

ESCENARIOS DE RIESGO PARA EL TERRITORIO VERACRUZANO ANTE UN POSIBLE CAMBIO CLIMÁTICO

Cecilia Conde Álvarez¹
Beatriz Palma Grayeb²

Resumen

En este capítulo se aborda el concepto de riesgo como una función de la amenaza externa y la vulnerabilidad interna del sistema afectado bajo condiciones de cambio climático. Se identifican las zonas del territorio veracruzano más expuestas a la incidencia de amenazas climáticas, y las más vulnerables a partir de las condiciones sociales, económicas y ambientales para la generación de los escenarios de riesgo. Se ejemplifica el grado de vulnerabilidad al que está expuesto el estado de Veracruz ante el paso de sistemas ciclónicos y la afectación que podría causar en diversos sectores socioeconómicos. Dado que el riesgo climático se puede convertir en desastre, se plantea la necesidad de fortalecer los sistemas de alerta temprana. Además se analiza el riesgo del litoral veracruzano bajo condiciones de un aumento del nivel del mar de 1 a 2 metros a través de SIG, con el fin de evaluar el impacto sobre la población, principalmente.

Palabras clave: cambio climático, escenarios de riesgo, vulnerabilidad, Veracruz.

Abstract

This chapter confronts the risk concept as a function of the external threat and the internal vulnerability of a system affected by conditions of climate changes. The zones of the Veracruz territory which are most exposed to incidences of climatic threats are identified, as are those which are most vulnerable from the present social, economical, and environmental conditions for the generation of the risk scenarios. The degree of vulnerability to which the state of Veracruz is exposed before the path of cyclonic systems is demonstrated and the effect this could have on the diverse socio-economic sectors. Because the climatic risk can become a natural disaster, the need to strengthen early warning systems is proposed. The risk to the Veracruz coast is also analyzed in the event of an increase to sea level from 1 to 2 meters through SIG, in an effort to principally evaluate the impact on the population.

Key words: climate change, risk scenarios, vulnerability, Veracruz.

¹ Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México.

² Universidad Veracruzana.

Cambio y Variabilidad Climáticos

El clima es el estado promedio del tiempo meteorológico en un periodo de años; según la Organización Meteorológica Mundial, se requieren de por lo menos 30 años de datos para caracterizar al clima. Las variables básicas que se analizan son la temperatura y la precipitación. Aunado a ese estado medio de las variables básicas, la definición de clima incluye alguna medidas de sus fluctuaciones alrededor de ese promedio, o *variabilidad*, caracterizada por los mayores momentos estadísticos como son su varianza, covarianza, o desviación estándar, que caracterizan a la estructura y comportamiento de la atmósfera para el mismo periodo de tiempo.

Las medias climáticas pueden variar de dos maneras (Stern *et al.*, 1999): por un pequeño cambio observable en todo el periodo promediado (30, 50, 100 años), o bien, por que hay un cambio en el número de eventos extremos dentro de ese periodo. Los eventos extremos contribuyen por tanto de manera importante a las variaciones de las medias climáticas, pero eventos extremos aislados alteran el estado del tiempo, no al clima.

El cambio climático está referido en general a la diferencia entre dos estados medios del clima, mientras que las anomalías climáticas (incluyendo a los eventos extremos) se refieren a la diferencia entre las condiciones climáticas específicas y el estado medio del clima (Henderson-Sellers, 1990). Cómo cambian estas anomalías climáticas cuando se presenta un cambio en el estado medio del clima, es un problema de investigación fundamental en los estudios de cambio climático.

El clima debe estudiarse considerando a la circulación general de la atmósfera, a los procesos como el transporte y conservación de energía, de materia (gases y agua), y de momento, así como a las interacciones con los otros componentes del sistema: los océanos, las capas de hielo-nieve, los continentes, las diferentes formas de vida terrestre y marina (biosfera).

El comportamiento de la atmósfera es muy sensible a las condiciones de estos otros componentes del sistema climático. Para realizar pronósticos de tiempo, cobra relevancia entonces el estado en que se encuentren esos componentes.

El sistema climático tiene inestabilidades inherentes, interacciones no-lineales entre sus componentes y presenta oscilaciones en torno a ciertos estados de equilibrio. Es por ello que se dice que es un sistema caótico (Bolin, 1994). Así, la predecibilidad de este comportamiento es limitada, aunque el rango de variaciones de las variables claves está usualmente restringido por características globales del sistema. También es un sistema complejo, pues los cambios ocurren prácticamente en todas las escalas espaciales y temporales. Por lo anterior, tanto los cambios generales proyectados así como los cambios más detallados sólo pueden ser descritos de manera probabilística.

