confrontar los aspectos de una sobreexplotación, debido a una intensificación del esfuerzo pesquero en las lagunas costeras al grado de extraer organismos de tallas juveniles y agotamiento de los bancos silvestres (Palacios-Fest y Vargas-Rangel, 2002), problemas de azolvamiento, contaminación de los sistemas lagunarios, perturbaciones climatológicas, cambios ecológicos y problemas sanitarios que en algunos casos han ocasionado el colapso de los bancos ostrícolas (Lango-Reynoso, 2002). Es decir, todos estos elementos ambientales y antropogénicos impactan y son capaces de comprometer la resiliencia de las poblaciones silvestres y cultivadas si se toma en cuenta que su distribución en el Golfo de México se presenta en las lagunas costeras de norte a sur. Desde la Laguna Madre hasta la laguna San Andrés en Tamaulipas, de la Costa y Pueblo Viejo hasta el sistema lagunar de Alvarado en Veracruz, del sistema lagunar Carmen-Pajonal-Machona hasta Mecoacán en Tabasco, y de Términos hasta Sabancuy, en Campeche.

Efectos del cambio climático en las lagunas costeras del Golfo de México y en las poblaciones de ostión

De acuerdo al Panel Intergubernamental de Cambio Climático, desde 1998 se estimaron cuatro grandes impactos en el Golfo de México debido a la elevación del nivel medio del mar. Estos son los siguientes:

Erosión de las playas, aspecto que pone de manifiesto la vulnerabilidad de las bocabarras y sistema natural de intercambio de agua en la lagunas costeras, tomando en cuenta además el efecto de incremento de las mareas en tiempo de tormenta que tendrán un mayor grado de erosión y modificación del perfil litoral.

Inundaciones, que considera la intrusión a zonas de hasta 50 cm por arriba del actual nivel del mar; es decir, las planicies naturales de inundación y zonas bajas se verán afectadas, algunas de manera intermitente y, otras, de manera permanente al modificar las condiciones de salinidad prevalecientes.

Incremento de daños por inundaciones y tormentas. Efecto derivado del anterior punto, que junto con el efecto de oleaje de tormentas y mareas vivas afectarán zonas hasta 1 m por arriba del nivel medio del mar actual de manera intermitente, las cuales seran afectadas al menos cada 100 años, además de sumarse al efecto de transporte litoral que hará más severo el flujo y reflujo de la lagunas costeras provocando un efecto de inundación sinérgico.

Incremento de la salinidad de los estuarios y acuíferos. Esto provocará una intrusión salina a las fuentes de agua dulce subterránea, lo cual pondrá en riesgo el abasto para el consumo humano, el mantenimiento de la producción de alimentos, la industria y los ecosistemas, aspecto comparable con el de las sequías.

De manera coincidente de las 18 regiones marinas prioritarias que se identifican en el Golfo de México (Conabio), ocho de estas cuentan con las condiciones ambientales para albergar poblaciones importantes de ostión, de estas mismas, se han considerado vulnerables al efecto de la elevación del nivel medio del mar cuatro regiones: 1) La Pesca-Rancho Nuevo en Tamaulipas; 2) Pueblo Viejo-Tamiahua y 3) Sistema Lagunar de Alvarado; en Veracruz, y 4) Los Pantanos de Centla-Laguna de Términos, en Tabasco y Campeche respectivamente. Estos sistemas son los que actualmente mantienen la mayor producción de ostión en el Golfo México.

De acuerdo a lo descrito por el Panel de Cambio Climático se podrían considerar los efectos en estas áreas y zonas circundantes como altamente críticos sobre los ecosistemas, por la modificación a los ciclos geoquímicos, al efecto sobre los procesos físicos y dinámica ecológica. Esta transformación secuencial de ambientes estuarinos a ambientes marinos asumirá un efecto negativo en la permanencia natural de los bancos silvestres de ostión, debido a la incapacidad natural del ostión para soportar cambios severos de temperatura y salinidad.

Los problemas de control de los bancos ostrícolas desde el punto de vista pesquero y acuícola son factibles de abordar con estrategias locales de conservación y buenas prácticas de manejo. Sin embargo, existen aspectos que son mucho más complejos y peligrosos para la salud humana como la contaminación por plaguicidas y por microorganismos patógenos que se hacen patentes en los organismos filtradores como el ostión, por sus características de bioacumulación. Los escurrimientos del continente hacia el mar que se suceden estacional y espacialmente hacia las lagunas costeras ponen de manifiesto el carácter de las lagunas costeras como receptáculo y filtro de esta contaminación por metales pesados, microorganismos y plaguicidas, aspecto que se acrecentará con los fenómenos severos de lluvia y depresiones tropicales (tormentas y huracanes).

Al estimar que la extracción de ostión en el Golfo de México beneficia a una población de pescadores mayor a ocho mil, organizados en 64 sociedades cooperativas de producción pesquera que obtienen una derrama económica estimada en poco más de 100 millones de pesos anuales, es posible dimensionar el impacto económico como el fenómenos social que de éste se podrá desprender. Aunado a lo anterior, es necesario considerar que actualmente parte de las familias de los pescadores se involucran en el desconchado (sobre todo mujeres) y en las prácticas de siembra de *concha verde* (conchas con ostiones juveniles fijados) lo cual hará más extenso el impacto sociocultural.

Desarrollo de estrategias en México para mitigar el efecto del cambio climático en la pesca de ostión del Golfo de México

Las modificaciones y efectos que sufrirán los ecosistemas costeros en el Golfo de México es algo que evidentemente no se podrá contrarrestar, ni mucho menos detener. Por ello, todas las estrategias que se aboquen a mitigar el efecto en la pesca de ostión deberán estar dirigidas a la manipulación del recurso. Por mencionar algunas:

1) Se deberá considerar que dadas las condiciones de cambio en los ecosistemas, será inevitable pensar en la necesidad de un acondicionamiento del ostión para que sea más resistente a las condiciones adversas del medio, así como la producción de semilla neoacondicionada para la repoblación.
2) Analizando las condiciones de contaminación en las lagunas costeras y escorrentías, así como las dificultades para ejercer una vigilancia al respecto y asegurar la calidad de las aguas, se deberá considerar promover la migración de las actuales prácticas de extracción al semicultivo y cultivo ostrícola, de tal manera que quienes dependen de esta actividad puedan mantener su sustento e incluso incrementarlo con un mejor producto (inocuo y trazable).
3) Para poder migrar de una práctica extractiva a una controlada de cultivo, será necesario poner a disposición de las sociedades cooperativas pesqueras paquetes tecnológicos, programas de asesoramiento permanente (extensionismo acuícola), planes crediticios, asesoría legal y administrativa, que fortalezcan la organización y funcionamiento interno de las cooperativas.
4) Además de considerar la transformación del sector, es importante que éste sea reforzado con opciones múltiples de capacitación y diversificación de actividades. Es decir, la opción de invertir en otras actividades alternas a la acuícola o semiacuícola como pueden ser la ecoturística (transportación, alimentos, pesca deportiva, observación de la naturaleza, deportes extremos y alojamiento) o la producción alimentaria alterna (agricultura orgánica, hidroponia, composteo y granjas orgánicas), entre otros.
5) Es importante que el sector productivo pesquero asuma la inherente responsabilidad social que tiene de proporcionar alimentos inocuos, por lo que se requiere una fuerte concientización del sector para identificar los cambios que se darán en el medio ambiente y en sus propias comunidades, además de proporcionarles una base conceptual del cambio climático aplicable a su realidad.

Literatura citada

Ipsos México, 2008. Estudio Cuantitativo de Usos y Hábitos: Consumo de pescados y mariscos en México. Eds. Ipsos Marketing y Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. 96 p.

Lango Reynoso, F., 2002. Programa Regional de Ostión. p. 39-50. En: R. Solana Sansores, R. y C. Quiroga Brahms (eds.). Memorias del primer foro regional sobre ostión de Tamaulipas, Veracruz y Tabasco, 25 y 26 de abril del 2002, Tuxpan, Ver. México.

Palacios-Fest, M., y R. Vargas-Rangel. 2002. Pesquería de Ostión. p. 235-241. En: A.P. Guzmán, C. Quiroga, B., C. Díaz, L., D. Fuentes, C, C. M. Contreras y G. Silva-López (eds.) La pesca en Veracruz y sus perspectivas de desarrollo. Instituto Nacional de la Pesca, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y Universidad Veracruzana. Xalapa.

Rodríguez-Hernández A.A., S. Hernández Gonzáles, y R.J. Solana-Sansores, 2010. Efectos del cambio climático en las poblaciones de la ballena gris (*Eschrichtius robustus*), p. 499-504. 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.

Efectos del cambio climático en las poblaciones de la ballena gris (*Eschrichtius robustus*)

A. Anahí Rodríguez-Hernández, Salome Hernández Gonzáles y L. Rafael Solana-Sansores

Resumen

La ballena gris (*Eschrichtius robustus*) es quizá la ballena más conocida del Pacifico Oriental. Esta especie cuenta con la atención de científicos y la sociedad civil, debido principalmente a que es fácil admirarla en sus travesías desde las áreas de alimentación en las islas Aleutianas y Alaska, hasta las lagunas costeras de la península de Baja California donde se reproduce. Las migraciones estacionales que realiza la población oriental seguramente están orientadas por señales ambientales, tanto físicas y químicas, como por la propia naturaleza del ciclo de vida de estos cetáceos. Por ejemplo, se ha observado que el desplazamiento de los individuos de esta especie puede estar afectado por el ruido en el ecosistema, por la presencia de objetos flotantes (tránsito de embarcaciones), la presencia de basura en el mar, los desechos tóxicos vertidos desde las embarcaciones o desde las costas, e incluso por cambios importantes de la temperatura del mar. Estos elementos externos tienen un efecto significativo en los gastos energéticos que deberá realizar cada individuo de la población para alcanzar su meta. Bajo esta perspectiva, el cambio climático, con el subsecuente efecto en la elevación de la temperatura de la superficie del mar y los posibles cambios en los regímenes de lluvias y en los escurrimientos de agua desde el continente, podrán tener un efecto importante en el comportamiento migratorio de la ballena gris en el Pacífico Oriental.

Introducción

De la gran diversidad de mamíferos marinos en las aguas mexicanas, la ballena gris (*Eschrichtius robustus*) es una de las especies que presenta características biológicas particulares que la hacen de gran interés para los investigadores y la sociedad en general. Esta especie es considerada, en comparación con otros cetáceos, la ballena más primitiva que existe y es el único representante vivo de la familia Eschrichtiidae. Posee hábitos costeros y migratorios bien definidos que hacen que sea muy accesible para la sociedad mexicana, especialmente del noroeste de México, la cual tiene la oportunidad de admirarla en su travesía desde sus áreas de alimentación en las islas Aleutianas y Alaska, hasta las lagunas costeras de la península de Baja California, para su reproducción y crianza.

En la actualidad el rango de distribución de la especie de ballena gris (*E. robustus*) se limita a dos regiones en el Océano Pacífico Norte. La población occidental o "coreana" de probablemente solo unos cientos de individuos, se localiza en la región oeste del Pacífico, entre el mar de Ojotsk y Corea meridional. La otra población, conocida como oriental o "californiana", se distribuye al este del Pacífico Norte, en el Mar de Bering, el Mar de Chukchi y el oeste del Mar de Beaufort, en su zona de alimentación y en la península de Baja California, en su área de reproducción. Se estima que esta población esta integrada por más de 26 000 individuos. En tiempos pasados existió una tercera población de ballena gris localizada en el océano Atlántico Norte, pero debido a la caza indiscriminada de la especie fue llevada a la extinción entre el siglo XVII y el siglo XVIII.

La migración anual de la especie es sin duda un aspecto importante y característico en la ballena gris, ya que esta especie realiza una de las migraciones más largas y probablemente, de mayor gasto de energía para los individuos, recorriendo más de 18 000 km desde sus zonas de alimentación hasta la zona de reproducción y crianza y de regreso. Su patrón general de migración es similar al de la mayoría de las ballenas, esto es: áreas reproductivas de invierno en latitudes bajas, en aguas cálidas y áreas de alimentación de verano en latitudes altas, en aguas más frías. Este comportamiento migratorio es seguramente una adaptación evolutiva, que le permite asegurar una mayor sobrevivencia de las crías en condiciones de climas tropicales y además asegurar su alimento en estado adulto en aguas con abundancia de su principal alimento, el denominado "*krill*" que es abundante en los fondos del Pacífico Norte, frente a las costas de Alaska e islas Aleutianas.

Es importante mencionar, contrariamente a lo mencionado arriba, como en toda migración el recorrido completo no es realizado por el total de la población de ballena gris. Esto es debido a que por ser la reproducción el principal motivo de la migración, no todos los individuos son sexualmente maduros. De este modo, durante cada invierno la población de ballena gris suele encontrarse dispersa a lo largo de la costa occidental de América, desde la mitad sur del estado de California, Estados Unidos hasta la península de Baja California, México y en número variable dependiendo de las condiciones climáticas. Incluso, puede alcanzar latitudes tales que en algunos años puede también observarse dentro del Golfo de California. En la figura 1, se presenta la trayectoria general que sigue la población de ballena gris.

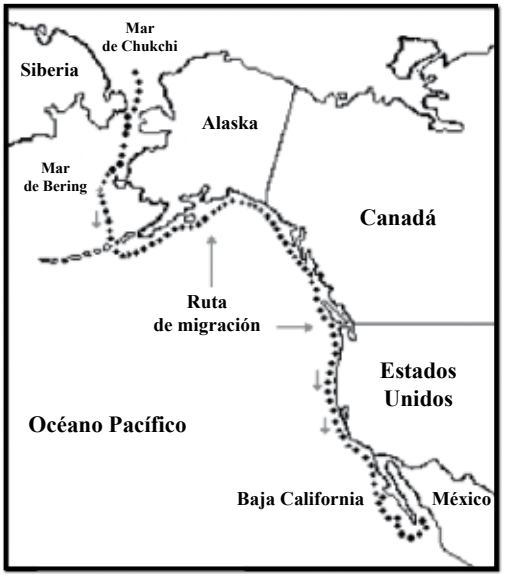

Figura 1. Esquema de la ruta de migración que sigue la ballena gris (*E. robustus*) desde las áreas de alimentación, en el Mar de Bering hasta las lagunas costeras de la península de Baja California (área de reproducción).

Las migraciones que realiza la población de ballena gris año con año seguramente estan orientadas por señales ambientales, tanto de orden físico y químico, como por la propia naturaleza del ciclo de vida de estos cetáceos. Por ejemplo, se ha observado que el desplazamiento de los individuos de esta especie puede afectarse por ruido intenso en el ecosistema, por la presencia de objetos flotantes (tránsito de embarcaciones), la presencia de basura en el mar, los deshechos tóxicos vertidos desde las embarcaciones o desde las costas, e incluso por cambios importantes de la temperatura del mar. Estos elementos externos pueden tener un efecto significativo en los gastos energéticos que deberá realizar cada individuo de la población para alcanzar su meta. Por ejemplo, los ruidos que rebasan un valor de 185 dB re 1 μPa a $1m^2$, afectarán sensiblemente la comunicación entre ballenas, la detección de obstáculos y la trayectoria a un individuo de ballena gris. Asimismo, niveles altos de mercurio Hg, pueden acumularse en la capa de grasa de las ballenas dañando seriamente el hígado, riñón y músculo.

Efectos del cambio climatico en la población de ballena gris (*Eschrichtius robustus*)

Los efectos del cambio climático en la población de ballena gris (*E. robustus*) y sus efectos en México, pueden ser, entre otros, los siguientes:

Efectos en los individuos de ballena gris y la disponibilidad de alimento. Debido al posible cambio en la circulación marina por efecto del cambio climático, la disponibi-

lidad de alimento para la ballena gris podría verse afectada. Al sufrir un incremento de temperatura en la superficie de los océanos, los procesos metabólicos de las poblaciones de fitoplancton, base de la cadena alimenticia cambiarán. A su vez, repercutirá en los consumidores primarios, como el "krill" que modificará sus patrones de distribución y abundancia. Dado que estos crustáceos constituyen la principal fuente del alimento de la ballena gris, la adaptación de los individuos a este nuevo esquema de distribución de su alimento incrementará su gasto energético en su búsqueda. Por ejemplo, en años recientes se ha observado un adelgazamiento en el cuerpo de algunos ejemplares de la ballena gris de la población oriental. Las señales de su "*adelgazamiento son bastante claras, ya que se han fotografiado ballenas con lomos flácidos, costillas muy marcadas y con partes de la cola muy cóncavas; estos, sin lugar a dudas, son signos de debilidad de los individuos*" (Swartz, 2007[1]). La falta de alimento y la debilidad causada en la ballena gris influirá en una dificultad manifiesta de los individuos para alcanzar a nadar las distancias desde sus zonas de alimentación a las lagunas costeras de la península de Baja California en donde se reproduce habitualmente.

Efectos en la población de la ballena gris. Como consecuencia de los cambios en la temperatura de las aguas superficiales y costeras, la población de ballena gris podría cambiar gradualmente sus rutas de migración, así como sus lugares de alimentación y sus sitios de reproducción. Debido al efecto del cambio climático, las corrientes cálidas del Ecuador tenderán a presentar límites cada vez más norteños. A su vez, las corrientes que viajan de norte a sur, como la Corriente de California, que se mezclan con aportes de aguas frías de Alaska tendrán límites más al norte de los que se observan actualmente. Las ballenas gris que actualmente llegan a las costas mexicanas para su reproducción y crianza, podrán encontrar sitios de reproducción en regiones más al norte de las latitudes de México. Es decir, si se considera que la migración de la ballena gris es una adaptación evolutiva de búsqueda y encuentro de sitios adecuados para su reproducción y crianza, es posible pensar que, con menor gasto energético, podrá encontrar sitios semejantes en latitudes altas a los actualmente utilizados para esos fines. De igual manera, se pudiera presentar que esta población de ballenas ya no llegue a los lugares habituales de alimentación, al modificarse los patrones de distribución de su alimento. El efecto del cambio climático para la población de la ballena gris, desde esta perspectiva es un estrechamiento en su patrón espacial de distribución en el Pacífico americano.

Efectos en el sector turístico en México. La ballena gris es un recurso turístico de gran trascendencia para México y en especial para los estados de la península de Baja California. Se estima que en la región se tiene una la derrama económica cercana a los 10 millones de dólares anuales, con una capacidad incluso de incrementar al doble esta captación de divisas por actividades turísticas de observación de ballenas. Además, se

[1]http://www.vanguardia.com.mx/diario/noticia/masnoticias/internacional/provoca_calentamiento_global_adelgazamiento_de_ballenas_grises/11393.

considera que la actividad ecoturística ligada a la observación de ballena gris, durante los primeros tres o cuatro meses del año, contribuye al desarrollo regional, beneficiando directamente a comunidades asentadas alrededor de las lagunas costeras de: Guerrero Negro, San Ignacio, puerto Adolfo López Mateos y el puerto San Carlos, en la península de Baja California. Si la distribución y los sitios de reproducción de la población oriental de ballena gris cambia por efecto del cambio climático, la economía de las comunidades costeras en la región noroccidental de México podrán ser fuertemente afectadas, reflejándose en un estancamiento del desarrollo regional.

Estrategias en México para mitigar el efecto del cambio climatico

México deberá reaccionar ante el cambio climático para mitigar los efectos que producirá en las actividades turísticas que giran alrededor del recurso ballena gris (*E. robustus*). En primera instancia, deberá reforzar los trabajos de investigación acerca de la fisiología, comportamiento y modelación matemática de los efectos del cambio global sobre los individuos de esta especie y de los patrones de distribución espacial. Asimismo, deberá ser un promotor de normas voluntarias que regulen el aprovechamiento racional de la ballena gris y su ecosistema marino, como sería el desarrollar y adoptar manuales de buenas prácticas en torno a la conservación de esta especie y en general de los mamíferos marinos. Esto permitirá mostrar al mundo que la industria turística mexicana en torno a la ballena gris, y el uso del ecosistema marino, es una industria con sustentabilidad ambiental. Además, en foros internacionales, deberá ser promotor de tratados internacionales para una regulación de la industria turística conjunta en la región del Pacífico americano, principalmente con Estados Unidos y Canadá. De esta forma, podrá crear paquetes turísticos atractivos para la visita en todos los sitios declarados como santuarios para la reproducción y crianza de ballena gris, incluso en tiempos donde se observé un acentuado efecto del cambio climático.

Lluch Cota D. B., y S. Lluch Cota, 2010. Efectos ambientales sobre la pesquería del abulon en la península de Baja California. p. 505-518. 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.