Los modelos climáticos tridimensionales tienen una limitada predecibilidad, a escalas de 10 días o un par de semanas y, de hecho, los detalles del estado del tiempo pueden excepcionalmente preverse solamente por unos días. Sin embargo, las condiciones climáticas medias y sus variaciones estadísticas pueden derivarse de esos modelos realizando experimentos numéricos.

Así, es posible realizar pronósticos climáticos gracias al estudio de eventos causantes de las variaciones del sistema (Peixoto, 1992). En particular, existen variaciones que disparan comportamientos del sistema climático y que permiten proyectar su comportamiento a escalas de meses o años. Esos "forzantes" del sistema climático pueden ser tanto terrestres (o internos) como astronómicos. Ejemplos de forzantes astronómicos del clima serían el cambio en la intensidad de la radiación solar, el cambio en la excentricidad de la órbita terrestre, o la oblicuidad del eje terrestre, por ejemplo.

Las causas internas se relacionan con las complejas retroalimentaciones positivas o negativas en el mismo sistema climático, siendo la interacción entre el océano y la atmósfera una de las causas internas más relevantes. Estas causas son las que interesan cuando se analizan fenómenos como El Niño / Oscilación del Sur (ENSO), o la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) o aún oscilaciones de mayor periodo (e.g. Lippsett, 2000). Estos casos se asocian a fluctuaciones en el sistema climático que pueden ocurrir en escalas de tiempo de años o décadas y se refieren a variaciones en la circulación general de la atmósfera, a la de los océanos y a las condiciones presentes en interfase entre ambos. Conocer por tanto si se está desarrollando un fuerte evento

ENSO (ya sea en su fase caliente –o El Niño-, o en su fase fría –o La Niña-) permite establecer un pronóstico climático con un alto grado de confiabilidad.

En la escala de tiempo interanual no hay forzamientos externos que puedan dar lugar a las variaciones como el ENSO, por lo que se dice que este fenómeno proviene de interacciones internas del sistema con retroalimentaciones múltiples entre el océano y la atmósfera (ver, por ejemplo, <http://www.pmel.noaa.gov/toga-tao/elnino/home.html>). Es el fenómeno ENSO el caso más espectacular de la variabilidad interna del sistema. Durante este evento, se observan cambios en el componente oceánico (medidos en términos de la temperatura de superficie del mar) y cambios en el componente atmosférico (medidos en términos del índice de oscilación del sur) que básicamente se asocian a perturbaciones en la dirección e intensidad de los vientos alisios.

Otros forzamientos terrestres pueden estar relacionados con los cambios en la composición atmosférica debido a factores como las erupciones volcánicas o a las emisiones de origen antropogénico, por ejemplo. En cuanto a este factor, el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés, 2001) ha documentado los cambios observados en los promedios climáticos globales y regionales. También ha descrito los posibles cambios observados en la variabilidad climática en los últimos 100 años. Un tema fundamental de los estudios climáticos actuales es cómo será la variabilidad climática en condiciones de cambio climático.

Sobre los cambios observados en la temperatura a nivel mundial, el Tercer Informe del IPCC (2001), menciona que la temperatura media mundial en la superficie ha aumentado 0.6 ± 0.2 °C desde fines del siglo XIX, y que es muy probable que los años noventa hayan sido los más cálidos, siendo 1998 el año más cálido, según los registros instrumentales desde 1861. Es importante mencionar que la elevada temperatura mundial asociada con el fenómeno El Niño 1997-1998 se destaca como un fenómeno extremo.

El IPCC también señala que desde la década de los cincuenta el nivel del mar a nivel global ha aumentado entre 0.1 a 0.2 metros y que el contenido de calor de los océanos a escala mundial ha aumentado considerablemente; más de la mitad del aumento en el contenido de calor se ha producido en los 300 metros superiores de los océanos, estimando un índice de aumento de temperatura en esa capa de 0.04 °C/decenio.

Sobre los cambios observados en las precipitaciones, el IPCC (2001) indica que los registros anuales en tierra muestran un comportamiento hacia el incremento (muy probablemente, de 0.5 a 1%/decenio) en las latitudes medias y altas del Hemisferio Norte, exceptuando Asia oriental. En los subtropicos, las precipitaciones han disminuido en promedio (probablemente a un ritmo de un 0.3%/decenio) y en las latitudes tropicales probablemente han aumentado en un 0.2 a 0.3%/decenio durante el siglo XX, al igual que ha aumentado en grandes zonas de los océanos tropicales.

En cuanto a los eventos climáticos extremos, el IPCC (2001) considera que durante el siglo XX es probable que a nivel global se hayan presentado con mayor frecuencia los fenómenos de aumento en las temperaturas extremas, más eventos de lluvias torrenciales y de condiciones de disminuciones en la precipitación asociadas a sequías. Para el siglo XXI, el Panel considera que es mayor la probabilidad que dichos eventos se agudicen (ver tabla 1).