Efectos ambientales sobre la pesquería del abulon en la península de Baja California

Daniel B. Lluch Cota y Salvador E. Lluch-Cota

Resumen

La pesquería del abulón es la principal actividad económica de muchas comunidades de la costa occidental de la península de Baja California, gracias a la fuerte demanda y elevado valor comercial que el producto alcanza en los mercados internacionales. Pesa a los esfuerzos realizados para su correcto manejo, la captura declinó drásticamente a partir de principios de los setenta, sin que hasta la fecha se hayan recuperado los niveles observados con anterioridad a este colapso. El presente trabajo analiza dichos cambios en relación con la variabilidad ambiental, y sobre esta base, intenta una evaluación preliminar sobre la vulnerabilidad de la pesquería de abulón ante el calentamiento global. A partir de este caso, se argumenta que el conocimiento actual aún no permite anticipar los efectos de calentamiento global en los ecosistemas marinos regionales, particularmente porque los escenarios globales potenciales, más desarrollados para el ambiente terrestre, resultan inciertos y hasta contradictorios respecto del clima marino. En consecuencia, es necesario trabajar en la implementación de modelos con la resolución espacial y temporal que permita analizar a escala regional las variables, estructuras y procesos oceánicos más significativos desde el punto de vista ecológico.

Introducción

La pesquería del abulón es la principal actividad económica de muchas comunidades de la costa occidental de la península de Baja California, gracias a la fuerte demanda y elevado valor comercial que el producto alcanza en los mercados internacionales. Los abulones son moluscos gasterópodos del género *Haliotis*, el cual abarca diferentes especies que sostienen pesquerías relevantes en Australia, Sudamérica y Norteamérica. Todas las especies son herbívoros estrictos, alimentándose de macroalgas como *Macrocystis, Sargassum, Eisenia, Gelidium* y otros, y del pasto marino *Phyllospadix torreyi* (León y Muciño, 1996; Serviere-Zaragoza *et al.,* 1998). Para su estrategia de defensa necesitan de un sustrato rocoso, al que se sujetan gracias a su píe (epipodium) musculoso y fuerte, protegiendo así su cuerpo blando con la concha.

Para la región noroeste de México existen cinco especies de abulones: *H. fulgens, H. corrugata, H. cracherodii, H. rufescens* y *H. sorenseni* (Guzmán del Próo, 1992). No obstante, la producción pesquera está basada en las dos especies más importantes, el abulón amarillo (*H. corrugata*) y el abulón azul (*H. fulgens*).

Los orígenes de su explotación en México se remontan a mediados del siglo XIX, con las primeras operaciones de pesca realizadas por extranjeros (Cox, 1962; León y Muciño, 1996); primero, hacia 1860, por parte de pescadores chinos que empezaron la pesca en la zona intermareal, y a partir de 1900 por parte de pescadores japoneses que ya usaban un sistema de buceo básico (Guzmán del Próo, 1992). A partir de 1940 la pesquería es desarrollada por nacionales, que fundaron pueblos y campos pesqueros a lo largo de la costa occidental y crearon las primeras cooperativas pesqueras (figura 1). Desde entonces, y hasta la fecha, la actividad económica de los asentamientos humanos en la zona continúa dependiendo fuertemente de la explotación del recurso.

Los más o menos 30 asentamientos de la zona centro dependen casi únicamente de la pesquería de abulón y langosta, y tienen en total casi 10 000 habitantes. En los años 1990 y hasta 1997 la población creció casi 40%, y con esto el número de personas que dependen de los recursos pesqueros (Ramade-Villanueva *et al.,* 1998). La mayoría de la gente está concentrada en donde se encuentran las cooperativas: Isla de Cedros, Isla Natividad, Bahía Tortugas, Bahía Asunción, La Bocana y Punta Abreojos. Además existen al menos siete campos pesqueros temporales durante las temporadas de pesca (Ponce-Díaz *et al.,* 1998).

A diferencia de lo que suele ocurrir en otras explotaciones pesqueras, desde las fases iniciales del desarrollo de la pesquería se implantaron medidas para su manejo. Así, desde 1926 se establecieron tallas mínimas de captura, basadas en las existentes en este tiempo en California, Estados Unidos (Guzmán del Próo, 1992). Desde el año 1956 había una veda (de enero a marzo), que en 1972 se ajustó al periodo julio-agosto en función de los nuevos conocimientos sobre el desove en la zona. En 1956 también entró en vigor la nueva regulación de las tallas mínimas de la extracción, que se subieron nuevamente en 1981. A la fecha, han existido diferentes intentos de mejorar la situación del recurso a través de nuevas regulaciones (León y Muciño, 1996).

Pese a estos esfuerzos, la captura declinó drásticamente a partir de principios de los setenta (figura 2), sin que hasta la fecha se hayan recuperado los niveles observados con anterioridad a

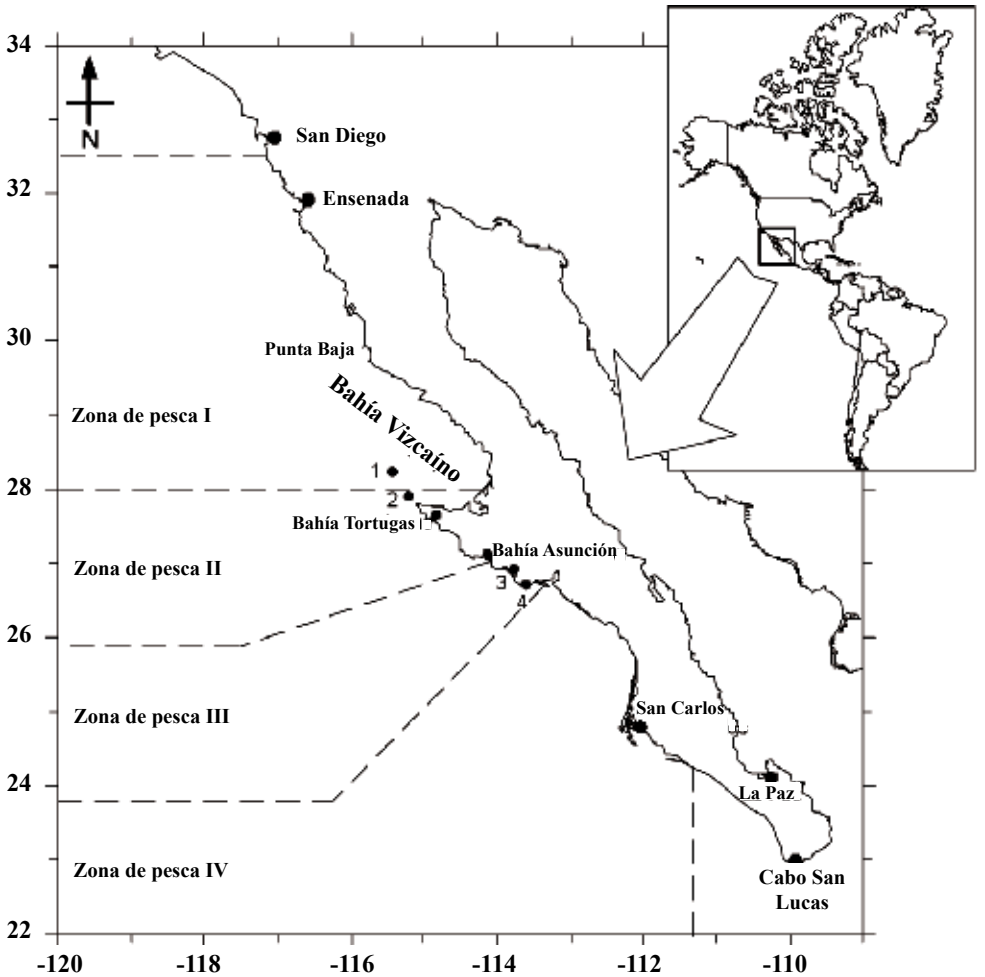

Figura 1. Zonas de pesca de abulón y ubicación de las nueve cooperativas de la zona centro: 1 Isla Cedros; 2 Isla Natividad; 3 San Hipólito; 4 Punta Abreojos. La localidad de Bahía Tortugas tiene tres cooperativas, mientras que en Bahía Asunción existen otras dos. Tomado de Keyl (2004).

este colapso. Cabe señalar que las tendencias en las capturas de las dos especies principales revelan diferentes comportamientos (figura 3). En los años de mayor producción, la especie más importante para la pesquería de la Baja California era *H. corrugata*, y a partir de 1980 ha sido *H. fulgens* que, hasta finales de los ochenta, mantuvo más o menos el mismo nivel de capturas. Este stock cayó a partir de 1990, y no como el abulón amarillo que había caído desde 1969. En conjunto, las bajas abundancias de ambas especies resultaron en que en el año 2000 las capturas totales en todas las zonas fueran menores de 200 toneladas, unas 30 veces inferiores al máximo histórico observado en 1951 (INP, 2000).

Este colapso ha sido motivo de preocupación, más aún si se considera la tendencia al crecimiento poblacional de las comunidades que explotan el recurso. Si bien históricamente la

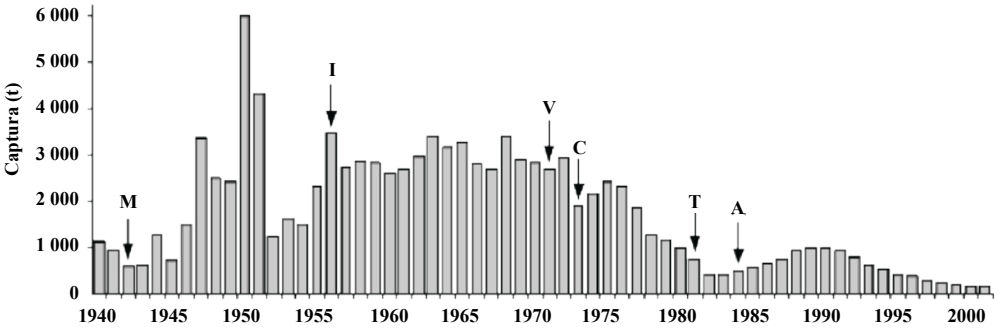

Figura 2. Capturas históricas y medidas de manejo. M: explotación del recurso exclusiva por mexicanos; I: veda de enero a marzo; V: cambio de la veda del invierno al verano; C: introducción de las cuotas máximas por cooperativas (TACC); T: vedas prolongadas y disminución de las tallas mínimas; A: obligación de entregar los abulones en concha para controlar tallas mínimas. Tomado de Keyl (2004).

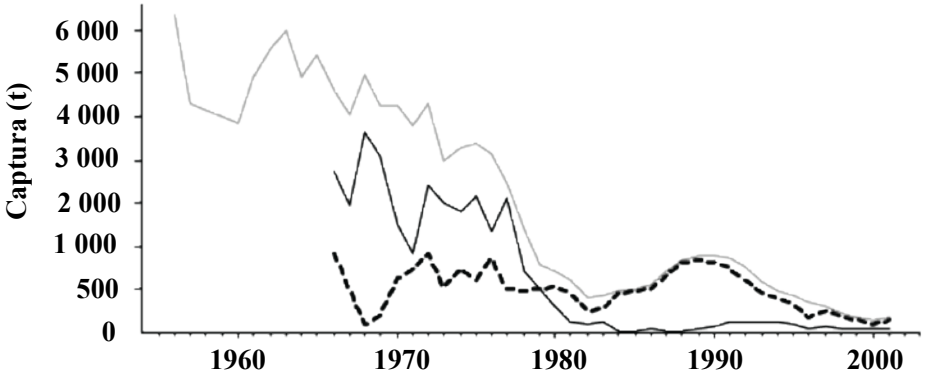

Figura 3. Capturas totales y de las dos especies de las cooperativas de la zona centro. Línea gris: capturas totales; línea negra: capturas de *H. corrugata*; línea discontinua: capturas de *H. fulgens*. Tomado de Keyl (2004).

disminución en las capturas había sido compensada por el incremento en los precios internacionales, la reciente contracción del mercado pone en evidencia que la situación actual del recurso no permite sostener los ingresos de las organizaciones en la medida en la que se requiere. Actualmente, la pesquería de abulón es objeto de un muy completo esquema de manejo que involucra estimaciones de abundancia anuales por banco, así como cuotas de captura derivadas de dichas estimaciones y de consideraciones explícitas sobre los efectos de la variabilidad ambiental. Como resultado de dicho manejo, así como de condiciones climáticas más favorables, la pesquería se encuentra una recuperación lenta pero sostenida a partir de su mínimo histórico.

Efectos ambientales en la pesquería de abulón

Diversas investigaciones han mostrado que el desarrollo de los recursos pesqueros no depende solamente de la mortalidad causada por la pesquería, sino también de la variabilidad del clima, los cuales son capaces de impactar la abundancia de los recursos tanto positiva como negativamente (Lluch-Cota y Ponce-Díaz, 2000; Guzmán del Próo *et al.,* 2003).

Las posibles relaciones entre los factores climáticos y los ecosistemas marinos aún no son bien conocidas; no obstante, parece claro que los mecanismos son complejos e involucran tanto cambios en la estructura poblacional como desestabilización de la red trófica resultantes de procesos fisiológicos individuales, de competencia espacial, de diferentes tasas de depredación y competencia por recursos, del aumento o la disminución de agentes de enfermedades, de cambios en la disponibilidad de alimento, de cambios en la distribución de las poblaciones y en la ubicación de los centros de distribución, de los sitios, condiciones y temporadas para el desove, maduración y crecimiento de larvas, juveniles y adultos. Todos estos factores no solamente son complejos en sí, sino que interactúan y dificultan la determinación exacta de las influencias sobre los ecosistemas y las especies (Lluch-Cota y Ponce-Díaz, 2000).

Mientras que se ha demostrado una conexión importante entre el clima y las biomasas o capturas comerciales de especies pelágicas, existen relativamente pocos ejemplos en especies bentónicas pese a que los efectos de los cambios climáticos en variables físicas relevantes desde el punto de vista ecológico están bien documentados. Uno de los primeros análisis en este sentido fue realizado por Lluch-Belda *et al.* (1997). Aplicando modelos poblacionales a las series de rendimiento de la pesquería, dichos autores encontraron diferencias notables en el crecimiento poblacional en función del régimen climático, y señalaron la necesidad de considerar dichos regímenes en la aplicación de los modelos con fines de manejo.

Respecto de estos cambios de régimen, Hare y Mantua (2000), mostraron cambios sincrónicos a escala decadal en más de 60 series de abundancia de poblaciones biológicas y en casi 40 series de tiempo de factores climáticos para el Pacífico de Norteamérica. Aplicando la técnica de componentes principales, los autores derivaron una serie indicadora de esta variación a la que denominaron Oscilación Decadal del Pacífico (PDO). La figura 4 muestra este indicador del PDO junto con las capturas totales de abulón, lo que permite apreciar el estrecho paralelismo entre la abundancia del recurso y la variabilidad ambiental en el ecosistema de la Corriente de California.

A fin de explorar estos paralelismos, Lluch-Cota y Ponce-Díaz (2000) aplicaron modelos de biomasa dinámica sustituidos en diferentes términos por funciones matemáticas lineales de la temperatura, documentando una fuerte dependencia del rendimiento del recurso respecto de la temperatura superficial del mar (figura 5).

Posteriormente, Keyl (2004) aplicó este enfoque al análisis de las tendencias de las capturas por especie, encontrando diferentes comportamientos con respecto a la influencia de la variabilidad climática inducida por la oscilación decadal del Pacífico (PDO) (figura 6). Los resultados mostraron que el rendimiento del stock del abulón amarillo (*H. corrugata*) depende fuertemente de las condiciones climáticas, mientras que el stock del abulón azul (*H. fulgens*)

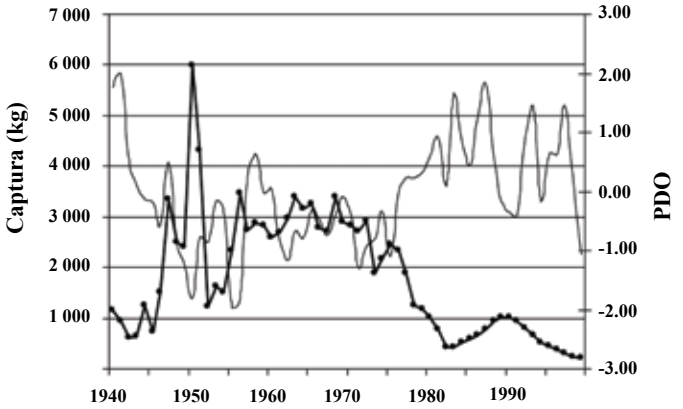

Figura 4. Serie de capturas totales de abulón (línea con puntos) y el índice de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO).

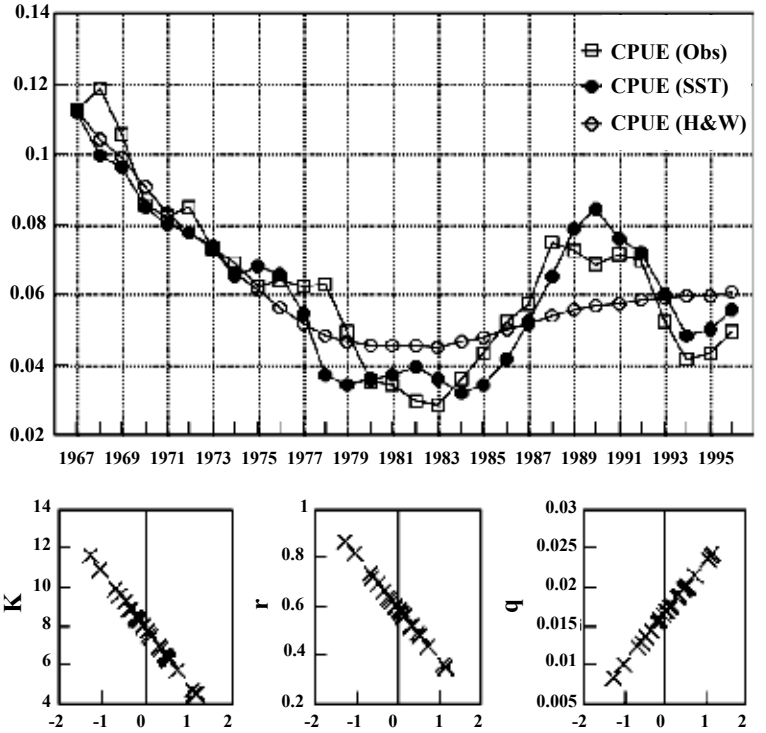

Figura 5. Rendimientos de la pesquería de abulón (captura por unidad de esfuerzo, CPUE), y su ajuste mediante el modelo de biomasa dinámica de Hilborn y Walters (1992). CPUE (Obs): rendimientos observados. CPUE (H&W): resultados del ajuste del modelo en su versión original. CPUE (SST): resultados del ajuste del modelo substituyendo los parámetros *K, r* y *q* por funciones lineales de la temperatura, mismas que se presentan en los paneles inferiores. Tomado de Lluch-Cota y Ponce-Díaz (2000).

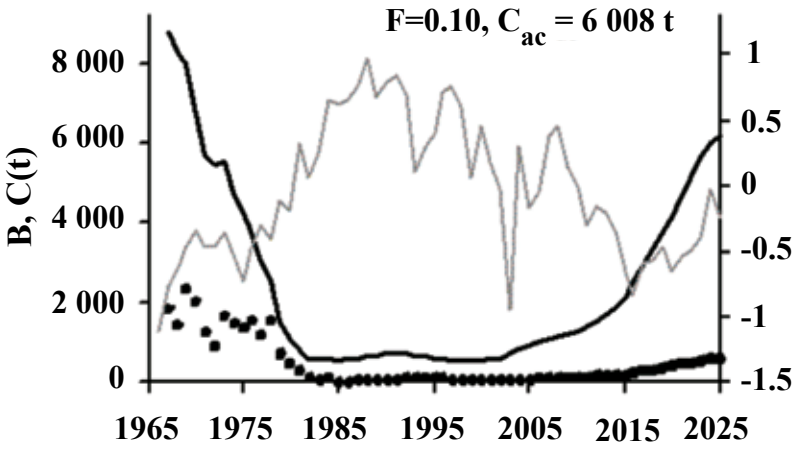

Figura 6. Pronósticos de capturas (toneladas, línea negra) y biomasa (individuos, puntos) para el abulón amarillo, considerando un manejo con cuota fija (C=6 008 ton) y mortalidad por pesca F = 0.10. La línea gris corresponde al pronóstico de la trayectoria del PDO derivado de análisis espectral (ver texto). Tomado de Keyl (2004).

no muestra dicha dependencia. Tras identificar que el abulón amarillo crece más durante los periodos decadales fríos, propuso que el efecto de la variabilidad climática es básicamente denso-independiente, e intentó un pronóstico empírico de este recurso sobre la base de la modelación espectral del índice del PDO. El modelo pronostica una tendencia sostenida al enfriamiento para las próximas décadas, que combinado con una estrategia de manejo conservadora conduciría a una progresiva recuperación del recurso.

Esta es justamente la situación que caracteriza actualmente a la pesquería, donde la aplicación de un manejo adecuado (INP, 2000) junto con condiciones climáticas predominantemente frías, sobre todo a partir del intenso evento La Niña de 1998, han conducido en los últimos años a una recuperación gradual de las poblaciones de abulón, particularmente del amarillo.

Posibles consecuencias por el calentamiento global

La mayor limitante para evaluar la vulnerabilidad de la pesquería de abulón ante el calentamiento global es que no existen, para los mares mexicanos, escenarios formales (*e.g.* derivados de la modelación) a escala regional. Esta carencia impone opciones menos adecuadas: extrapolar al medio marino los escenarios establecidos para el clima terrestre e, intuir los cambios regionales a partir de escenarios del clima marino referidos a escalas espaciales mayores.

Por ejemplo, un escenario del IPCC (Albritton *et al.*, 2001) anticipa un incremento global en el nivel medio del mar. Sus impactos ecológicos, entre los que se menciona la destrucción de hábitat costeros críticos para diversas especies (Costa *et al.,* 1994), dependerán de la velo-

cidad con la que el cambio ocurra. Para el Pacífico mexicano el ritmo de incremento global de 1-2 mm por año parecería menor, considerando la adaptación que exhiben dichos ecosistemas ante variaciones naturales mucho más amplias (por ejemplo en eventos como El Niño).

Los eventos asociados El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) son de especial relevancia para los ecosistemas marinos del Pacífico mexicano. En un inicio, se sugirió que un posible efecto del calentamiento global sería un incremento en la frecuencia e intensidad de eventos El Niño (Trenberth, 1999); no obstante, en la actualidad esta posible relación es materia de controversia. Por ejemplo, Gergis y Fowler (2008) documentaron, mediante un análisis de reconstrucción histórica de eventos El Niño y La Niña desde 1525 a la fecha, que el 43% de los eventos extremos, y el 28% de todos los eventos ENSO (El Niño y La Niña) identificados ocurren en el siglo XX. Más aún, el 30% de todos los eventos extremos del periodo de estudio entero ocurrieron de 1940 a la fecha. A partir de sus resultados, los autores sugieren que el ENSO puede estar operando de manera diferente entre las épocas preindustrial e industrial.

Recientemente, Trenberth *et al.* (2007) reportaron que posterior al cambio de régimen de mediados de los 1970, caracterizado por condiciones relativamente cálidas en el Pacífico ecuatorial y central, se ha presentado una tendencia a eventos El Niño más fuertes y largos que en el periodo de registros anterior. Esta tendencia sugiere, de nuevo, que la actividad del ENSO está relacionada al cambio climático.

No obstante, la comunidad científica dedicada a la modelación climática reconoce que no es posible inferir formalmente ninguna tendencia, dado que los diversos modelos que actualmente se utilizan no son capaces de simular la dinámica del ENSO (Latif y Keenlyside, 2008).

Para el caso de el abulón, los eventos El Niño se han asociado con bajos rendimientos, por lo que el posible aumento de su frecuencia e intensidad implicaría un escenario negativo para esta pesquería. Esta relación fue examinada por Lluch-Cota y Ponce-Díaz (2000) sobre la base de las desviaciones de los rendimientos de la pesquería de abulón ajustados al modelo de biomasa dinámica de Hilborn y Walters (1992); es decir, examinando la variabilidad en los rendimientos una vez descontado el efecto de la extracción. Estas desviaciones se presentan en la figura 7, junto con la serie de tiempo de las cosechas comerciales de *Macrocystis* (Casas-Valdez *et al.,* 2003), la macroalga más importante en las comunidades bentónicas en las que se desarrolla el recurso.

Es posible en efecto identificar bajos rendimientos asociados a tres de los cuatro eventos El Niño registrados durante el periodo examinado; más aún, la misma figura muestra las tendencias paralelas que existen entre los rendimientos del abulón y los volúmenes de *Macrocystis*. Pese a que la cosecha sólo puede ser considerada como un indicador muy grueso de los cambios reales en la abundancia del alga, ya que la explotación del recurso se realiza a bajos volúmenes que dependen más de la demanda internacional que de las existencias en el medio, el paralelismo entre los rendimientos de ambos recursos refuerza la idea de que un incremento en la frecuencia o la intensidad de los eventos El Niño, como consecuencia del calentamiento global, tendrá efectos negativos no sólo sobre el abulón, sino sobre las especies clave de la comunidad en la que éste se desarrolla, tal como ha sido documentado por diversos autores (Cox, 1962;

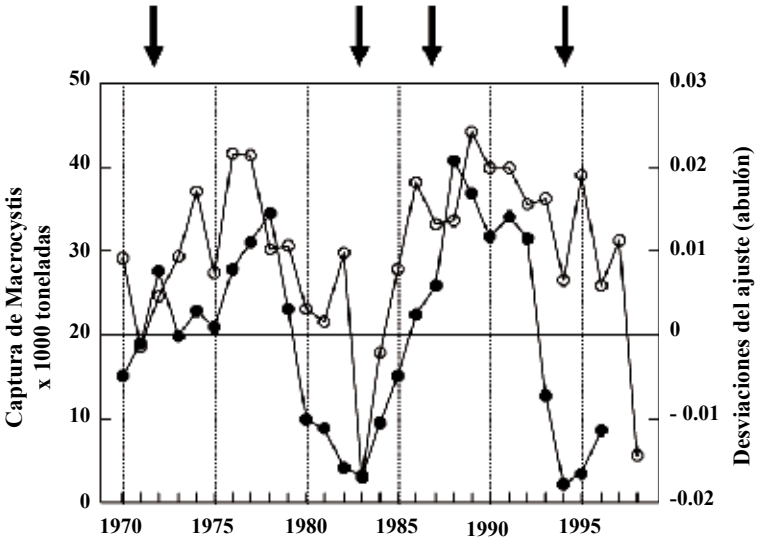

Figura 7. Desviaciones del modelo de biomasa dinámica de Hilborn y Walters (1992) para los rendimientos de las capturas totales de abulón (puntos negros), junto con las capturas de la macroalga *Macrocystis* (puntos vacíos). Las flechas en la parte superior indican los eventos El Niño registrados en el periodo (1972-73, 1982-83, 1986-87 y 1992-93). Tomado de Lluch-Cota y Ponce-Díaz (2000).

Johnson, 1971; Tegner, 1989; Tissot, 1990; Guzmán del Próo *et al.*, 1991; Guzmán del Próo, 1994; Vega *et al.*, 1994).

La certidumbre en torno de este escenario, aunque adverso, permitiría explorar alternativas de adaptación y mitigación. No obstante, no es el único escenario posible. Bakun (1990), por ejemplo, sugirió que el calentamiento global, al incrementar el gradiente térmico tierra-océano, resultaría en una intensificación de las surgencias costeras, lo que implicaría condiciones relativamente frías en el Sistema de la Corriente de California. Ambos escenarios, radicalmente diferentes, permiten apreciar la gran incertidumbre que existe respecto de los impactos más probables a nivel regional. Incluso si existiera certeza en cuanto al escenario, el hecho de que las respuestas biológicas en general son no lineales (*e.g.* Cury y Roy, 1989) impide la generalización y obliga al análisis caso por caso. Finalmente, debe considerarse que la señal del calentamiento global, cualquiera que sea, no es la única ni, al menos de momento, la más importante fuente de variabilidad regional. De hecho, las posibles tendencias del cambio global son muy poco evidentes en la generalidad de los registros oceánicos regionales, dominadas por el ENSO y por fluctuaciones decadales e interdecadales naturales de mayor amplitud. Su interacción con las tendencias derivadas del calentamiento global será determinante respecto de los impactos en la generalidad de los recursos pesqueros, especialmente los masivos y los bentónicos de alto valor como el abulón.

Consideraciones finales

Parece claro que el conocimiento actual todavía no permite anticipar los efectos de calentamiento global en los ecosistemas marinos: los escenarios globales potenciales, más desarrollados para el ambiente terrestre, resultan aún inciertos y hasta contradictorios. Es mucho lo que deberá avanzarse en los próximos años en la implementación de modelos con la resolución espacial y temporal que permita analizar a escala regional las variables, estructuras y procesos oceánicos más significativos desde el punto de vista ecológico. Es crítico además que dichos esfuerzos incorporen la variabilidad natural: dada su magnitud, ninguno de los escenarios que se deriven de dichos modelos sería de utilidad práctica en ausencia de dicha consideración.

Al mismo tiempo, es necesario desarrollar un conocimiento mínimo suficiente sobre los efectos ecológicos de la variabilidad ambiental, tanto la natural como la asociada al calentamiento global. Hasta el momento dichos efectos han sido apenas abordados para unas pocas especies, y partiendo de un enfoque autoecológico que suele ignorar la complejidad de la estructura, función y adaptabilidad de los ecosistemas marinos. Finalmente, la modelación pesquera (la que con fines de manejo intenta predecir las tendencias de las poblaciones explotadas) deberá empezar a considerar al ecosistema como objeto de estudio y a incorporar los efectos ambientales, lo que implica alejarse de sus enfoques más tradicionales.

Es urgente avanzar en estas direcciones a fin de evaluar la vulnerabilidad no sólo de la pesquería de abulón, sino del sector pesquero en general. Dentro de la incertidumbre derivada de la falta de conocimientos suficientes, algo es seguro con o sin calentamiento global, la actividad pesquera seguirá coexistiendo con una variabilidad climática cuyos efectos son mucho más dramáticos de lo que la experiencia en el medio terrestre permite intuir.

En términos de adaptación, el sector pesquero nacional cuenta con un margen de maniobra: un potencial de recursos aún no explotados, un desarrollo acuícola todavía incipiente, y un amplio margen para incrementar el valor de la producción y acceder a mejores mercados mediante el procesamiento y la certificación de sus productos (Lluch-Cota y Hernandez-Vazquez, 2006). No obstante, el aprovechamiento de este margen está limitado por una percepción de riesgo elevado, derivado en buena medida de los efectos de la variabilidad climática, que entre otras cosas dificulta el crédito y desalienta la inversión en el sector. Este es quizá el aspecto que más puede agravarse por el calentamiento global, más allá de sus efectos reales, por la mera percepción de un riesgo aún mayor.

¿Cómo reducir el riesgo? Antes que nada, mediante el desarrollo de la investigación orientada hacia líneas como las mencionadas en párrafos anteriores. La infraestructura y los recursos humanos necesarios, aunque claramente insuficientes, existen ya en cierta medida. Una condición indispensable para aprovecharlos es la implementación de esquemas de monitoreo; sistemáticos, autónomos, permanentes y preferentemente compatibles con esquemas globales como el Global Ocean Observing System (GOOS). Dichos esquemas, hoy prácticamente inexistentes, deberán alimentar bases de datos en tiempo real y de libre acceso sobre las principales variables físicas y biológicas de los mares mexicanos.

Contar con esta información básica facilitará abandonar el manejo tradicional de los recursos pesqueros, cada vez más cuestionado a nivel mundial (Botsford *et al*., 1997), y avanzar hacia un esquema de manejo más adaptativo y por tanto más capaz de reaccionar con rapidez ante los cambios. Ello implica modificar muchos aspectos del manejo, no sólo los meramente técnicos (*e.g.* modelos pesqueros) sino también los administrativos y hasta los legales. Por ejemplo, es casi imposible que una medida regulatoria cualquiera pueda adecuarse rápidamente mientras dicha gestión sea conducida por una instancia centralizada, e implique además un complicado proceso en el seno del Poder Legislativo Federal.

Finalmente, el desarrollo de un manejo adaptativo de los recursos pesqueros deberá pasar por la delegación de esta facultad a las regiones en las que los recursos se explotan. El manejo regional no sólo tiene una visión más cercana de los problemas inmediatos, es además el que más fácilmente puede implementar esquemas participativos que involucren no sólo a la autoridad sino también a los usuarios y al sector académico directamente involucrado en la problemática. La presente no es la primera vez en la que esto se plantea a la luz de la alta variabilidad de los recursos pesqueros y de la fuerte incertidumbre que rodea a su explotación. En todo caso la ocasión es oportuna: las acciones que permitan al sector pesquero enfrentar sus retos hoy son las mismas que le permitirán aprovechar su margen de maniobra e incrementar su adaptabilidad ante el cambio global.

Agradecimientos

Esta contribución es resultado del proyecto "Biodiversidad y vulnerabilidad en ecosistemas marinos costeros" (Clave 83339, CONACYT Ciencia Básica). Se agradece a Carlos Pacheco Ayub por el apoyo técnico recibido.

Literatura citada

Albritton, D.L., *et al.,* 2001. Technical Summary. p. 21-83. *In*: J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden and D. Xiaosu (eds.). Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge Univ. Press, UK.

Bakun, A., 1990. Global climate change and intensification of coastal upwelling. *Science*, 247:198-201.

Botsford, L.W., J.C. Castilla, y C.H. Peterson, 1997. The management of fisheries and marine ecosystems. *Science*, 227: 509-515.

Casas-Valdez, M., E. Serviere-Zaragoza, D. Lluch-Belda, R. Marcos y R. Águila, 2003. Effects of climatic change on the harvest of the kelp *Macrocystis pyrifera* at the Mexican Pacific coast. *Bull. Mar. Sci.,* 73: 445-456.

Costa, M.J., J.L. Costa, P.R. Almeida y C.A. Assis, 1994. Do eel grass beds and salt marsh borders act as preferential nurseries and spawning grounds for fish? An example of the Mira estuary in Portugal. *Ecological Engineering*, 3, 187-195.

Cox, K.W., 1962. California abalones, family Haliotidae. Calif. Fish and Game. Fish Bull., 118. 133 p.

Cury, P., y C. Roy, 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. *Can J. Aquat. Fish. Sci.,* 46: 670-679.

Gergis, J., y A.M. Fowler, 2008. A history of ENSO events since A.D. 1525: implications for future climate change. Climatic Change. DOI: 10.1007/s10584-008-9476-z

Guzmán del Próo, S.A., D. Lluch-Belda, D.B. Lluch-Cota, S. Hernandez, y C.A. Salinas Zavala, 1991. Efecto de cambios climáticos en la abundancia del abulón en la costa Pacífica de la península de Baja California. Taller México-Australia sobre reclutamiento de recursos marinos bentónicos de la Península de Baja California (ms. no publicado).

Guzmán del Próo, S.A., 1992. A review of the biology of abalone and its fishery in Mexico. *In*: S.A. Shephard, M.J. Tegner, y S.A. Guzmán-del Próo (eds). Abalone of the World. Biology, Fisheries and Culture. Fishing News Book, Oxford, 608 p.

Guzmán del Próo, S.A., 1994. Biología, ecología y dinámica de la población del abulón (*Haliotis spp*) de Baja California. México. Tesis Doctoral, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biologicas, México DF.

Guzmán del Próo, S.A., L. Carreón-Palau, J. Belmar-Pérez, J. Carrillo-Laguna y R. Herrera-Fragoso, 2003. Effects of the 'El Niño' event on the recruitment of benthic invertebrates in Tortugas Bay, Baja California Sur. *Geofísica Internacional,* 42: 429-438.

Hare, S.R. y N.J. Mantua, 2000. Empirical evidence for North pacific regime shifts in 1977 and 1989. *Progress in Oceanography*, 47: 103-145.

Hilborn, R., y C.J. Walters, 1992. Quantitative Fisheries Stock Assessment: Choice, Dynamics and Uncertainty. Chapman & Hall, New York, 570 p.

INP, 2000. Abulón. p. 119-158. En: Instituto Nacional de la Pesca. Sustentabilidad y Pesca Responsable en México. Evaluación y Manejo 1999-2000. Instituto Nacional de la Pesca, México.

Johnson, M. W., 1971. The Palinurid and Scyllarid lobster larvae of the tropical Eastern Pacific and their distribution as related to the pervailing hydrography. *Bull. Scripps. Inst. Ocean.,* 19: 1-36.

Keyl, F., 2004. Evaluación y manejo del recurso marino *Haliotis spp.* (abulón) en la península de Baja California, México, mediante un modelo pesquero-climático. Universidad de Costa Rica, 121 p.

Latif, M., y N.S. Keenlyside, 2008. El Niño/Southern Oscillation response to global warming. PNAS. published online before print December 5, 2008. doi:10.1073/pnas.0710860105

León, C.G., y M. Muciño, 1996. Pesquería de abulón. p. 15-41. En: V.M. Casas y G. Ponce D.,(eds.) Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur, Vol. I. Semarnap, Gobierno del Estado de Baja California Sur, FAO, UABCS, CIB, CICIMAR-IPN, CRIP-INP, Cet del Mar La Paz.

Lluch-Belda, D., D.B. Lluch-Cota, S.E. Lluch-Cota y S. Hernández-Vázquez. 1997. Análisis de la pesquería de abulón de la península de Baja California. Informe Técnico para la Semarnap, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 31 p.

Lluch-Cota, D.B., y S. Hernández-Vázquez (eds), 2006. Desarrollo sustentable de la pesca en México: Orientaciones estratégicas. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste/ Senado de la República. 436 p.

Lluch-Cota, D.B., y G. Ponce-Díaz, 2000. Situación actual y perspectivas de la pesquería de abulón. p. 1-15. En: Memorias del Taller Curso Intensivo y Repoblamiento del Abulón, Resultados de la Granja Demostrativa. FIRA-B de M/CIBNOR, noviembre del 2000, La Paz, BCS. México.

Ponce-Díaz G., A. Vega-Velázquez, M.R. Ramade-Villanueva, G. León-Carballo y R. Franco-Santiago, 1998. Socio-economic characters of the abalone fishery along the west coast of the Baja California Peninsula, México. *J. Shell. Res*., 17: 853-857.

Ramade-Villanueva, M.R., D.B. Lluch-Cota, S.E. Lluch-Cota, S. Hernandez-Vazquez, A. Espinoza-Montes y A.Vega-Velazquez, 1998. An evaluation of the annual quota mechanism as management tool in the mexican abalone fishery. *J. Shell. Res*., 17: 847-851.

Serviere-Zaragoza, E., D. Gómez-López, y G. Ponce-Díaz, 1998. The natural diet of the green abalone (*Haliotis fulgens* Philippi) in the southern part of its range, Baja California Sur, México, assesed by an analysis of gut contents. *J. Shell. Res.,* 17: 777-782.

Tegner, M. J., 1989. The California abalone fishery: Production, ecological interactions, and prospects for the future. p. 401-420. In: J.F. Caddy, (ed.) Marine Invertebrates Fisheries: Their Assessment and Management. Wiley, New York.

Tissot, B. N., 1990. El niño responsible for decline of black abalone off Southern California. *Hawaii Shell News,* 38(6): 3-4.

Trenberth, K.E., 1999. The extreme weather events of 1997 and 1998. *Consequences*, 5(1): 3-15.

Trenberth, K.E., P. Jones, P. Ambenje, R. Bojariu, D. Easterling *et al*., 2007. Observations: surface and atmospheric climate change. *In*: S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquiz *et al.* (eds) Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of WGI to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and NY.

Vega V.A., G. León C. y M. Muciño D., 1994. Sinopsis de información biológica, pesquera y acuacultural de los abulones (*Haliotis spp*) de la península de Baja California, México. Sepesca-CIBNOR, 117 p.

González-Peláez, S. S., y D. B. Luch-Cota, 2010. Cambio climático y la pesquería de la almeja generosa (*Panopea spp*) en el Pacífico mexicano, p. 519-532. 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 y la pesquería de la almeja generosa (*Panopea spp*) en el Pacífico mexicano

Sergio Scarry González-Peláez y Daniel B. Luch-Cota

Resumen

La almeja generosa es un recurso de alto valor económico y de reciente explotación en la región noroeste de México. En esta pesquería se capturan dos especies: *P. abrupta*, de afinidad templada, se captura a lo largo de la costa Pacifico de Baja California; y *P. globosa*, de afinidad tropical, en localidades dentro del Golfo de California y en Bahía Magdalena, en la costa occidental de Baja California Sur. Ambas especies presentan particularidades en su historia de vida que las perfilan como particularmente susceptibles a los cambios ambientales. El registro fósil sugiere que las especies del género *Panopea* han habitado las costas del Pacifico mexicano desde hace ya varios miles de años, periodo en el cual han experimentado cambios en sus patrones de distribución. Un escenario de calentamiento oceánico pudiera tener mayores efectos sobre las poblaciones de *P. abrupta*, limitando su ocurrencia o restringiéndolas a habitas más profundos. Por su parte, en *P. globosa* se ha determinado experimentalmente que posee una alta capacidad de tolerancia térmica, por lo cual se cree que esta pudiera compensar fisiológicamente el incremento en la temperatura. Por el contrario, se ha planteado la posibilidad de enfriamientos generalizados en sistemas de surgencias como el de la Corriente de California, que podrían implicar efectos negativos sobre las poblaciones de *P. globosa* en Bahía Magdalena, BCS. Dada la longevidad de ambas especies y sus tiempos generacionales largos, es probable que los efectos en sus poblaciones a corto y mediano plazo sean poco perceptibles; no obstante, la presión por pesca en combinación con cambios ambientales

desfavorables pudieran contribuir a acelerar procesos de extinción local en los límites de la distribución de ambas especies, susceptibles de ser iniciados por cambios climáticos tanto naturales como resultantes del calentamiento global.

Introducción

El cambio global ha puesto de manifiesto la necesidad de entender las consecuencias del cambio climático sobre la estabilidad de los ecosistemas y sus efectos sobre las actividades económicas que se derivan de su explotación. En el caso de los ecosistemas marinos, esto presenta un reto particularmente difícil por la gran cantidad de variables físicas (*e.g.* temperatura, disponibilidad de nutrientes, profundidad, tipo de sustrato, corrientes, etc.) y biológicas (*e.g.* competencia, depredación, crecimiento, reproducción, migración, etc.) que interactúan entre si de formas complejas, no lineales, y por ello difícilmente predecibles.