Este Panel analizó el riesgo futuro que significa el cambio en la duración, frecuencia e intensidad de los eventos climáticos extremos en condiciones de cambio climático (IPCC, 2002). En síntesis, el IPCC consideró que se están presentando cambios en la variabilidad climática y en los eventos climáticos extremos que deben ser considerados en las políticas de desarrollo en cada país. Por ejemplo el IPCC (WGI, 2001) considera la posibilidad de que el fenómeno de El Niño tenga una duración mayor al año o año y medio que se ha observado hasta ahora. De hecho, se ha observado un incremento en la intensidad y duración de este fenómeno desde los años setenta, aunque el reducido número de eventos no permite obtener resultados concluyentes. Este fenómeno ha estado asociado a un aumento en el número de personas afectadas por desastres naturales, de tal suerte que cerca de 300 millones de personas resultaron con afectaciones en su persona, bienestar o propiedades durante el fuerte evento de El Niño durante los años de 1982-1983 (Magaña, 1999).

Tabla 1. Posibilidades de que algunos de los eventos extremos, de los que ya se han observado cambios, experimenten aumentos en intensidad o frecuencia.

| Cambios en Fenómenos | Confianza en los cambios observados (última mitad del siglo xx) | Confianza en los cambios proyectados (durante el siglo xxi) |
|--|---|--|
| Mayores temperaturas máximas y más días calurosos sobre todas las superficies terrestres | Probable | Muy Probable |
| Mayores temperaturas mínimas, menores días fríos y con heladas sobre casi todas las superficies terrestres | Muy probable | Muy Probable |
| Reducción del rango de temperaturas diurnas sobre la mayor parte de las superficies terrestres | Muy Probable | Muy Probable |
| Más eventos de precipitación intensa | Probable, en latitudes altas y medias del Hemisferio Norte | Muy probable, sobre un gran número de áreas |
| Aumento de condiciones secas de verano en continentes, asociadas al riesgo de sequía | Probable, en algunas áreas | Probable, sobre la mayoría de las latitudes medias continentales (no se tienen proyecciones consistentes en otras áreas) |
| Incremento en las intensidades de los vientos de los ciclones tropicales | No observado en los pocos análisis disponibles | Probable, en algunas áreas |
| Incremento en el número de ciclones tropicales y en las intensidades de la precipitación | Datos Insuficientes | Probable, en algunas áreas |

Fuente: IPCC, 2001. Estimaciones de confianza: virtualmente cierto (>99% de confianza); muy probable (entre 90 y 99%), probable (66-90%); posibilidad media (33-66%), improbable (10-33%).

Los posibles cambios en las características de las condiciones del ENSO, o en la intensidad o frecuencia de eventos extremos pueden implicar impactos más severos que los proyectados si sólo se analizan los impactos mediante cambios en los valores promedio de las variables climáticas. Otros investigadores consideran que en condiciones de cambio climático, el fenómeno ENSO puede producir sequías e inundaciones más intensas, aunque los modelos aún tienen limitaciones para simular este evento en esas condiciones. Así, aún con un cambio en los promedios de las variables básicas, es posible que la variabilidad asociada a esas nuevas condiciones medias afecte de manera importante a los sistemas naturales y a los humanos.

Del análisis de los datos relacionados con las tormentas tropicales (tabla 1), es posible afirmar que no existe alguna prueba que indique que las características de las tormentas tropicales y extratropicales hayan cambiado.

Para el estudio del clima en el futuro, se construyen escenarios de cambio climático. Se denomina escenario climático a una representación físicamente plausible, de las condiciones climáticas futuras. No es un pronóstico, pues no se tiene aún la capacidad de modelar el complejo sistema climático, ni tampoco se pueden definir con exactitud las emisiones y concentraciones en la atmósfera de los gases de efecto invernadero a futuro. Esto último depende de los escenarios socioeconómicos que se utilicen para proyectar el futuro. No es lo mismo considerar que se seguirán emitiendo a la atmósfera estos gases a las tasas actuales, o aún suponer que se realiza un uso más intensivo de los combustibles fósiles, que el considerar que se encontrarán alternativas tecnológicas (otras fuentes de energía, por ejemplo) o bien que se impulsará un desarrollo más sustentable.

Aun así, mediante un conjunto de diversos escenarios de cambio climático y bajo diversos escenarios socioeconómicos, es posible realizar estudios de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático. En la actualidad, los nuevos estudios de cambio climático se están enfocando en

establecer el conjunto de estrategias que permitan reducir la vulnerabilidad y aumentar la capacidad adaptativa al cambio climático de los países y sectores productivos (agricultura, recursos hídricos y forestales, asentamientos humanos, por ejemplo).