En México, todavía son escasos los estudios encaminados a determinar los posibles efectos del cambio global sobre recursos pesqueros (Lluch-Cota, 2004). En principio, porque no existen escenarios formales derivados de la modelación del cambio global a escala regional para los mares mexicanos. Ello obliga a considerar extrapolaciones al medio marino de escenarios establecidos para el clima terrestre; o bien a intuir los cambios regionales a partir de escenarios del clima marino referidos a escalas espaciales mayores. Por otro lado, y aún cuando se logre establecer algún escenario ambiental razonable, no es posible generalizar la respuesta que presenten un conjunto de especies que responden de manera diferenciada en función de las características hidrodinámicas de las masas de agua, de la presencia de barreras hidrográficas y geográficas para extenderse, y de las adaptaciones y preferencias que definen su historia de vida, incluyendo su reproducción, su capacidad de dispersión y su longevidad (Hiscock *et al.,* 2004).

Es además necesario ubicar la posible magnitud del cambio climático en un contexto histórico, a fin de poder dimensionar su efecto potencial sobre las poblaciones marinas. Los ecosistemas marinos están sujetos a intervalos de variabilidad de diversa escala temporal, que van desde las mareas hasta la escala geológica. Si la amplitud de la variabilidad ambiental es pequeña, los organismos pueden responder con una variedad de ajustes metabólicos (Hochachka y Somero, 2002). Sin embargo, cuando una población experimenta un cambio ambiental fuera del rango normal, pueden responder en una de tres formas (Clarke, 1996): migración, cuando los organismos se reubican en áreas más favorables; adaptación, cuando se seleccionan las variedades resistentes al cambio ambiental; y extinción, cuando la especie es incapaz de adaptarse o migrar.

El registro fósil de organismos marinos ha mostrado que los cambios en el ambiente han modificado gradual y constantemente la composición y distribución geográfica de las especies (*e.g.* Roy *et al.,* 2000 y 2001). En la actualidad, la intensidad y rapidez del cambio climático posiblemente este modificando la distribución geográfica de plantas y animales alrededor del mundo a ritmos más acelerados (Parmesan *et al.,* 1999), lo que ha motivado el interés por entender sus efectos tanto a nivel del ecosistema como de los recursos que sostienen una actividad

económica y que, por su naturaleza sésil, representan un riesgo mayor que otras poblaciones explotadas con capacidad de desplazamiento (Clarke, 2001; Roy *et al.*, 2001). Ello es el caso de la almeja generosa, un recurso de elevado valor económico cuya explotación ha venido creciendo en el noroeste de México.

Características de la pesquería

La almeja generosa (figura 1) es un recurso pesquero de reciente explotación en el noroeste mexicano; hasta hace pocos años, se desconocía la existencia de bancos susceptibles de explotación en México. El objetivo de esta pesquería es la extracción y comercialización *in vivo* de dos especies, *Panopea abrupta* en la costa Pacifico de Baja California y *P. globosa* dentro del Golfo de California y costa occidental de Baja California Sur, específicamente en el complejo lagunar Bahía Magdalena (figura 2).

Los primeros bancos se detectaron hacia finales de la década de los noventa en la región norte del Golfo de California, concretamente en el litoral de Baja California, y a partir del 2000 crece el interés por su explotación. Los primeros permisos de pesca se otorgaron en el año 2002, bajo el esquema de pesca de fomento. La captura se realiza en zonas submareales mediante buceo asistido con bombas que eyectan agua para remover a los organismos del substrato. La mayor parte de la captura es enviada viva a los mercados asiáticos, aunque también existe mercado para almeja congelada. El mercado prefiere las almejas grandes y de coloración pálida a las pequeñas y de color más oscuro; esta calidad está inversamente relacionada con la edad de la almeja y la profundidad a la que ésta se desarrolló (Goodwin y Pease, 1987).

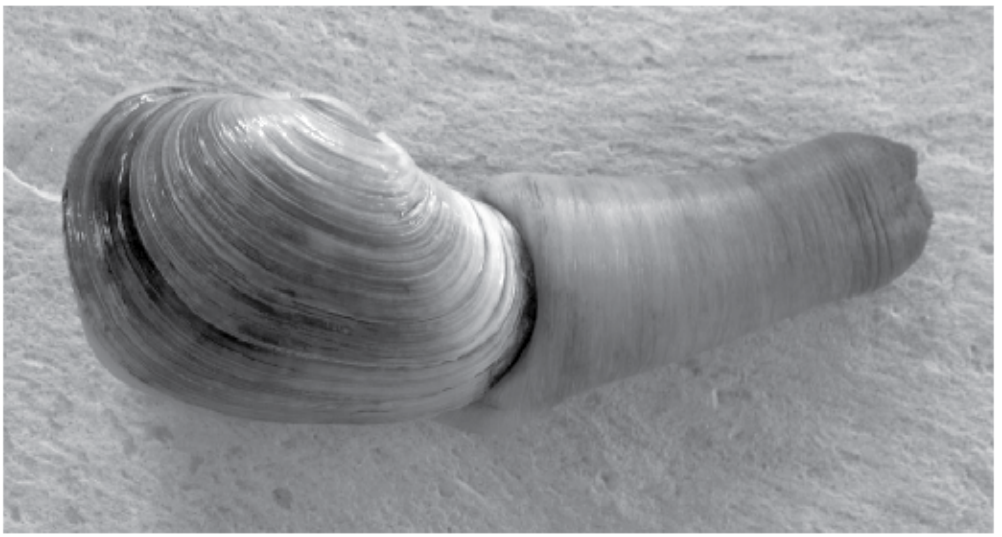

Figura 1. Vista lateral de una almeja generosa *in vivo*, capturada en Bahía Magdalena.

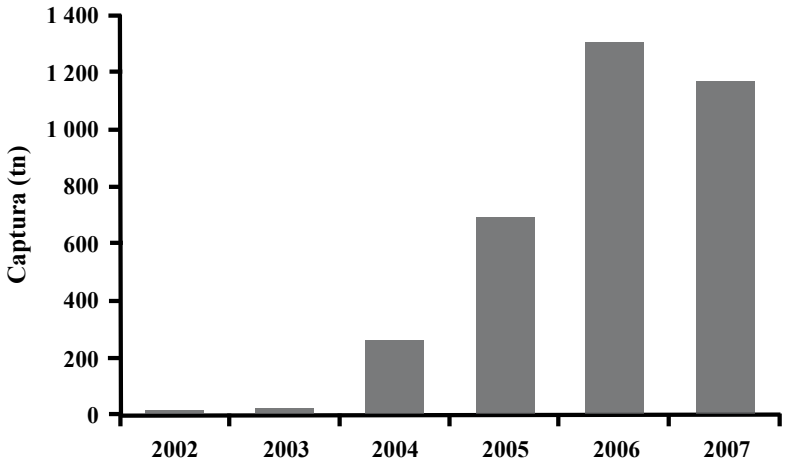

Figura 2. Registros de captura de almeja generosa en el estado de Baja California.

La pesquería ha resultado muy atractiva para numerosos pescadores artesanales, pues representa un beneficio económico elevado comparable, en términos unitarios, a los que se obtienen en pesquerías de especies de muy alto valor como el abulón y la langosta. Se trata además de un recurso de fácil acceso, en función de las altas densidades poblacionales existentes, particularmente en el norte del Golfo de California, y de que es posible su explotación por buceo aplicando artes de pesca relativamente sencillos y de bajo costo. En consecuencia, su explotación se han venido incrementando conforme se descubren e integran nuevos bancos a los esquemas de explotación, lo que la significado un incremento en el esfuerzo pesquero. En la actualidad sus capturas se mantienen por arriba de las 1 000 toneladas anuales (figura 3).

Características del recurso

En lo general, las especies del genero *Panopea* presentan en su historia de vida particularidades que las hacen susceptibles ante modificaciones de factores físicos del ambiente. Ocurren en fondos blandos arenosos y areno-lodosos desde la zona intermareal hasta más de 110 m de profundidad, donde los adultos viven sedentarios, profundamente enterrados en el substrato y alimentándose por filtración del fitoplancton presente en la columna de agua mediante dos sifones fusionados en una estructura, el "sifón", que en algunas especies llega a alcanzar hasta un metro de largo (Andersen, 1971; Bernard, 1983).

Como el de la generalidad de los pelecípodos, su ciclo de vida comprende varios estadios que incluyen el huevo fertilizado, una larva trocófora, dos estadios de larva veliger, una fase postlarval, el juvenil y el adulto. En todos los estadios las tasas de crecimiento, y por tanto la edad, son extremadamente variables y dependen tanto de las condiciones de salud de los organismos como de factores ambientales (Goodwin y Shaul, 1984).

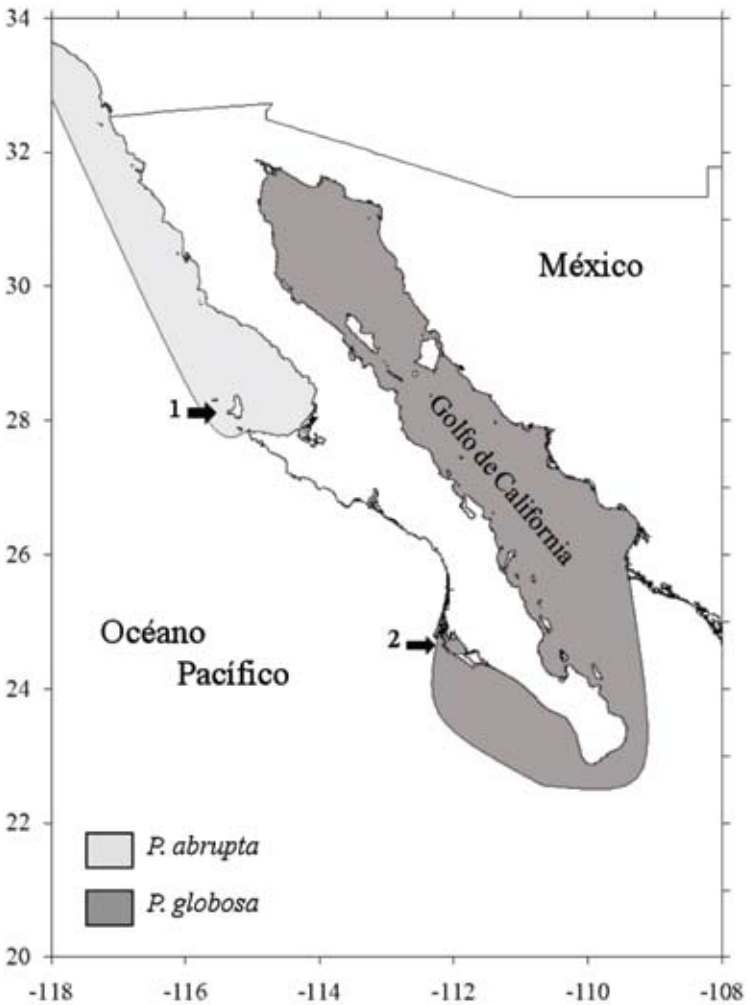

Figura 3. Distribución de las especies de almeja generosa en el noroeste de México. (1= Isla Cedros, BC; 2= Bahía Magdalena, BCS).

En promedio, los estadios planctónicos tienen una duración acumulada que varía de 16 a 35 días a 16 grados C, mientras que los juveniles pueden vivir desde los dos hasta los ocho años de edad para alcanzar tallas de alrededor de 7.5 mm, la talla promedio de madurez sexual (Goodwin, 1976). Como es el caso de muchas especies marinas cuyas estrategias involucran la producción y liberación de grandes cantidades de gametos al medio, las variaciones en factores como la salinidad y la temperatura han mostrado ser de gran importancia respecto de la formación y sobrevivencia de las larvas (Goodwing, 1973), y en general del éxito en el reclutamiento de nuevos individuos a la población (Valero *et al.,* 2004).

Pese a la alta fecundidad característica de este tipo de moluscos, entre las especies de *Panopea* que se han analizado las tasas de reclutamiento son muy bajas, lo que se atribuye a muy altas

mortalidades de las fases larvarias. Para *P. abrupta*, Goodwin y Shaul (1984) encontraron valores en el rango de 0-2.5 juveniles por metro cuadrado por año dependiendo de la localidad, y diferencias importantes en la densidad de reclutas entre zonas explotadas (0.54 ind. m^{-2}) y no explotadas (0.78 ind m^{-2}). Estas diferencias son indicativas que la actividad extractiva tiene un efecto adverso sobre el reclutamiento, si bien el mecanismo asociado no ha sido bien establecido.

Una vez reclutados los juveniles, su crecimiento es acelerado; por ejemplo, para *P. abrupta* se han encontrado tasas de hasta 30-60 mm por año durante los tres o cuatro primeros años; no obstante, a partir de los diez años se torna asintótico y virtualmente cesa (Andersen, 1971). Estudios de juveniles de *P. abrupta* sembrados en el medio natural han arrojado tasas de crecimiento de hasta 68.6 mm en un año, lo que permitiría tallas comerciales (680 g de peso total) en sólo 4-5 años (Goodwin y Pease, 1989). Las tasas de crecimiento son muy variables en función de la localidad (Goodwin, 1976; Breen y Shields, 1983; Harbo *et al.*, 1983). Si bien no cesa por completo, el crecimiento disminuye en invierno conforme los organismos disminuyen su actividad y pasan periodos más largos con sus sifones retraídos. Es probable que el crecimiento varíe además en función de las velocidades de corrientes, el tipo de sedimento y la profundidad del agua, ya que las mayores tallas suelen ocurrir en zonas relativamente someras, con alta dinámica y sustratos arenosos y areno-lodosos (Goodwin y Pease, 1987).

Aunque desde que son juveniles viven enterrados en el substrato, es hasta después de alcanzar su madurez sexual y conforme el sifón crece que los organismos son capaces de enterrarse a profundidades que los ponen a resguardo de casi cualquier depredador; lo que explica que la mayor mortalidad natural se presenta en las fases tempranas y que en los adultos la mortalidad sea reducida. Para *P. abrupta*, por ejemplo, se han estimado tasas anuales entre 0.01-0.05 (Breen y Shields, 1983; Harbo *et al.,* 1983). La sobreviviencia de adultos y juveniles está directamente relacionada con la profundidad a la que el organismo logra enterrarse (Sloan y Robinson, 1983) una vez que alcanza los 60 cm queda virtualmente libre de cualquier predador excepto el hombre.

Como resultado de ello, las poblaciones están compuestas principalmente por individuos adultos que superan los diez años de edad, y que pueden llegar a ser muy longevos. La edad de adultos y juveniles puede ser estimada a partir de la lectura de marcas de crecimiento en las conchas (Shaul y Goodwin, 1982), lo que ha permitido establecer las distribuciones de frecuencias por edades para diferentes especies y localidades. Por ejemplo, para *P. abrupta* en Washington la edad promedio de los individuos es de 46 años (Bradbury *et al.,* 2000); y se tienen registros de organismos que han alcanzado los 168 años (Bureau *et al.,* 2002). Otros ejemplos son el de *P. abbreviata* en Argentina con una longevidad próxima a los 40 años (Morsan y Ciocco, 2004), mientras que en Nueva Zelanda, *P. zelandica* supera los 80 años (Gribben y Creese, 2005). Para México, las estimaciones preliminares de la longevidad en *P. globosa* de Bahía Magdalena sugieren que esta puede llegar a superar los 40 años de edad (González-Peláez *et al.*, en prep.).

En síntesis, las especies del género se caracterizan por (1) sus hábitos sésiles, (2) sus bajas tasas de reclutamiento, (3) su elevada longevidad, y (4) una muy baja mortalidad en adultos. Todo ello confiere a las especies del género al menos dos cualidades relevantes como modelo de estudio. La primera es que sus poblaciones deben reflejar en mayor medida que otras los efectos del cambio climático, dada a su baja capacidad de adaptación derivada de periodos generacionales excepcionalmente largos. La segunda es la factibilidad de asumir que la tasa de mortalidad natural, en etapas adultas, es fundamentalmente el resultado de procesos netamente fisiológicos, dada la virtual ausencia de depredadores naturales.

Estas características explican que esta almeja sea considerada un buen indicador de la influencia de factores ambientales sobre el crecimiento poblacional en ecosistemas costeros. Por ejemplo, en estudios con estas y otras especies se ha logrado interpretar la estructura de tallas mediante la aplicación de modelos teóricos basados en la distribución de energía para explicar la masa corporal (Roy *et al.*, 2000); como es el caso de la relación empírica entre la talla y algunos atributos como la tasa metabólica, el tiempo de intercambio, el periodo de desarrollo ontogénico y la esperanza de vida (Brown *et al.,* 1993). En el caso de *P. abrupta*, la estructura de tallas de sus poblaciones ha permitido incluso reconstruir series históricas para explorar, desde el punto de vista estadístico, las fluctuaciones pasadas en la intensidad de sus reclutamientos en relación con índices ambientales costeros (Valero *et al.,* 2004).

Efectos ambientales

Una de las primeras ideas respecto de patrones macro ecológicos relevantes en términos de los posibles efectos del calentamiento global es la de Stevens (1989), en el sentido de que la gran diversidad frecuentemente vista en los trópicos puede ser explicada porque las especies que ahí habitan tienen un rango de distribución muy estrecho mientras que a latitudes altas hay una mayor proporción de especies con rangos amplios (*i.e.* la Regla de Rapoport).

Dicho patrón ha sido explicado en términos de las diferencias en la tolerancia de especies tropicales y templadas ante variaciones climáticas; la idea inicial fue que los organismos que habitan en latitudes bajas son sujetos de menos variación climática y por lo tanto su distribución tiende a ser limitada a un rango latitudinal estrecho. En contraste, las especies de latitudes altas pueden estar adaptadas a variaciones climáticas de mayor amplitud. Partiendo de dicho supuesto, podría suponerse por ejemplo que el cambio climático puede tener poco o nulo efecto sobre las poblaciones de especies de afinidad templada que habitan en la zona de transición entre la región templada y la tropical, como es el caso de *P. abrupta* en la costa occidental de Baja California.

No obstante, conforme más poblaciones marinas han sido investigadas en años recientes respecto de sus patrones macro ecológicos, se ha hecho evidente que las primeras interpretaciones podrían ser relativamente simplistas. Por ejemplo, Roy *et al.* (2001) encontraron evidencia paleontológica de que el tamaño del cuerpo de las especies de moluscos se relacionó mejor con los cambios de rango geográfico ante la variación climática ocurrida en el pleistoceno; y que,

en general, las especies de cuerpo grande resultaron más inestables que las de tamaño pequeño. Esta diferencia, según los autores mencionados, pudiera ser más determinante respecto de las tendencias de las poblaciones marinas hacia la expansión de su hábitat (o bien hacia su extinción local) en respuesta a cambios del clima. Las especies de *Panopea* figuran dentro de la categoría de las almejas de mayor talla, y aunque típicamente habitan ambientes templados, existen al menos dos especies que presentan cierta afinidad tropical, siendo *P. globosa* en el Pacífico mexicano una de ellas (Yonge, 1971).

Aunque los procesos subyacentes al valor adaptativo del tamaño corporal son poco conocidos, parece claro que los rangos de distribución de las especies son determinados por complejas interacciones entre los gradientes ambientales y factores bióticos como el tamaño de la población y tasas de dispersión (Davis *et al.,* 1998; Case y Taper, 2000), muchos de los cuales se correlacionan con el tamaño corporal. Más aún, Brown (1995) propuso que la morfología, la fisiología y las características ecológicas están relacionadas con el tamaño del cuerpo; tal relación, según el autor, estaría integrando el fenotipo y el papel de la estructura y limitación funcional. En este contexto se sugiere que el tamaño corporal y en general los diversos parámetros de la historia de vida de moluscos marinos pueden, desde una perspectiva macro ecológica y analizados a lo largo de su intervalo de distribución, aportar elementos que permitan predecir algunas posibles respuestas de sus poblaciones ante el cambio climático (Roy *et al.,* 2001).

Los gradientes ambientales en los que se distribuyen las especies afectan directamente su reclutamiento, su crecimiento, su mortalidad, su reproducción y la densidad de sus poblaciones; siendo esperable que en los límites de distribución, o sub-óptimos, las poblaciones sean menos abundantes y resulten más expuestas a procesos de extinción local. En el caso de *Panopea spp*., los límites actuales de distribución entre *P. abrupta* y *P. globosa* se encuentran en la costa pacifico de la península de Baja California, y sus poblaciones más cercanas parecen estar separadas por al menos 500 km (González-Peláez *et al.*, en preparación). La población con distribución más tropical de *P. abrupta* se encuentra en isla Cedros, BC (28° 10′), mientras que el límite templado para *P. globosa* se encuentra en Bahía Magdalena, BCS (24° 38′).

Estas poblaciones muestran evidencias de que actualmente existen en los límites de tolerancia de las especies correspondientes, al presentar muy bajas densidades y estar restringidas a zonas relativamente profundas. En contraste, *P. abrupta* es muy abundante en áreas costeras de Washington (EUA), Columbia Británica (Canadá) y Alaska (EUA) (Campbell *et al.*, 1998), donde llega a ser la especie dominante en la comunidad bentónica en términos de biomasa. Por su parte, *P. globosa* es abundante en la zona del Alto Golfo de California, donde además ocupa fondos relativamente someros, mientras que en Bahía Magdalena existe a profundidades mayores a 10 m, en temperaturas que oscilan entre los 14 y 24 grados centígrados (figura 4). Respecto de las diferencias entre ambas especies de *Panopea*, los registros de temperatura superficial muestra 4°C de diferencia entre sus límites de distribución en la costa occidental de Baja California (figura 5); aunque es muy probable que entre estos limites conocidos (Isla de Cedros y Bahía Magdalena) existan poblaciones aún no identificadas de ambas especies (ver figura 3).

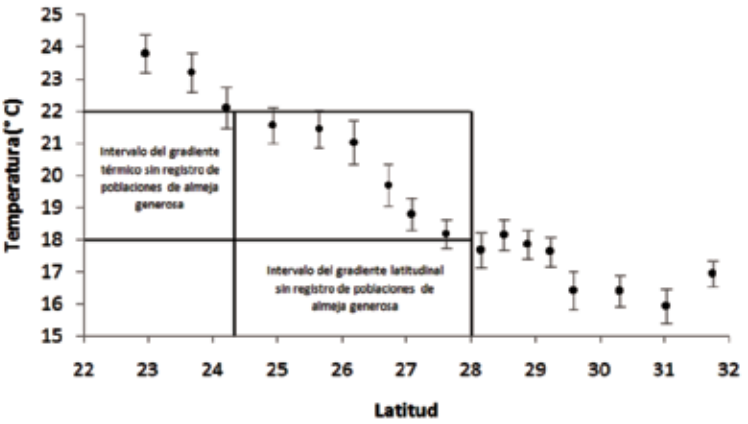

Figura 4. Temperatura superficial promedio para la costa Pacifico de la Península de Baja California 1998-2007 (intervalos al 95 % de confianza).

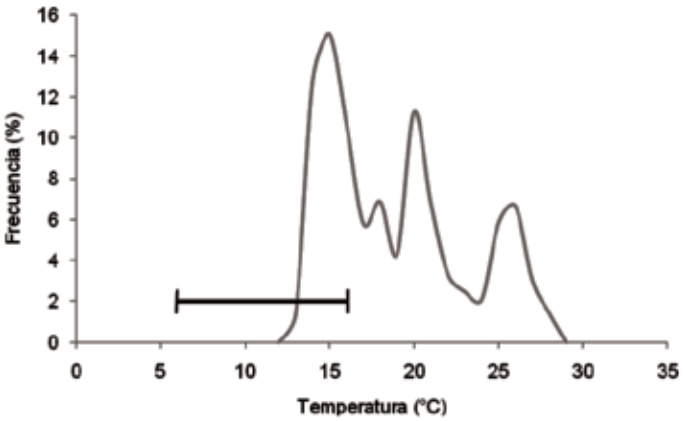

Figura 5. Frecuencia de temperaturas registradas *in situ* para bahía Magdalena durante 2008 y su comparación con el intervalo de temperatura (línea negra) donde habita *P. abrupta* en Washington y British Columbia (Goodwin, 1973).

Otro elemento que ofrece una idea de los posibles cambios de distribución de ambas especies a larga escala es el registro fósil, mismo que indica que miembros del genero *Panopea* han habitado las costas del Pacifico americano durante millones de años. Por ejemplo, existen registros de *P. generosa* variedad taeniata en diferentes localidades costeras del Golfo de California y en Bahía Magdalena, con edades geológicas que van de los 100 000 al millón y medio de años (Dall, 1918; Durham, 1950). Al respecto, cabe notar que esta especie es morfológicamente idéntica a *P. globosa*; más aún, un análisis preliminar de la proporción entre su longitud y su ancho sugiere que se pudiera tratar de la misma especie (González-Peláez *et al.,* en prepara-

ción). Por otro lado, recientemente se identificó lo que parecen ser seudo-fósiles (*e.g.* conchas con una antigüedad menor de 100 000 años) de *P. abrupta*, provenientes del interior del Golfo de California (González-Peláez *et al.,* en preparación). De confirmarse, ello sugeriría que las poblaciones de ambas especies han venido experimentado una alternancia en su distribución dentro del Golfo de California, resultado de los cambios ambientales en escala de varios miles de años.

Posibles escenarios

La identificación de la posible respuesta de las especies de *Panopea* en el noroeste de México ante el calentamiento global es en la actualidad imposible, en la medida en la que no existen escenarios formales de cambio climático a escala regional. En un extremo, podría suponerse que el calentamiento global resultará en un calentamiento oceánico generalizado, tal como ha sido señalado para diversos ecosistemas marinos en otras regiones (Belkin, 2009). En el caso de las poblaciones de *P. abrupta* de Washington y la Columbia Británica, sería posible esperar incrementos en la abundancia del recurso; en función de que se ha demostrado una correlación positiva entre los reclutamientos, estimados a partir de la estructura de tallas y edades, y la temperatura del mar (Valero *et al.,* 2004). En contraste, sería esperable observar disminuciones de abundancia, que podrían llegar hasta la extinción local, en las poblaciones de *P. abrupta* localizadas en el límite tropical de su distribución; esto es, en la costa occidental de la península de Baja California.

Por otra parte, el calentamiento generalizado no es el único escenario posible; de hecho, el sistema de la Corriente de California ha experimentado condiciones relativamente frías durante las décadas recientes (Belkin, 2009). Al respecto, Bakun (1990) sugirió que el calentamiento global, al incrementar el gradiente térmico tierra-océano, resultaría en una intensificación de las surgencias costeras, lo que pudiera implicar condiciones relativamente frías tanto en el Sistema de la Corriente de California como a lo largo del corredor de surgencias de la costa oriental del Golfo de California. De ser el caso, son las poblaciones de *P. globosa* ubicadas en el límite templado de la distribución de la especie las que podrían experimentar bajos crecimientos poblacionales; particularmente los bancos que actualmente sostienen la captura en Bahía Magdalena, BCS.

La existencia de escenarios potenciales opuestos permite apreciar la gran incertidumbre que prevalece respecto de los cambios climáticos más probables a nivel regional resultantes del calentamiento global. Más aún, cualquiera que sea el sentido del cambio asociado al calentamiento global este estará modulado por otras escalas de variabilidad climática natural, tales como las asociadas a El Niño como a fluctuaciones decadales e interdecadales, que en otros recursos bentónicos han mostrado ser determinantes respecto de la variabilidad de sus poblaciones (véase Lluch-Cota y Lluch-Cota, p. 505-518).

Más allá de los posibles escenarios climáticos, es claro que como recurso *Panopea spp* presenta una serie de características biológicas que se traducen en bajos crecimientos poblacionales, lo

que implica que incluso incrementos marginales en los niveles de mortalidad pudieran tener efectos acumulativos considerables sobre el tamaño de sus poblaciones. La creciente presión que estas poblaciones podrían experimentar, en ausencia de mecanismos efectivos de control y regulación de la mortalidad por pesca, es amenaza suficiente como para considerar que es urgente la implementación de esquemas de manejo que, entre otros aspectos, deberían incluir estimaciones rutinarias de la abundancia y la densidad en los bancos como condición para el otorgamiento de cuotas de captura sostenibles. Dicho esquema, además, tendría que tomar en consideración los potenciales incrementos en la mortalidad por otras causas, incluyendo tanto la variabilidad ambiental natural como los posibles efectos del calentamiento global.

Literatura citada

Andersen, A.M. Jr., 1971. Spawning, growth and spatial distribution of the geoduck clam, *Panope generosa* (Gould) in Hood Canal, Washington. Ph.D. Thesis. University of Washington, Seattle. 133 p.

Bakun, A., 1990. Global climate change and intensification of coastal upwelling. *Science*, 247: 198-201.

Belkin, M.I., 2009. Rapid warming of Large Marine Ecosystems. *Progress in Ocean.,* 81 (1): 207-213.

Bernard, F.R., 1983. Catalogue of the living bivalvia of the eastern Pacific Ocean: Bering Strait to Cape Horn. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. No. 61. 102 p.

Bradbury, A., B. Sizemore, D. Rothaus, y M. Ulrich, 2000. Stock assessment of subtidal geoduck clams (*Panopea abrupta*) in Washington. Marine Resources Unit, Fish Management Division, Fish Program. 52 p.

Breen, P.A., y T.L. Shields, 1983. Age and size structure in five populations of geoduck clams (*Panope generosa*) in British Columbia. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. No. 1169. 62 p.

Brown, J.H., 1995. Macroecology. The University of Chicago Press, Chicago, IL. 269 p.

Brown, J.H., P.A. Marquet y M.L. Taper, 1993. Evolution of body size: consequences of an energetic definition of fitness. *The American Naturalist,* 142(4): 573-584.

Bureau, D., W. Hajas, N.W. Surry, C.M. Hand, G. Dovey, y A. Campbell, 2002. Age, size structure, and growth parameters of geoducks (*Panopea abrupta* Conrad, 1849) from 34 locations in British Columbia sampled between 1993 and 2000. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. No. 2413.

Case, T.J., y M.L. Taper, 2000. Interspecific competition, environmental gradients, gene flow, and the coevolution of species borders. *The American Naturalist*, 155: 583-605.

Clarke, A., 1996 The influence of climate change on the distribution and evolution of organisms. p. 375-407. *In:* I. A. Johnston and A. F. Bennett (eds). Animals and temperature: phenotypic and evolutionary adaptation, vol. 59 Society for Experimental Biology seminar series. Cambridge, UK Cambridge University Press.

Clarke, A., 2001 Benthic organisms and environmental variability in Antarctica: responses to seasonal, decadal and long-term change. *Ocean Polar Res*., 23, 433–440.

Campbell, A., R.M. Harbo, y C.M. Hand, 1998. Harvesting and distribution of Pacific geoduck clams, Panopea abrupta, in British Columbia. p. 349-358. *In:* G.S. Jamieson y A. Campbell (eds.). Proceedings of the North Pacific Symposium on Invertebrate Stock Assessment and Management. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 125.

Dall, W.H., 1918. Pleistocene fossils of Magdalena Bay, Lower California, Collected by Charles Eussell Orcutt. *Nautilus,* 32: 23-26

Davis, A.J., L.S. Jenkinson, J.H. Lawton, B. Shorrocks, y S. Wood, 1998. Making mistakes when predicting shifts in species range in response to global warming. *Nature*, 391: 783-786.

Durham, J.W., 1950. 1940 E.W. Scripps Cruise to the Gulf of California, Part II: Mesogascopic Paleontology and Marine Stratigraphy. Geological Society of America Memoir 43, 216 p.

Goodwin, C.L., 1973. Effects of salinity and temperature on embrios of the geoduck clam (*Panope generosa* Gould). *Proc. of the National Shellfisheries Association,* 63: 93-95.

Goodwin, C.L., 1976. Observations of spawnings and growth of subtidal geoducks (*Panope generosa*, Gould). *Proc. Nat. Shellfish. Assoc*., 65:49-58.

Goodwin, C.L., y B. Pease, 1987. The distribution of geoduck (*Panope abrupta*) size, density and quality in relation to habitat characteristics such as geographic area, water depth, sediment type, and associated flora and fauna in Puget Sound Washington. Wash. Dep. Fish. Tech. Rep. No. 102. 44 p.

Goodwin, C.L., y B. Pease, 1989. Species profiles: life histories and environmental requirements of coastal fishes and invertebrates (Pacific Northwest)-Pacific geoduck clam. U.S. Fish. Wildl. Serv. Biol. Rep. 82(11.120). U.S. Army Corps of Engineers, TR EL-82-4. 14 p.

Goodwin, C.L., y W. Shaul, 1984. Age, recruitment and growth of the geoduck clam (*Panope generosa*, Gould) in Puget Sound Washington. Wash. Dep. Fish. Prog. Rep. No. 215. 30 p.

Gribben, P.E., y R.G. Creese, 2005. Age, growth, and mortality of the New Zealand geoduck clam, *Panopea zelandica* (Bivalvia: Hiatellidae) in two north island populations. *Bulletin of Marine Science*, 77(1): 119–135.

Harbo, R.M., B. E. Adkins, P.A Breen, y L. Hobbs, 1983. Age and size in market samples of geoduck clams (*Panope generosa*). Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. No. 1714. 77 p.

Hiscock, K., A. Southward, I. Tittley, y S. Hawkins, 2004 Effects of changing temperature on benthic marine life in Britain and Ireland. *Aquatic Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst*., 14: 333–362.

Hochachka, P. W., y G.N. Somero, 2002 Biochemical adaptation: mechanism and process in physiological evolution. Oxford, UK. Oxford University Press.

Lluch-Cota, D.B., 2004. El Sector Pesquero, p. 327-335. En: J. Martinez. y A. Fernández (eds). Cambio Climático: Una visión desde México. INE-Semarnat, México.

Morsán, E., y N.F. Ciocco, 2004. Age and growth model for the southern geoduck, *Panopea abbreviata*, of Puerto Lobos (Patagonia, Argentina). *Fisheries Research,* 69: 343-348.

Parmesan, C., N. Ryrholm, C. Stefanescu, J.K. Hill, C.D. Thomas, H. Descimon, B. Huntley, L. Kila, J. Kullberg, T. Tammaru, W.J. Tennent, J.A. Tomas, y M. Warren, 1999. Polewardshifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature,* 399:579–83

Roy, K., D. Jablonski, y K.M Martien, 2000. Invariant size-frequency distribution along a latitudinal gradient in marine bivalves. *Proc. of the National Academy of Sciences of the Unites States of America*, 7: 13150-13555.

Roy, K., D. Jablonski, y J.W. Valentine, 2001. Climate change, species range limits and body size in marine bivalves. *Ecology Letters*, 4: 366-370.

Shaul, W., y C.L. Goodwin, 1982. Geoduck (*Panope generosa*: Bivalvia) age as determined by internal growth lines in the shell. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.,* 39:632-636.

Sloan, N.A., y S.M.C. Robinson, 1983. Winter feeding by asteroids in a subtidal sand bed in British Columbia. *Ophelia,* 22(2):125-140.

Stevens, G.,C., 1989. The latitudinal gradient in geographical range: how so many species coexist in the tropics. *American Naturalist,* 133: 240-256.

Valero, J.L., C. Hand, J.M. (Lobo) Orensanz, A.M. Parma, D. Armstrong, y R. Hilborn, 2004. Geoduck (*Panopea abrupta*) recruitment in the Pacific Northwest: long-term changes in relation to climate. *CalCOFI Rep.,* 45: 80-86.

Yonge, C.M., 1971. On functional morphology and adaptive radiation in the bivalve Superfamily Saxicavacea (Hiatella (=Saxicava), Saxicavella, Panomya, Panope, Cyrtodaria). *Malacologia,* 11: 1-44.

Espejel, I., O. Delgado-González, G. Seingier, C. León, F. Rosete, M.C. Arredondo-García, A. García-Gastelúm y J. L. Fermán-Almada, 2010. Ordenamiento ecológico territorial y desarrollo costero, p. 533-544. 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.

Ordenamiento ecológico territorial y desarrollo costero

Ileana Espejel, Oscar Delgado-González, Georges Seingier, Cuauhtémoc León, Fernando Rosete, M.C. Arredondo-García, Alejandro García-Gastelúm y José Luis Fermán-Almada

Resumen

El ordenamiento ecológico y territorial (OET) aplicado en zonas costeras es hasta ahora, el mejor instrumento dentro de la política ambiental en México para planificar el desarrollo sustentable de sus costas y tal vez la única plataforma desde la perspectiva territorial para adaptarse a los efectos de un clima cambiante. Si se implementa junto con otros instrumentos económicos y de educación ambiental que lo apoyen y fortalezcan, es posible enfrentar los desastres asociados al cambio climático. Uno de los objetivos del OET es evitar el aumento del riesgo costero: es decir, no permitir más infraestructura ni áreas pobladas en sitios peligrosos y, donde ya hay riesgos costeros, plantear una estrategia para minimizarlo. El objetivo de este capítulo es analizar los 169 municipios costeros mexicanos agrupados en unidades costeras homogéneas (UCH, combinación de regiones hipsográficas y grandes ecosistemas marinos), que han sido propuestas como parte de un sistema de regionalización para el OET de los mares y costas mexicanos, bajo dos dimensiones complementarias: 1) a través de un índice que refleja la diversidad de actividades para el desarrollo económico costero (adiciona linealmente indicadores relacionados al personal ocupado en pesca, acuicultura, turismo y minería; porcentaje de superficie cultivada por habitante y carga total manejada por los puertos) y 2) con la peligrosidad costera expresada mediante un índice formado por la proporción de longitud de costa, la proporción de planicie costera, el número de bahías y lagunas y eventos meteorológicos extremos en 100 años. La comparación y análisis de ambas visiones resulta en seis clases de riesgo costero. La estrategia metodológica propuesta considera la incorporación

del peligro costero en los mapas base del OET, esperando que la consideración del peligro, como una limitante para el desarrollo económico tradicional, evite el aumento de la del riesgo costero particularmente ante escenarios de cambio climático.

Introducción

Se reconoce que el cambio climático tendrá un impacto significativo en las poblaciones costeras y sus ecosistemas, con consecuencias económicas, sociales y ecológicas, por arriba de las posibilidades de sus respectivas sociedades para enfrentar y recomponer los impactos. Sin embargo, los ordenamientos ecológicos y territoriales no son suficientemente impulsados ni orientados para ser utilizados como plataforma analítica, metodológica o de planeación para enfrentar el reto del cambio climático. Esto sucede entre otras cosas por que los cambios físicos en el territorio se perciben como graduales y para la mayoría de los gobiernos locales, ante sus necesidades apremiantes de servicios, el largo plazo, queda fuera de su foco. Es interesante destacar esta suerte de paradoja, cuando los municipios apenas estaban entendiendo el tema del desarrollo sustentable, la participación pública y gobernabilidad, ahora deben abrir aún más su perspectiva, apurar el paso, resumir y preocuparse por los efectos de un clima cambiante, tema que por su complejidad, es polémico en la prensa mundial. Todo lo cual no ayuda a promover la acción certera de la población en general, y en particular, mucho menos la de autoridades locales.

Se proyecta que la peligrosidad del territorio costero aumentará: aumento en el nivel del mar, incremento en la frecuencia de los eventos de tormentas, incremento en la severidad de éstos, y cambios en los patrones de precipitaciones dependiendo de la región, el nivel del mar se ha elevado varias veces por sobre la media global o, de hecho, ha disminuido (IPCC, 2007). Lo más importante es que mientras las proyecciones de los modelos actuales indican una variabilidad substancial en el futuro del nivel del mar, tanto en las escalas locales como regionales, el IPCC concluye con seguridad que los impactos son abrumadoramente negativos (Titus, 1998; EPA, 1989; FEMA, 1991 y 2000; IPCC, 2007).

El objetivo de este capítulo es describir la actual peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo de los 169 municipios de la costa mexicana. Entendiendo que el riesgo está en función de la peligrosidad y la vulnerabilidad (Riesgo=f(P,V) donde Peligro es también considerado una amenaza y la vulnerabilidad un agregado de condiciones sociales, económicas y de un medio biofísico alterado. Se considera que, ante la imposibilidad de incidir en los peligros (tormentas, huracanes, etc.), sólo queda trabajar en reducir la vulnerabilidad. En este sentido, la utilización del OET se vuelve una estrategia de adaptación (León *et al.*, 2009)

La costa de un municipio costero es peligrosa si además de observar impactos de huracanes y tormentas en los últimos 100 años la extensión de su litoral es grande, posee una gran proporción de planicie costera, de bahías y de cuerpos de aguas protegidos tipo lagunas costeras, ya que estas condiciones físicas proporcionan espacios más susceptibles a inundarse ante los escenarios proyectados por el cambio climático; elevación del mar y mayor intensidad y frecuencia de eventos meteorológicos extremos. Asimismo, la población que vive en las planicies

costeras de dichos municipios es vulnerable a sufrir inundaciones. Por lo tanto, las unidades costeras son más vulnerables si hay más infraestructura y servicios que generen empleos (pierden económicamente más). Un municipio costero está en mayor riesgo de inundación y de sufrir pérdidas lamentables (humanas y económicas) ante escenarios de cambio climático, si es peligroso ante inundaciones y si vive mucha población y hay infraestructura valiosa. En este capítulo no se consideran los indicadores demográficos porque fueron incluidos por Seingier *et al.* en esta obra (p. 669-688).

Entre las soluciones para enfrentar el cambio climático se proponen básicamente dos estrategias: reducir las emisiones de gases que promueven el efecto invernadero, conocida como mitigación. La otra es la adaptación al cambio climático, y concierne a todos, pero en especial a los planificadores del uso del suelo en los países en vías de desarrollo, que en muchos lados se cruza con la agenda de protección civil (alerta temprana, manejo y prevención de desastres, etc.) y es sobre esta estrategia, que el ordenamiento ecológico tiene un alto potencial preventivo y por supuesto sobrada injerencia.

El OET se fundamenta en la ecología del paisaje, considera e incluye distintas escalas espaciales y temporales, lo cual permite distinguir los cambios regionales de los locales. Los resultados del OET se convierten en instrumentos legales flexibles (se decretan como ley pero se pueden revisar cada 5 o 10 años) derivan de un trabajo interdisciplinario y, se construyen y legitiman mediante la participación ciudadana. Todo lo cual hace de este proceso un excelente vehículo de educación ambiental a todos los niveles (Espejel, 2009)

Si se considera a la zona costera mexicana como un espacio estratégico para el desarrollo del país, donde se proyectan y concentran grandes obras de infraestructura portuaria, petrolera, industrial, ciudades nuevas, centros para el desarrollo turístico y habitacional de segundos hogares para extranjeros, es de suma importancia planificar y reordenar su crecimiento basados al menos en la consideración de la elevación del nivel del mar y el aumento en la intensidad de eventos meteorológicos extremos (*e.g.* sequías, ondas de calor, huracanes, lluvias torrenciales, etc.). Así entonces, el OET cobra importancia como instrumento de planificación territorial.

Estado del arte

Para analizar los municipios costeros se utilizó la zonificación de los mares y costas mexicanos diseñada por Escofet (2004) y que a su vez ha sido propuesta por Espejel y Arredondo (2008) para utilizarse en los ordenamientos regionales de la zona costera o de mesoescala. Las Unidades Costeras Homogéneas (UCH) tienen un componente biofísico marino que corresponde a los cinco grandes ecosistemas marinos de México: Corriente de California, Pacífico costero de Centroamérica, Golfo de California, Golfo de México, Mar Caribe y, de otro componente biofísico terrestre que corresponde a las siete regiones hipsográficas costeras: Sierras Peninsulares de Baja California, Llanuras Costeras de Vizcaíno-Magdalena, Llanura Costera Oriental del Golfo de California, Sierra Madre del Sur, Istmo de Tehuantepec-Sierra Madre de Chiapas, Llanura Costera del Golfo de México y Península de Yucatán (con drenaje superficial), Lla-

nura Costera del Golfo de México y Península de Yucatán (sin drenaje superficial). Los seis municipios de la península de Baja California que tienen litoral en ambos Pacífico y Golfo de California fueron divididos en dos, acorde con el límite de las regiones hipsográficas (figura 1).

Los usos de los espacios costeros en México

El uso de la zona costera en México ha obedecido a situaciones circunstanciales en su devenir histórico, más que a una planeación integral orientada al beneficio a largo plazo (León, 2004). Actualmente la distribución del uso del suelo costero cobra importancia porque la población se mueve hacia el mar (Gutiérrez de MacGregor y González Sánchez, 1999; León, 2004; Azuz y Rivera, 2010).

Hoy en día, en la costa se realizan diversas actividades económicas en un gradiente de intensidad de usos que va desde la explotación de recursos no renovables hasta el no uso, pasando por diversos grados de aprovechamiento y conservación. Entre los principales se encuentran la extracción de petróleo y gas, principal fuente de divisas para el país, otras minerías como la ex-

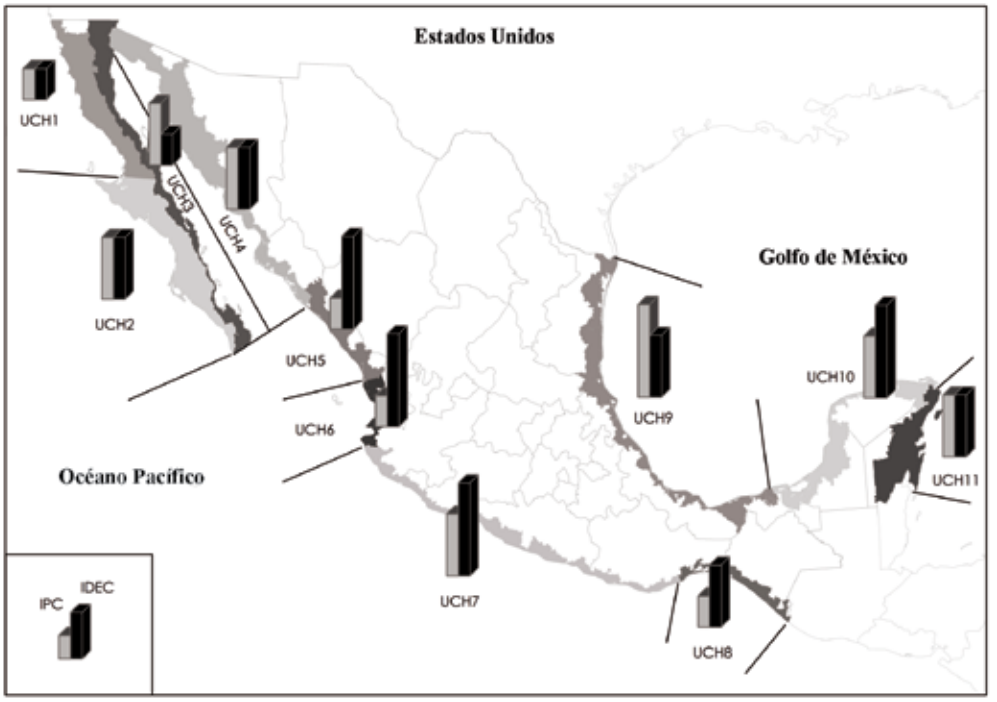

Figura 1. Mapa de de Unidades Costeras Homogéneas (UCH) que muestra las dos visiones para analizar la vulnerabilidad de la costa mexicana. Un índice que expresa la diversificación de las actividades económicas costeras (IDEC) y otro que refleja la peligrosidad costera (IPC).

tracción de arena y pétreos, el turismo en varias modalidades (desde turismo de aventura hasta zonas urbanas habitacionales de turismo masivo), la agricultura y la ganadería con diversidad de tipos de pastoreo y cultivos de riego y temporal, el transporte marítimo y el comercio asociados a grandes obras de infraestructura urbana terrestre y marina, la pesca y la acuacultura.

Según datos el Banco de México, las actividades que participaron en la economía nacional en el 2003 son las actividades terciarias, el comercio y todos los servicios, que generaron el 72%, las del sector secundario, en su más amplia concepción, el 25.1% y las primarias tan sólo el 5.7%. Todos estos usos han consumido grandes porciones de ecosistemas costeros con vegetación costera que fungen o fungían como agentes protectores de la costa (Seingier, 2009).

Las condiciones políticas, económicas, sociales y geográficas bajo las cuales se han originado y desarrollado cada uno de los usos del suelo costero han sido diferentes, lo cual ha dificultado contar con una planeación a largo plazo que asegure la sustentabilidad de las mismas. Sin embargo, es innegable que estas actividades han servido de apalancamiento en el desarrollo económico de México. Por ejemplo, con datos del censo económico de INEGI en 2005, la participación de los estados costeros al producto interno bruto nacional durante el periodo 1993-2004 fue de 36%, 23% en la costa Pacífico y 13% en la costa del Golfo de México. Con un aumento porcentual de 0.5% observado en los estados costeros fronterizos en el norte, Baja California y Tamaulipas, y de 0.25% en la frontera sur en Quintana Roo.

En la tabla 1 y figura 1, la descripción de las UCH muestra una costa mexicana heterogénea, cuando unas son complejas por agrupar 41 municipios otras constan de tres solamente; unas UCH cuentan con extensos litorales, otras no tanto; mientras unas están muy pobladas (4, 7 y 9), otras están casi despobladas; cuando unos conjuntos de municipios están muy marginados, otros pocos, son de los menos marginados del país, no sólo de la costa (León, 2004); pero empieza a ser una proporción considerable de la población mexicana la que vive en la costa con respecto a todo el país (16% en el 2000).

Índice de Diversidad de Actividades Económicas (IDEC)

Para construir el índice de diversidad de actividades económicas, se utilizaron los censos económicos del 2005 del INEGI y se seleccionaron las variables que se refieren a la población ocupada en diferentes actividades, en este caso básicamente hay personas que usan el mar y están empleadas en la pesca y acuacultura, mientras que las personas que trabajan en la tierra están ocupadas en hoteles (indicador de turismo) y en la minería (se refiere fundamentalmente a actividades petroleras). Asimismo, se agregó un indicador que reflejara el uso agropecuario al calcular la superficie cultivada por habitante del municipio. Otro aspecto importante debía reflejar la importancia de los puertos, por lo que se agregó como indicador la tasa de crecimiento en 10 años de la carga total de los puertos. Todos los datos se normalizaron y se sumaron sin ponderarlos. En la tabla 2 se muestra cada indicador del índice de diversificación económica costera, ordenado por importancia. Hay UCH especializadas, es decir con una mayor proporción de personas ocupadas en un sólo sector, por ejemplo la UCH 1 es básicamente portuaria

Tabla 1. Datos de la población en los municipios de cada Unidad Costera Homogénea (UCH) según el censo de INEGI de 2000.

Unidad costera homogénea (UCH)	Número de municipios	Superficie total en km²	Longitud (km)	Número de localidades	Número de habitantes	% de la población total	% de los población total del país (97.5 millones)	Índice de marginación promedio
1 (BC)	3	43 049	800	1 901	1 640 170	11	2	-0.4813
2 (BCS)	5	54 765	1700	1 615	106 600	1	0	-0.0835
3 (BC,BCS)	7	41 002	1600	2 824	1 081 724	7	1	-0.5136
4 (SON)	17	80 310	1500	5 799	2 416 431	16	2	-0.2916
5 (SIN)	8	21 626	400	2 541	1 377 868	9	1	-0.1014
6 (NAY,JAL)	6	7 450	300	923	520 554	3	1	-0.2520
7 (COL, MICH, GRO, OAX)	35	33 789	1300	4 721	2 008 426	13	2	0.2528
8 (OAX,CHIS)	20	13 038	500	4 249	908 248	6	1	0.0849
9 (TAMS,VER, TAB)	41	46 749	1400	10 212	3 944 909	25	4	-0.0815
10 (CAM, YUC)	22	35 014	900	2 794	751 053	5	1	-0.0243
11 (QROO)	5	33 781	800	1 785	812 245	5	1	-0.0386
Total	169	410 572		39 364	15 568 228	100	16	

en cambio la UCH 10 es pesquera, petrolera y portuaria (por Cd. del Carmen, en Campeche y Pto. Progreso en Yucatán) y la UCH 7 también es diversa en cuantos a proporción de personas ocupadas ya que tiene casi todos los usos en los primeros lugares y cuenta con la mayor proporción de superficie cultivada por habitante (Delgado-González, 2010).

Índice de Peligrosidad Costera (IPC)

Los indicadores de la tabla 3 se normalizaron y sumaron sin ponderarlos para obtener el Índice de Peligrosidad Costera, entre mayor sea su valor, mayor será el grado de peligro, es decir la clase 3 de la figura 1 y tabla 4. Los datos provienen de Seingier (2009). Es claro que hay UCH con un IPC mayor ante eventos de cambio climático que otras. En la figura 1 es patente que la UCH donde hay más eventos meteorológicos extraordinarios y una longitud de costa con bahías y lagunas costeras, el IPC es mayor, como por ejemplo, la UCH 9 donde vive el 25% de la población costera (3 944 909 habitantes en 10 212 localidades (tabla 1). Asimismo, hay UCH casi sin peligrosidad costera como son las UCH 1,5, 6 y 8 que corresponden a 3 243 km de longitud de costa de 37 municipios. Es importante mencionar que 6 de las 11 UCH tienen un IPC medio, casi la mitad de ellas y que comprenden 124 municipios costeros donde vive casi la mitad de la población costera de México (47%).

Para analizar la peligrosidad y la vulnerabilidad juntas se construyó la tabla 4 donde se ordenan los pares de datos normalizados priorizando al IPC.

Tabla 2. Unidades costeras homogéneas UCH ordenadas por cada indicador que forma el Índice de Diversificación del Desarrollo Económico Costero.

UCH	Porcentaje de población empleados en pesca	UCH	Porcentaje de población empleados en acuicultura	UCH	Porcentaje de población empleados en hoteles (turismo)	UCH	Porcentaje de población empleados en minería (básicamente petrolero)	UCH	Porcentaje de superficie cultivada por habitante (indicador de desarrollo agropecuario)	UCH	Tasa de crecimiento (1995/2005)de la carga total en puertos
10	2.31	6	0.28	6	2.92	10	1.89	7	0.70	10	8.2
8	1.43	4	0.26	11	2.84	9	0.39	4	0.43	5	6.9
7	1.25	5	0.19	2	2.30	7	0.11	6	0.42	7	5.8
2	1.14	10	0.05	7	1.14	3	0.11	5	0.36	9	3.9
6	1.04	7	0.05	5	0.53	11	0.08	8	0.25	2	3.2
4	0.96	8	0.03	10	0.39	8	0.07	10	0.22	11	3.2
5	0.92	1	0.02	3	0.36	4	0.05	9	0.15	1	2.5
9	0.75	3	0.02	1	0.26	5	0.04	3	0.13	8	0.1
3	0.40	9	0.01	9	0.26	2	0.03	2	0.12	4	-0.3
1	0.18	2	0.01	4	0.22	6	0.02	11	0.11	3	-2.1
11	0.09	11	0.00	8	0.15	1	0.01	1	0.02	6	0

Tabla 3. Indicadores para construir el Índice de Peligrosidad Costera asociado a las UCH mostradas en el mapa de la figura 1.

UCH	Línea de costa (km)	De planicie costera (km²)	Número de bahías y lagunas costeras	Número de eventos meteorológicos extremos ponderados por tipo
1 (BC)	1 114	8 311	15	2
2 (BCS)	3 287	33 929	14	0
3 (BC,BCS)	1 928	20 385	31	177
4 (SON)	3 609	51 763	23	149
5 (SIN)	655	13 340	10	60
6 (NAY,JAL)	443	5 665	6	53
7 (COL,MICH, GRO, OAX)	1 731	16 800	34	232
8 (OAX,CHIS)	1 031	9 514	8	52
9 (TAMS,VER,TAB)	3 614	47 619	35	467
10 (CAM, YUC)	2 268	35 015	14	393
11 (QROO)	1 160	33 778	8	270

Lecciones aprendidas

Ante la situación actual de los cinco usos de suelo costero descritos en la tabla 2 y la peligrosidad (tabla 3) que se proyecta con modificaciones en la columna de eventos meteorológicos extremos ante los escenarios de cambio climático, es inminente que la vulnerabilidad de la población con empleo (figura 1) y la infraestructura costera que propicia esos empleos, también estará aumentando. Más que nunca es urgente incorporar el concepto de riesgo (función de la peligrosidad y la vulnerabilidad) en OET.

Las tendencias del uso de suelo, deterioro de las barreras naturales que amortiguan los impactos de las mareas de tormenta, los vientos asociados a huracanes, y la propia erosión de las costas (dunas, arrecifes, manglares entre otros) representan un reto del manejo y conservación del territorio y de los ecosistemas en general. Ante los distintos escenarios del cambio climático (incluso los más optimistas) y el desmantelamiento que se está dando de los atributos de la zona costera (pérdida de los servicios ambientales como mencionan Ezcurra *et al.*, 2009) hará que los impactos sean mucho más costosos,

La sugerencia principal de este trabajo es que tanto el ordenamiento ecológico (más asociado a las zonas rurales) como el territorial (más asociado a las zonas urbanas) consideren la peligrosidad de su territorio como parte de la información básica al empezar un proceso de OET. Es decir, junto con carreteras, curvas de nivel y uso actual de suelo, es necesario plasmar los sitios que ofrecen algún peligro para el desarrollo como son zonas naturalmente inundables, vegetación que se incendia, montañas y cerros donde hay sismos y deslaves, etc. Si desde el inicio se considera la peligrosidad del territorio, ésta será una condicionante para el desarro-

Tabla 4. Clases de riesgo, una función de la peligrosidad costera y la vulnerabilidad del personal ocupado en actividades económicas costeras (ver tabla 2).

UCH	Índice de peligrosidad costera (IPC)	Índice de diversificación económica costera (IDEC) (Vulnerabilidad)	Seis clases de riesgo (ordenadas de mayor a menor) por la combinación de la peligrosidad y la vulnerabilidad al personal ocupado en actividades económicas costeras
9	3	2	1. Segundo lugar en personas ocupadas en actividades mineras y cuarto lugar en tasa de crecimiento de carga portuaria
7	2	3	2. Las UCH más diversificadas, UCH 10 primer lugar en empleados en la pesca, las actividades mineras, y crecimiento de sus puertos. La UCH 7 primer lugar en superficie cultivada por habitante, y tercer lugar en personas empleadas en la pesca, las actividades petroleras y crecimiento de sus puertos; cuarto lugar en personas empleadas en turismo y quinto en empleados en acuicultura
10	2	3	
2	2	2	3. UCH 11 segundo lugar en personas empleadas en turismo, UCH 4 segundo lugar en empleados en acuicultura y superficie cultivada por habitante. UCH 2 cuarto lugar en el indicador de pesca.
4	2	2	
11	2	2	
3	2	1	4. Últimos lugares en casi todas las actividades excepto que es tercer lugar en actividades mineras
5	1	3	5. UCH 6 es primer lugar en indicador de acuicultura y turismo, UCH 5 es segundo lugar en crecimiento de puertos, tercer lugar en acuicultura y ambas son tercer y cuarto lugar en superficie cultivada por habitante
6	1	3	
8	1	2	6. Sólo la UCH tiene un segundo lugar en el indicador de pesca, el resto de ambas UCH está en los valores medios y bajos.
1	1	1	

llo, es decir se podrá condicionar, restringir o aun negar la construcción de un proyecto. De hecho, como dice Espejel (2009) el sólo hecho de informar a los participantes en el proceso de ordenamiento ecológico, permite la educación ambiental y se logran tomar decisiones bien informadas y sabiendo las consecuencias de las mismas. Y, por otro lado, ante el avance de los costos de recuperación (nuevas primas de las aseguradoras) y el replanteamiento de los fondos para atender los desastres (*e.g.* FONDEN), los esquemas de protección civil están requiriendo fuentes de información para la reubicación de la población, nuevas normas de construcción y asentamientos (no dotar de servicios a zonas de alto riesgo), ahí el OET que maneje y distinga estas variables claramente, tendrán interlocutores con potencial de ejecución para reordenar también los usos del territorio.

Recomendaciones

El análisis de varios ordenamientos ecológicos realizados hasta el presente, muestran que por regla general en la etapa de caracterización y diagnóstico se incluyen análisis de peligros (León *et al*., 2009). No obstante, la referida información deja de ser utilizada como un indicador importante en los mapas de aptitud sectoriales, ya que para este tipo de mapas resulta una información complementaria. Es por ello que tanto en relación con los conflictos, como en la delimitación de las áreas a preservar, conservar, proteger, restaurar es donde se puede introducir el tema de los peligros y riesgos naturales. En escalas más finas que la de este trabajo, se propone contraponer la política asignada a la unidad ambiental con la peligrosidad, así aunque la política sea aprovechamiento en una unidad que todavía no se utiliza, si la peligrosidad es muy alta, se convierte automáticamente en protección y si ya está poblada o hay infraestructura, se condiciona el aprovechamiento a diversas maneras de contrarrestar el peligro, con el objeto de crecer y evitar la construcción de una situación riesgosa y que se ejemplifica en León *et al*. (2009) y en el siguiente capítulo.

Una revisión de los OET decretados por la Semarnat hasta mayo de 2010 (anexo) sirve para confirmar la idea de la necesidad y simultáneamente el potencial de influir positivamente en una gran proporción del país, pero sobretodo donde se requiere incluir y rescatar las variables del peligro: es importante poner límites de crecimiento donde ya hay riesgo, y especialmente, modificar las estrategias ante la nueva peligrosidad asociada al cambio climático en la zona costera.

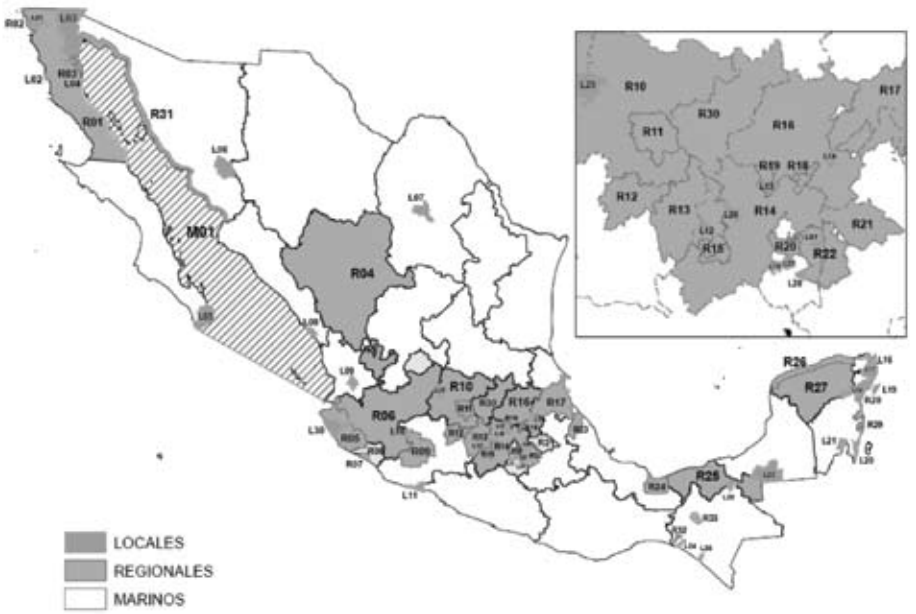

Figura 2. Ordenamientos ecológicos decretados hasta mayo de 2010. Tomado de INE-Semarnat. http://semarnat.gob.mx/queessemarnat/politica_ambiental/ordenamoientosecologicos/Documents/documentos%20ordenamiento/decretados_20100502.pdf

Literatura citada

Azuz, I., y E. Rivera-Arriaga, 2010. Descripción de la dinámica poblacional en la zona costera mexicana durante el periodo 2000-2005. *Papeles de Población*, 15(62):75-107.

Delgado, O., 2010.Desarrollo y aplicación de una herramienta de gestión para el aprovechamiento acuícola en Bahía San Quintín, Baja California. Tesis de doctorado. Laboratorio de Ingeniería Marítima. Universidad Politécnica de Cataluña. 182 p

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.

EPA, 1989. The Potential Effects of Global Climate Change on the United States. Report to Congress US Environmental Protection Agency. EPA 230-05-89-052.

Espejel, I., 2009. Ordenamiento ecológico y educación. V Congreso Internacional de Ordenamiento Ecológico y territorial. Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sustentable: de la teoría a la práctica. Morelia, Michoacán, 24 al 28 de noviembre de 2009.

Ezcurra, E., O. Aburto, y L. Rosenzweig, 2009. Los riñones del mundo: ¿por qué debemos proteger los manglares de México? *Investigación ambiental,* 1 (2): 202-206

FEMA, 2000. Evaluation of erosion hazards. http://www.heinzctr.org/publications/PDF/erosnrpt.pdf

FEMA, 1991. Projected Impact of Relative Sea Level Rise on the National Flood Insurance Program. 70 p.

Gutiérrez de MacGregor, M.T. y J. González Sánchez, 1999. Las costas mexicanas y su crecimiento urbano. *Investigaciones Geográficas*, 40: 110-126.

IPCC, 2007. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. *In:* Parry, Martin L., Canziani, Osvaldo F., Palutikof, Jean P., van der Linden, J. Paul, and Hanson, E. Clair (eds.) Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 1000 p.

León C., 2004. Piezas de un rompecabezas: dimensión socioeconómica de las costas de México. p. 5-26. En: Arriaga E, Azuz I, Villalobos G. El Manejo Costero en México. Universidad Autónoma de Campeche. 654 p.

León C., M.A. Ortíz, J. Sosa, I. Espejel, V. Palacios y C. Nieves, 2009. Guía técnica para la incorporación del análisis de riesgo en los ordenamientos ecológicos municipales y regionales. Informe técnico final. Instituto Nacional de Ecología. Semarnat.

Seingier, G., 2009. Desarrollo sustentable de las costas mexicanas: escenario de evaluación y monitoreo". Tesis de Doctorado en Medio Ambiente y Desarrollo. IIO-FCM-FC. UABC.

Titus, J., 1998. Rising seas, coastal erosion, and the takings clause: How to save wetlands and beaches without hurting property owners. *Maryland Law Review*, 57(4):1279-1399.

Anexo

Ordenamientos ecológicos decretados hasta Mayo de 2010. Tomado de: INE-Semarnat.		
Regionales		
R01. Estatal de Baja California.	R12. Lago de Cuitzeo, Mich.	R23.Cuenca del Río Bobos, Ver.
R02. Corredor Costero Tijuana Ensenada, B.C.	R13. Mariposa Monarca, Mich.	R24. Cuenca del Río Coatzacoalcos, Ver.
R03. San Felipe -Puertecitos, B.C.	R14. Estado de México.	R25. Estatal de Tabasco.
R04. Estatal de Durango.	R15. Valle de Bravo –Amanalco, Mex.	R26. Costero de Yucatán, Yuc.
R05. Costa de Jalisco, Jal.	R16. Estatal de Hidalgo.	R27. Estatal de Yucatán.
R06. Estatal de Jalisco.	R17. Cuenca del Río Tuxpan, Ver.	R28. Corredor Cancún -Tulum, Q.Roo.
R07. Laguna de Cuyutlán, Col	R18. Valle de Pachuca –Tizayuca, Hgo.	R29. Sian Ka'an, Q.Roo.
R08. Estatal de Colima.	R19. Tula –Tepeji, Hgo.	R30. Estatal de Querétaro.
R09. Cuenca del Río Tepalcatepec, Mich.	R20. Zona Rural del D.F.	R31. Costa de Sonora, Son
R10. Estatal de Guanajuato.	R21. Estatal de Tlaxcala.	R32.Cuenca del Río Lagartero, Chis.
R11. Región Laja –Bajío, Gto.	R22. Volcán Popocatépetl.	R33.Cuenca del Río Sabinal, Chis.
Locales		
L01 Valle de Guadalupe, B.C	L12. Municipal de Villa de Allende, Mex.	L23. Playas de Catazajá, Chis.
L02. San Quintín, B.C.	L13 Municipal de Cuernavaca, Mor.	L24. Subcuencadel Río Zanatenco, Chis.
L03. Municipal de Mexicali, B.C.	L14. Municipal de Huasca, Hgo.	L25. Cuenca del Río Coapa, Chis.
L04. San Felipe Puertecitos -Paralelo 28, B.C.	L15. Municipal de Tepeji, Hgo.	L26. Municipal de Ixtlahuaca, Mex.
L05. Municipal de Los Cabos, B.C.S.	L16. Municipal de Isla Mujeres, Q.Roo.	L27. Municipal de Tepoztlán, Mor.
L06 Municipal de Rosario, Son.	L17. Municipal de Benito Juárez, Q.Roo.	L28. Municipal de Cuautla, Mor
L07. Cuatrociénegas, Coah.	L18. Municipal de Solidaridad, Q.Roo.	L29. Municipal de León, Gto.
L08. Zona costera de El Rosario, Sin.	L19. Isla de Cozumel, Q.Roo.	L30.Municipal de Tomatlán, Jal.
L09. Municipal de Santa María del Oro, Nay.	L20. Costa Maya, Q.Roo.	L31.Municipal de Tlalmanalco, Edo. de Méx.
L10. Municipal de Cotija, Mich.	L21. Laguna de Bacalar, Q. Roo.	
L11. Lázaro Cárdenas, Mich.	L22. Municipal de Candelaria, Camp.	
Marino		
M01. Golfo de California.		

Espejel, I., V. Palacios-Chávez, C. León, C. Nieves y A. García-Gastelum, 2010. El imperativo de la incorporación del riesgo en la planeación y gestión de nuevas ciudades, un ejercicio analítico para un puerto por nacer, p. 545-558. 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.

El imperativo de la incorporación del riesgo en la planeación y gestión de nuevas ciudades, un ejercicio analítico para un puerto por nacer

Ileana Espejel, Verónica Palacios-Chávez, Cuauhtémoc León, Carolina Nieves y Alejandro García-Gastelum

Resumen

Ante escenarios de cambio climático, más que nunca, es importante incorporar el peligro como un insumo fundamental en los mapas iniciales que se hacen para los planes de desarrollo regional y ordenamientos ecológicos y territoriales del país. Los resultados de un ejercicio de análisis de la vulnerabilidad socioambiental (VS) y el riesgo en un sitio donde se planea una nueva ciudad portuaria, ejemplifican que las lecciones que ha dejado el construir junto a lechos de arroyos, en pendientes altas de suelos que se deslavan, sobre matorrales que se incendian y sobre diversidad cultural y biológica, no han sido aprendidas. Se encontró que los porcentajes de variación de ambos escenarios analizados, es decir, sin y con ciudad portuaria, es de 12.2 % en las clases Muy Alta y Alta VS. Uno esperaría que la construcción de infraestructura portuaria y urbana en arroyos aumentara considerablemente la vulnerabilidad, sin embargo actualmente ya es suficientemente vulnerable porque en los arroyos se localizan campos de cultivo y asentamientos humanos. También uno esperaría que el diseño de una nueva ciudad e infraestructura portuaria consideraría no aumentar el riesgo, sin embargo no es así. Para esto, se propone un esquema de incorporación de la peligrosidad de una unidad ambiental como condicionante de las políticas de los ordenamientos ecológicos.

Introducción

Recientemente se ha dado un impulso al desarrollo urbano-turístico en la zona costera árida y semiárida del noroeste del país. Hoy simplemente por los costos asociados a los eventos extremos construir bajo el concepto de desarrollo sustentable considerando los escenarios bajo el cambio climático, se vuelve un imperativo. Si bajo las tendencias y fragilidad de los ecosistemas normales se requerían planes de ordenamiento ecológico territorial para evitar la construcción en zonas de riesgo que pongan en peligro a los habitantes y visitantes de las costas, hoy con los registros de aumento del nivel del mar y el aumento de eventos extremos es impensable no obligar esta perspectiva e instrumentos de planeación. Los problemas de un desarrollo anárquico como ha sido en otras zonas costeras de México, por ejemplo Cancún, son sumamente costosas (http://www.presidencia.gob.mx/programas/gobernabilidad/?contenido=34624) y principalmente son subsidiadas vía los impuestos y deuda de todos los ciudadanos mexicanos.

Aunque Baja California cuenta con un historial de buenos planes de ordenamiento territorial (Azuela *et al*., 2006), en tanto estudios y propuestas, en el municipio de Ensenada, no se ha cumplido (ejercido, obedecido o sancionada) dicha normatividad. Al conceder usos de suelo conflictivos entre si, están provocando un aumento de zonas de riesgo; en el ámbito ecológico su resiliencia en el largo plazo y vulnerando la capacidad de amortiguar los peligros, y en el ámbito social hacen y harán a la población y sus visitantes más vulnerables a perder sus bienes, su salud y hasta sus vidas. Por ejemplo el incumplimiento de la ley (Ordenamiento Ecológico denominado COCOTREN) está provocando la pérdida de ecosistemas y tipos de vegetación únicos en México, con una gran cantidad de especies raras y endémicas (Leyva *et al*., 2006) y de suma importancia ecológica como el matorral rosetófilo costero. Esto puede acelerar la disminución y en algunos casos la extinción de especies endémicas de uno de los cinco paisajes tipo mediterráneo del mundo (Dallman, 1998).

En las actividades de planeación de los recursos, es necesario considerar la resolución de conflictos entre los diversos usos de los recursos, y el intento de determinar la combinación óptima de usos a lo largo del tiempo, reconociendo su naturaleza dinámica y la demanda sobre ellos (Fermán-Almada *et al*., 2006).

México cuenta con varios instrumentos de política ambiental (primordialmente de comando y control) que regulan las actividades y el aprovechamiento de los recursos naturales formalmente la visión de desarrollo sustentable está reflejada en su marco jurídico (Espejel, 2001): de acuerdo a la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente el Ordenamiento Ecológico del Territorio (OET) se define como: "*el instrumento de política ambiental cuyo objeto es regular o inducir el uso del suelo y las actividades productivas, con el fin de lograr la protección del medio ambiente y la preservación y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, a partir del análisis de las tendencias de deterioro y las potencialidades de aprovechamiento de los mismos*" (DOF, 2007).

Al sur del municipio de Ensenada en el estado de Baja California, se encuentra la localidad de Punta Colonet (figura 1). Ahí se pretende desarrollar un puerto marítimo, una terminal especializada de contenedores y el establecimiento de una vía ferroviaria además de la creación

Figura 1. Área de Estudio donde se proyecta una nueva ciudad portuaria: Punta Colonet, Baja California, Mexico.

de servicios e infraestructura que demanda una ciudad producto de un desarrollo tales como la creación de viviendas, zonas industriales, comerciales y servicios. Es en esta zona de nuevo crecimiento en la que se presenta la oportunidad de una planeación (partiendo de cero, en tanto a ciudad se refiere) en donde no sólo las actividades de los diferentes sectores pueden ser ordenadas de acuerdo a las aptitudes del suelo, sino además, donde sin delación se pueda incluir los distintos componentes de riesgo.

Métodos

Este trabajo muestra un ejercicio de planeación utilizando como plataforma analítica el ordenamiento territorial, que por ser un instrumento de gestión reconocido en la ley, permitiría ser aplicado sin problema. En esta propuesta, se incluyó la dimensión del riesgo utilizando un Índice de Vulnerabilidad Socio-Ambiental en las unidades ambientales (figura 2) bajo dos escenarios distintos:

a) En el primer escenario (escenario a, sin ciudad portuaria) el ejercicio se llevó a cabo con el estado actual de uso de suelo, básicamente agrícola.

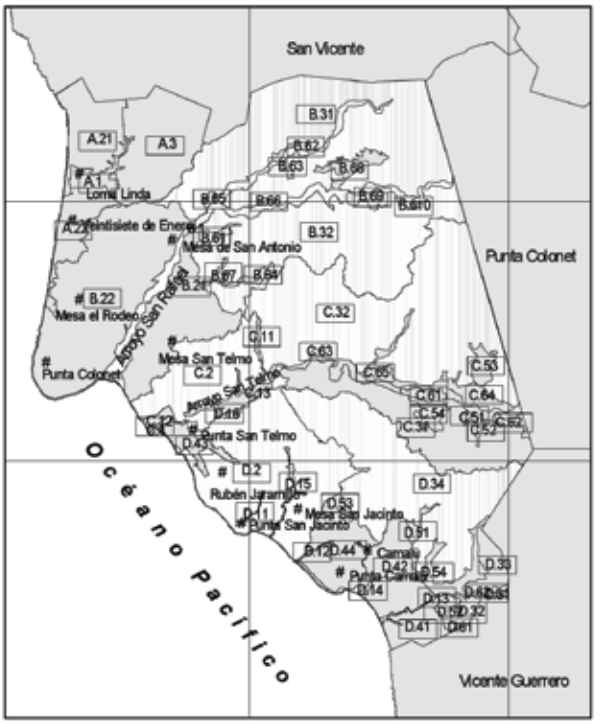

Figura 2. Unidades ambientales del área de estudio donde se proyecta una nueva ciudad portuaria.

b) En el segundo escenario (escenario b, con ciudad portuaria), se hizo una proyección de los posibles cambios de uso de suelo que se darían con la implementación del proyecto (figura 3).

El Índice de Vulnerabilidad Socio Ambiental está constituido por el Índice de Vulnerabilidad Natura (IVN) y el índice de Vulnerabilidad Social (IVS), donde:

$$IVN = \Sigma(IVEG + IARQ + Ri + Rs + Rg)$$

Índice de Vegetación (IVEG)= Σ(% Matorral Costero + % Vegetación Riparia (2) + % Dunas (2)+% Chaparral + % Charcas Vernales (2).

Índice Arqueológico (IARQ)= Número de Sitios Arqueológicos por unidad / Total de números de Sitios Arqueológicos.

Riesgo a Inundación (Ri): Número de escurrimientos/Área total de la unidad

Riesgo a Sismo (Rs): Presencia ausencia de fallas por unidad ambiental

Riesgo por Geoformas (Rg) = Dunas (5) + Cantiles (1) + Cauce (5) + Llanura Costera (5) + Lomerio (1) + Meseta (3).

$$IVS = \Sigma(IP + IU + IDP)$$

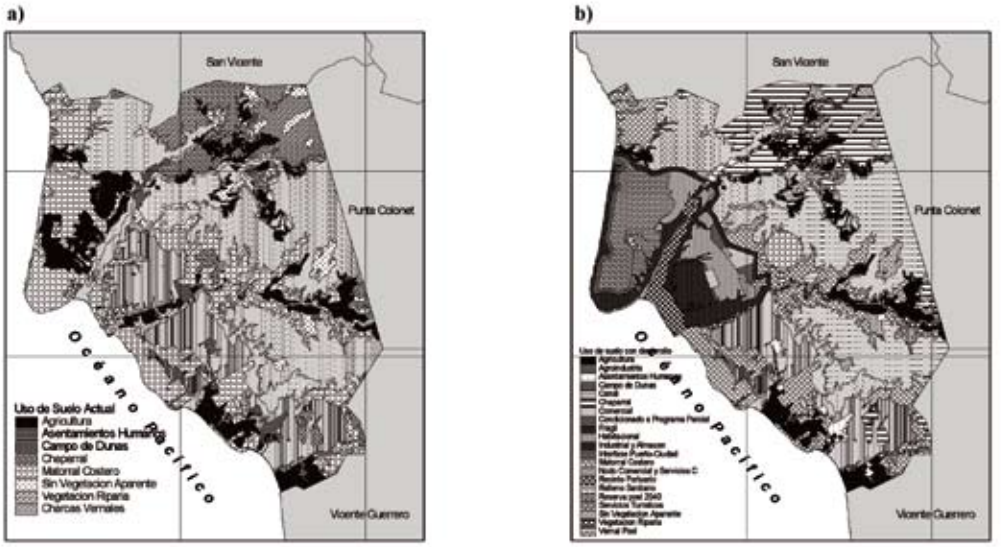

Figura 3. a) Escenario sin ciudad portuaria; b) Escenario con ciudad portuaria.

Índice de Población (IP)=Densidad Poblacional 2000-2005 + Tasa de cambio 2000-2005[1].

Índice de Cambio de Uso de Suelo (IU)= Σ (Cambio en el uso de suelo 2001-2006) (Uso 2006) (ponderador a cada uso transformado[2]).

Indice de Pendiente y Población cercana a arroyos (IDP)=(Población en pendiente mayor al 30%+Población cercana a arroyos)

Los valores obtenidos de los índices se normalizaron por la formula de (Nijkamp y Rietveld, 1990):

$$Bj = \frac{(Xj - \min Xj)}{(\max Xj - \min Xj)}$$

Donde:

Bj=Valor del dato estandarizado Max Xj=Valor Máximo de los datos .

Xj=Valor del dato a estandarizar Min Xj=Valor Mínimo de los datos.

Una vez normalizados los valores de los índices se obtuvieron cinco clases por el método de inflexión de la curva ya que los valores no tenían distribuciones normales.

[1]Estos parámetros se modificaron en el segundo escenario (tendencial) aumentando 100 000 habitantes

[2] Urbano=3, Agricultura=2 y Sin Vegetación Aparente=1 los valores asignados para cada uso están en función del grado de transformación, urbano presenta el máximo valor debido a que la recuperación del paisaje natural anterior a su transformación en la mayoría de los casos es irreversible, en cambio las zonas utilizadas para agricultura y aquellas marcadas como sin vegetación aparente tienen mayores posibilidades de recuperar su estado natural

A partir de la Vulnerabilidad Socio-Ambiental estimada se proponen las características que el territorio debería mantener para contrarrestar al máximo los peligros y enfrentar la vulnerabilidad, para ello se determinaron las siguientes correspondencias entre factores del territorio (usos de suelo, peligros y variables socioeconómicas estimadas por los índices) y las políticas ambientales asignadas por el OET (tabla 1).

Resultados

Los resultados esperados sobre el aumento del riesgo antes y después de la construcción de una nueva ciudad portuaria resultan interesantes porque no aumenta en términos de superficie, más de lo que ya ocurre y más bien se relocaliza el riesgo potencial por los usos de suelo planeados. En la tabla 2 se presentan los porcentajes de variación de ambos escenarios analizados. La diferencia entre el escenario sin y con ciudad portuaria es de 12.2 % en las clases Muy Alta y Alta. Uno esperaría que la construcción de infraestructura portuaria y urbana en arroyos aumentara considerablemente la vulnerabilidad, sin embargo actualmente ya es suficientemente vulnerable porque en los arroyos se localizan campos de cultivo y asentamientos humanos. De hecho, en la temporada de lluvias de 2010, que fueron extraordinarias por ser año *Niño*, los arroyos San Telmo y San Rafael aumentaron su cauce de tal manera que ocasionaron desastres que provocaron la pérdida de vidas humanas, cultivos y bienes materiales.

En este ejercicio se puede resaltar la variación espacial pero no la intensidad o magnitud entre ambos escenarios (figura 4). Por ejemplo, en el escenario sin ciudad portuaria, puede observarse que en las unidades C.2, D.2 y B.21 (figuras 2 y 4) la vulnerabilidad socioambiental más alta se presenta en la zona de Mesa San Telmo, Punta San Telmo y Rubén Jaramillo (en negro en la figura 4a), actualmente en esta zona se encuentran los principales asentamientos humanos y que en realidad ahora tienen muy poca población, pero vulnerable a inundaciones, tanto que en el último evento de lluvias extremas en 2010, se perdieron cosechas y viviendas. Si estas unidades van a ser sustituidas por infraestructura portuaria, en el futuro el riesgo espacialmente no es mayor, pero será económicamente más grande el daño y si se plantean asentamientos humanos cerca de la infraestructura portuaria, aumentaría la riesgo de los pobladores.

Las unidades donde están las localidades de Punta Colonet y Mesa de San Antonio y unidades al norte de ellas tienen Alto IVS (figura 3a punteado oscuro y figura 4 unidades D.42, A.3, A.1, B.1, B.31, B.69, B.32, A.21, A.22 y B.22). Es importante mencionar que los elementos que hacen vulnerables a estas unidades es la presencia de características físicas como la pendiente, la tasa de cambio de uso de suelo alta, la existencia de sitios su propensión a ser terrenos inundables, el número de escorrentías, la presencia de fallas y la vegetación de matorral costero en muy buen estado de conservación y la presencia de ecosistemas únicos como las charcas temporales y otros ecosistemas considerados frágiles como las dunas costeras (Terra Peninsular, 2009). Por ejemplo la unidad B.21 (Muy Alto IVS) presenta un índice de población mayor al de la unidad B.22 (Alto IVS) que en cambio presenta valor alto por la presencia de sitios arqueológicos y por la tasa de cambio de uso de suelo (Muy alta y Alta respectivamente). Las

Tabla1. Vulnerabilidad Socio-Ambiental asociada a las políticas ambientales de uso en el OET.

Política Ambiental (OET)	Vulnerabilidad Socio-Ambiental Muy Alta	Vulnerabilidad Socio-Ambiental Alta	Vulnerabilidad Socio-Ambiental Media	Vulnerabilidad Socio-Ambiental Baja	Vulnerabilidad Socio-Ambiental Muy Baja
Aprovechamiento con Impulso (se refiere a zonas en las que no existe desarrollo y se pretende transformar).	Negado. Se convierte en protección-conservación. Si hay zonas residenciales se propone reubicación y análisis fino mediante atlas de riesgos urbanos/ municipales.	Altamente Restringido. Condicionado a manejar y disminuir el riesgo en sus planes y proyectos. Generar medidas preventivas y de respuestas de manejo de riesgo (comunicación).	Restringido (permitido) sólo a las áreas menos susceptibles o con menos probabilidad de presentar peligros múltiples.	Condicionado a presentar esquemas de monitoreo constante de la evolución de vulnerabilidad.	Sin restricciones/ condicionantes asociadas al peligro.
Aprovechamiento con Control (Se refiere a zonas en las que ya existe desarrollo pero se requiere delimitarlo.	Negado para residencial-urbano. Condicionado a presentar medidas específicas para evitar, prevenir/ disminuir el riesgo en sus planes y proyectos (usos agrícola-ganadero y forestal). Condicionado a presentar esquemas de monitoreo constante de le evolución de vulnerabilidad. Requiere presentar propuestas institucionales para la mitigación de impactos con fondos gubernamentales o mixtos.	Altamente Restringido. Condicionado a evitar el riesgo en sus planes y proyectos. Generar medidas preventivas y de respuestas de manejo de riesgo (comunicación). Recomendaciones de construcción y normas-ejemplos de actividades productivas e infraestructura. Requiere presentar propuestas institucionales para la mitigación de impactos con fondos gubernamentales o mixtos.	Restringido según el tamaño de la unidad territorial. En grandes unidades territoriales con este nivel de peligro, mayores restricciones de uso.	Condicionado a presentar esquemas de monitoreo constante de la evolución de vulnerabilidad.	Sin restricciones/ condicionantes asociadas al peligro.

Tabla1 (continuación). Vulnerabilidad Socio-Ambiental asociada a las políticas ambientales de uso en el OET.

Política Ambiental (OET)	Vulnerabilidad Socio-Ambiental Muy Alta	Vulnerabilidad Socio-Ambiental Alta	Vulnerabilidad Socio-Ambiental Media	Vulnerabilidad Socio-Ambiental Baja	Vulnerabilidad Socio-Ambiental Muy Baja
Conservación	Condicionado. Requiere incluir/ presentar medidas para evitar el riesgo en sus planes y proyectos particularmente si sus límites colindan o contienen algún tipo de asentamiento. Requiere tener lineamientos para el manejo de riesgos que permitan respuestas muy rápidas. Requiere presentar propuestas institucionales para la mitigación de impactos con fondos gubernamentales o mixtos.			Sin restricciones/ condicionantes asociadas al peligro.	Sin restricciones/ condicionantes asociadas al peligro.
Protección	Requiere incluir/presentar medidas para evitar el riesgo en sus planes y proyectos particularmente si sus límites colindan o contienen algún tipo de asentamiento. Requiere presentar –incluir en los planes de manejo y operación (anual) propuestas institucionales para la mitigación de impactos con fondos gubernamentales o mixtos.	Requiere presentar –incluir en los planes de manejo y operación (anual) propuestas institucionales para la mitigación de impactos con fondos gubernamentales o mixtos.	Requiere presentar –incluir en los planes de manejo esquemas de monitoreo de la evolución de la vulnerabilidad.	Sin restricciones/ condicionantes asociadas al peligro.	Sin restricciones/ condicionantes asociadas al peligro.

Tabla 2. Porcentaje de cobertura de vulnerabilidad socio-ambiental en el área de estudio.

Vulnerabilidad Socio-Ambiental	Escenario a, sin ciudad portuaria (%)	Escenario b, con ciudad portuaria (%)
Muy Alta	16.7	18.3
Alta	44	54.6
Media	33	17
Baja	1.6	5
Muy Baja	3.9	4.3

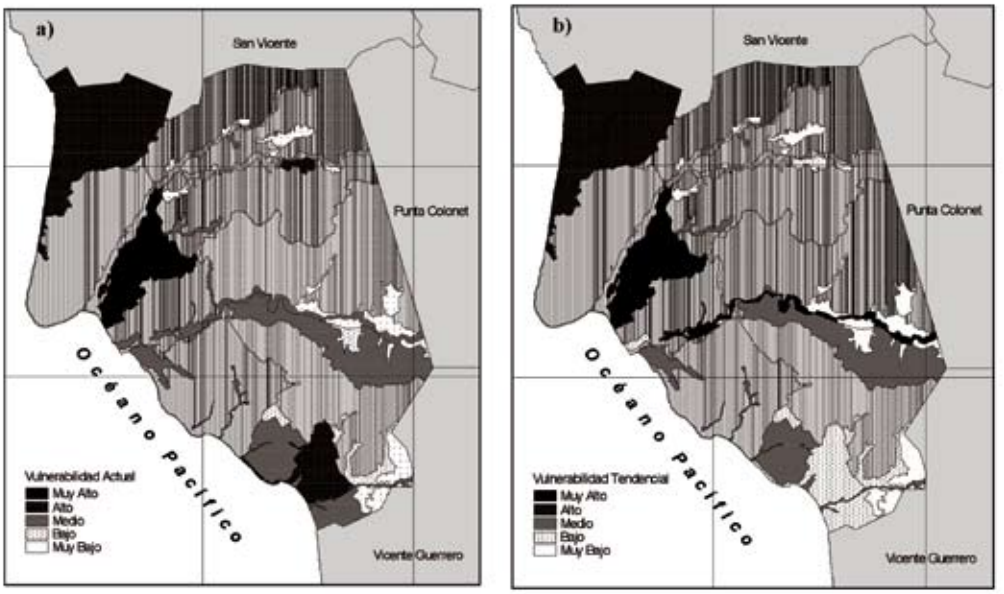

Figura 4. Mapa de Colonet con Índice de Vulnerabilidad Socioambiental
a) izquierda, en el escenario sin ciudad portuaria b) derecha, con ciudad portuaria.

unidades calificadas con IVS Medio (figura 4. Unidades C.31, C.11, C.12, C.13, C.63, C.32, D.41, D.34, D.43, D.11, D.12, D.13, D.14, D.15, D.16, B.63, B.64 Y B.67), Bajo (figura 4. C.51, C.54, D.51, D.53, D.54, D.62, B.65, B.66) y Muy baja (C.51, C.52, C.53, C.61, C.62, C.64, C.65, D.31, D.32, D.33, D.52, D.61, B.61, B.62, B.68, B.610) se muestran en puntos claros en la figura 3a. Estas unidades en su mayoría no presentan fallas geológicas, hay escasa vegetación nativa y no existen sitios arqueológicos.

Para el escenario tendencial con la implementación del proyecto de ciudad (figura 4b), la vulnerabilidad socioambiental más alta (en negro en la figura 4b y figura 5 unidades C.13, C.2, B.21, B.22) se presentó en Punta Colonet y Mesa San Telmo. A lo largo del arroyo San Telmo al

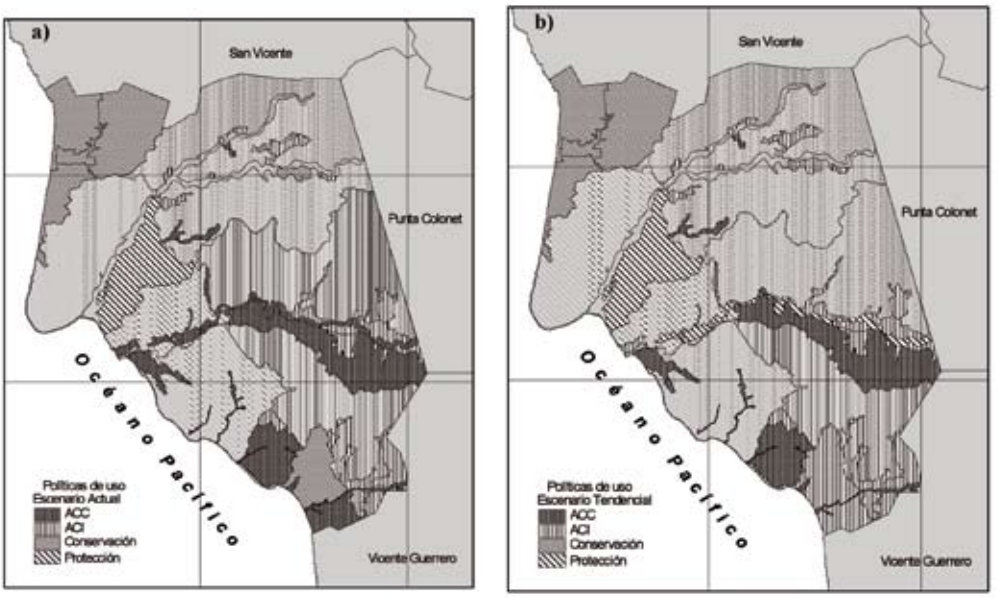

Figura 5. Mapa de Colonet a) con políticas de uso de los escenarios sin ciudad portuaria; b) Políticas de uso en escenarios con ciudad portuaria.

norte de estas zonas se ubicó una alto IVS (figura 4b punteado oscuro y figura 5 Unidades C32, D.2, A.3, A.1, B.1, B.31) además de punta San Telmo y Rubén Jaramillo. Este cambio obedece a que en esta zona se planea el desarrollo de la zona urbana, sorprendentemente la ciudad se proyecta a lo largo del arroyo principal lo cual incrementará el riesgo y por tanto la vulnerabilidad socio-ambiental. Al parecer las lecciones que dejaron los eventos de lluvias extremas de años Niño no han sido aprendidas.

Las unidades con muy alto y alto IVS en su mayoría presentan una alta tasa de cambio de uso de suelo y de población. Esto sucede por la transformación de la zona de Punta Colonet y Mesa San Telmo las cuales con la implementación del nuevo desarrollo cambiarán por completo. La presencia de zonas arqueológicas y la cercanía de poblaciones al arroyo es otro factor que aumenta la alta y muy alta vulnerabilidad socioambiental. Las unidades como B.22 (Muy Alto IVS) presentan un índice de densidad de población alto (relativo a la zona de estudio, ahí se localizan la mayoría de los habitantes) contrario a C.32 que es bajo. En ambas unidades se observó alta tasa de cambio de uso de suelo y es por esto que la unidad B.22 cambia de alto IVS en el escenario actual a Muy alto VS en el escenario tendencial.

La zona al Este y norte de Camalú presentó bajo IVS (figura 4b en puntos claros y figura 5 Unidades C.4, C.11, C.12, D41, D.42, D.16, D.51, D.53, D.54, D.62 y D.69) y muy baja (Figura 3b en puntos claros y figura 4 Unidades C.51, C.52, C.53, C.54, C.61, C.62, C.64, C.65, D.31, D.32, D.33, D.52, D.61, B.61, B.62, B.65, B.66, B.68 y B.610). Estas unidades ambientales, en su mayoría coinciden con las observadas en el escenario actual, los valores obtenidos en los índicadores que conforman el IVS son bajo o medio.

Los valores obtenidos para el IVS en los escenarios con puerto y sin puerto se observan en la tabla 3. En la mayoría de los casos la diferencia entre las clases entre un escenario y otro es de una clase, es decir de bajo paso a medio de alto a muy alto etc. lo anterior puede explicarse por la utilización de características físicas como las fallas o geoformas las cuales entre un escenario y otro no cambian. En cambio un indicador como la tasa de cambio de uso de suelo pueda dar como ya se observo variación entre los escenarios.

Tabla 3. Valor del Índice de Vulnerabilidad Socioambiental (IVS) en dos escenarios: sin ciudad portuaria (valor y clase 1) y escenario con ciudad portuaria (valor y clase 2). Claves de unidades asociadas a mapa de la figura 2, los valores en las figuras 3 y 4, a y b de ambas).

Clave	Valor 1	Clase 1	Valor 2	Clase 2
	Sin ciudad portuaria		Con ciudad portuaria	
C.31	0.257358	Medio	0.206883	Medio
C.4	0.162499	Bajo	0.117206	Bajo
C.11	0.290068	Medio	0.166050	Bajo
C.12	0.331997	Medio	0.184579	Bajo
C.13	0.320825	Medio	0.813940	Muy Alto
C.51	0.008644	Muy Bajo	0.010982	Muy Bajo
C.52	0.002495	Muy Bajo	0.005348	Muy Bajo
C.53	0.004203	Muy Bajo	0.004209	Muy Bajo
C.54	0.101303	Bajo	0.016589	Muy Bajo
C.61	0.002100	Muy Bajo	0.005268	Muy Bajo
C.62	0.003980	Muy Bajo	0.007116	Muy Bajo
C.63	0.244035	Medio	0.201030	Medio
C.64	0.000000	Muy Bajo	0.000686	Muy Bajo
C.65	0.014083	Muy Bajo	0.014641	Muy Bajo
C.2	1.000000	Muy Alto	0.949480	Muy Alto
C.32	0.243808	Medio	0.309231	Alto
D.41	0.229929	Medio	0.142010	Bajo
D.42	0.479367	Alto	0.137465	Bajo
D.31	0.086277	Muy Bajo	0.000000	Muy Bajo
D.32	0.078757	Muy Bajo	0.067841	Muy Bajo
D.33	0.076759	Muy Bajo	0.066144	Muy Bajo
D.34	0.254488	Medio	0.199936	Medio
D.43	0.336124	Medio	0.275237	Medio
D.11	0.306609	Medio	0.251776	Medio
D.12	0.317165	Medio	0.260337	Medio
D.13	0.317460	Medio	0.259637	Medio

Tabla 3 (continuación). Valor del Índice de Vulnerabilidad Socioambiental (IVS) en dos escenarios: sin ciudad portuaria (valor y clase 1) y escenario con ciudad portuaria (valor y clase 2). Claves de unidades asociadas a mapa de la figura 2, los valores en las figuras 3 y 4, a y b de ambas).

Clave	Valor 1	Clase 1	Valor 2	Clase 2
	Sin ciudad portuaria		Con ciudad portuaria	
D.14	0.330830	Medio	0.271415	Medio
D.15	0.274051	Medio	0.225412	Medio
D.16	0.204913	Medio	0.168867	Bajo
D.51	0.173686	Bajo	0.143933	Bajo
D.52	0.046827	Muy Bajo	0.041195	Muy Bajo
D.53	0.142971	Bajo	0.119532	Bajo
D.54	0.166354	Bajo	0.137030	Bajo
D.61	0.003001	Muy Bajo	0.006473	Muy Bajo
D.62	0.148334	Bajo	0.124356	Bajo
D.2	0.854967	Muy Alto	0.347797	Alto
D.44	0.289542	Medio	0.238418	Medio
A.3	0.599953	Alto	0.489660	Alto
A.1	0.572951	Alto	0.496468	Alto
B.1	0.715456	Alto	0.419658	Alto
B.31	0.700244	Alto	0.374736	Alto
B.61	0.078307	Muy Bajo	0.082259	Muy Bajo
B.62	0.030553	Muy Bajo	0.029331	Muy Bajo
B.63	0.254713	Medio	0.209125	Medio
B.64	0.248868	Medio	0.204409	Medio
B.65	0.151228	Bajo	0.079709	Muy Bajo
B.66	0.119112	Bajo	0.100180	Muy Bajo
B.67	0.253016	Medio	0.220113	Medio
B.68	0.084676	Muy Bajo	0.071345	Muy Bajo
B.69	0.758066	Alto	0.106055	Bajo
B.610	0.081455	Muy Bajo	0.069605	Muy Bajo
B.21	0.988083	Muy Alto	0.989675	Muy Alto
B.32	0.664361	Alto	0.387970	Alto
A.21	0.477380	Alto	0.387154	Alto
A.22	0.554762	Alto	0.559752	Alto
B.22	0.769058	Alto	1.000000	Muy Alto

Reflexiones

Los resultados esperados sobre el aumento del riesgo antes y después de la construcción de una nueva ciudad portuaria resultan interesantes porque el IVS no aumenta en términos de superficie, al menos no mucho más de lo que ya ocurre, más bien se relocaliza el riesgo potencial por los usos de suelo planeados.

Resalta en el escenario tendencial con ciudad portuaria, que se repiten los errores de una ciudad equivalente (Ensenada), de hecho se acentúan, donde por ejemplo se tuvo que construir una presa para detener los sedimentos que azolvaban el puerto. El proyecto no menciona presas, pero seguramente, después de que se vivan escenarios de lluvias como las de 2010, se planeara una presa emergente. La construcción de presas ha generado lo que Deryugin y Naumov (2006) llaman un peligro intuitivo y en fechas más recientes está siendo un tema cuestionando en los países desarrollados por lo que se están buscando maneras de derruir algunas (Nickles, 2000) porque se ha visto que, en escenarios de cambio climático, el riesgo de la población aumenta con la presencia estas enormes moles de infraestructura envejecida y sedimentos atrapados.

Con la propuesta que se hace, se perdió la oportunidad de diseñar una ciudad sin riesgos, ya que como se muestra en los resultados, se insiste en urbanizar las zonas que ya presentan vulnerabilidad socioambiental alta y muy alta. De realizarse el proyecto, pondrán en riesgo de inundación, deslave, incendio, a muchos más habitantes de los que ya habitan ahora la zona, aumentando el riesgo aun más con la inserción de infraestructura portuaria, carretera, ferroviaria. Habría que preguntar a los ciudadanos si estas dispuestos a pagar la atención a desastres de la futura ciudad, ya que el FONDEN es básicamente de fondos ciudadanos.

Si se aplicará la propuesta de la tabla 1, se observa que en el escenario tendencial se negaría el aprovechamiento o se condicionaría y las políticas resultantes serías equivalentes a protección o conservación justamente en las zonas donde se pretende ubicar el nuevo desarrollo (figura 5). Aunque parezca iluso, sería la decisión más acorde con las tendencias de crecimiento racional, con la prevención del riesgo, con el desarrollo sustentable, con el manejo integral de las costas y con el manejo adaptativo ante el cambio climático. ¿No podemos buscar nuevas forma de diseñar estas nuevas ciudades costeras? Hay mucho por hacer y el reto del cambio climático es una oportunidad para tomar como base las miles de lecciones aprendidas y hacer algo diferente, que no exponga a la población ni al capital.

La implementación del riesgo en los modelos de ordenamiento evitará principalmente el desarrollo de asentamientos humanos en zonas expuestas a sufrir daños por las características del terreno (pendiente, afluentes cercanos y fallas) de no aplicarse estas restricciones se estarían repitiendo los mismos errores que han hecho de México un país vulnerable a los efectos del cambio climático.

Agradecimientos

Este proyecto fue financiado por el proyecto Vulnerabilidad socioambiental de ciudades costeras ,de los fondos sectoriales Conacyt-Semarnat C01-2006-23800.

Literatura citada

Azuela de la Cueva, A., M.A. Cancino-Aguilar, y C. Contreras-Morales, 2006. El Ordenamiento Ecológico del territorio en México: génesis y perspectivas. Semarnat. México D.F. 237 p.

Dallman, R.P., 1998. Plants life in the worlds Mediterranean climates. The Mediterranean basin, South Africa, Australia, Chile and California. Oxford University Press 257 p.

Deryugin G.K., y O. S. Naumov, 1995. Destruction of dams in connection with spillway discharges *Power Technology and Engineering (formerly Hydrotechnical Construction),* 29(7):403-407.

Diario Oficial de la Federación(dof), 2007. Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. México D.F. 64 p.

Espejel, I., 2001. La Vegetación costera del noroeste de Baja California: Sus posibilidades de conservación (versión para internet). cd rom. Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California. México.

Fermán Almada, J. L, M. C. Arredondo Garcia, A. García Gastelum, y J. Seingier, 2006. La Regionalización Marino – Costera, base para el ordenamiento. En: Semarnat-ine. Ordenamiento ecológico marino, visión temática de la regionalización. isbn 968-817-807-1. http://www.foden.gob.mx

Leyva, C., I. Espejel, A. Escofet, y S.H. Bullock, 2006. Coastal landscape fragmentation by tourism development: impacts and conservation alternatives. *Natural Areas Journal,* 26:117-125.

Nickles, J., 2000. New effort launched to demolish dam and restore Hetch Hetchyhttp://www.hetchhetchy.org/new_effort_5_7_00_nickles.html

Nijkamp P., y P. Rietveld, 1990. Multicriteria evaluation in physical planning. Elsevier Science Publications. Amsterdam, The Netherlands. 219 p.