Cambio y Variabilidad Climáticos en México

Para el caso de México, diversos estudios (Gay, 2000; Monterroso y Gómez, 2003; Conde, 2003; Magaña, 2003), han sido enfocados al análisis de los posibles impactos de estas tendencias en las actividades productivas del país. La conclusión de esos estudios apunta a una mayor vulnerabilidad de México ante un posible cambio climático, particularmente en los sectores agrícolas, de recursos hídricos y forestales, y, en general, en los asentamientos humanos.

Dentro de los posibles cambios en las condiciones climáticas del país, hay que considerar la posibilidad de un aumento en la duración del fenómeno denominado El Niño (IPCC, 2001).

Dicho evento ha provocado en general que en el país se presenten condiciones de sequía durante el verano y lluvias torrenciales durante el invierno, particularmente en la región norte y costas del Pacífico (Magaña, 1999 o bien Magaña *et al.*, 1999b). El impacto de estas condiciones climáticas en el sector agrícola del país suele ser considerable. Durante El Niño de 1997-1998, este fenómeno causó en el sector daños mayores a 1,400 millones de dólares (Delgadillo *et al.* 1999).

Si bien no existe evidencia contundente, se ha observado que durante el fenómeno de El Niño, aumenta la posibilidad de huracanes intensos en el Pacífico, a la par de que se han contabilizado un menor número de estos eventos en el Atlántico. También de manera general, para el caso del fenómeno de La Niña, es posible esperar más huracanes intensos en el Atlántico, con una posible disminución de estos en el Pacífico.

Según diversos estudios (New *et al.* 1999), México presentó durante el siglo pasado (1901-2000) un ligero descenso en la temperatura, aunque hay que considerar que la década de los noventa fue la más caliente a nivel global y en particular en el país. Las proyecciones de temperatura para este siglo apuntan a un calentamiento en México de alrededor de 4 °C (New *et al.* 2000). Es posible entonces afirmar que el país presenta una tendencia al calentamiento, por lo que es probable que en las próximas décadas los valores promedio de la temperatura mínima tiendan a aumentar, alejando de manera general el riesgo agrícola asociado a las heladas. Sin embargo, también es importante considerar que durante fuertes eventos de El Niño, las temperaturas invernales han alcanzado valores mínimos históricos (1982-1983; 1991-1992; 1997-1998; por ejemplo).

El análisis de las tendencias en la precipitación y en la temperatura estacionales durante las últimas décadas ha sido realizado para 18 regiones del país (Conde, 2003).

En cuanto a la precipitación, dichas tendencias son difíciles de especificar. Esto se explica porque los patrones de lluvia pueden presentar condiciones recurrentes en periodos decadales (esto es, puede haber periodos de 10 a 20 o más años muy húmedos, seguidos de periodos similares de condiciones secas; (ver, por ejemplo Lipsset, 2000).

Por lo tanto, no es posible hacer afirmaciones contundentes en cuanto a la recurrencia o tendencia de la precipitación para las diferentes regiones del país en esta evaluación. No obstante, para las regiones estudiadas y cuando la serie de datos lo permitió, se analizó la frecuencia de los eventos durante los últimos 10 años, en comparación con el resto de la serie. También se revisaron las tendencias en la precipitación, aunque en general éstas no son estadísticamente significativas.

Sin embargo, si los diferentes estudios realizados son correctos, es necesario considerar que existe una mayor probabilidad de que se presenten eventos extremos en la lluvia durante este siglo (tanto lluvias torrenciales como periodos de sequía).

Por lo anterior, la demanda de recursos para atender las contingencias asociadas a variaciones extremas de precipitación tendrá que ir en aumento.

Esta afirmación, por supuesto, no considera los cambios en las políticas y programas agrarios que permitan disminuir la vulnerabilidad del sector a los riesgos climáticos futuros.

Es importante señalar que el estudio de los eventos climáticos extremos y su posible proyección a futuro es un tema de frontera dentro de las ciencias atmosféricas. El IPCC planea integrar los resultados de los estudios más recientes en este campo en el Cuarto Informe de Evaluación (para el año 2007), incluyendo en el análisis las posibles medidas de mitigación que han sido aplicadas por los diferentes gobiernos y por los diferentes sectores productivos en el mundo.

Para el caso de México, Conde (2003) genera escenarios anuales de cambio climático mediante la interpolación simple de los varios modelos tridimensionales (modelos de circulación general, MCG) considerando dos escenarios de emisiones futuras para los años 2050 y 2100, y como referencia para evaluar dichos cambios al periodo 1961-1990 (el escenario base). Analiza las salidas de catorce modelos MCG contenidos en el programa de cómputo Magicc/Scengen versión 2.4 y encuentra que modelos CCC, GFDL-R15, ECHAM4 y HadCM2 son los más adecuados para generar los escenarios de cambio climático para México. En sus resultados menciona que podría haber un incremento en el riesgo climático del territorio mexicano debido a que se proyectan cambios en la temperatura y precipitación similares o mayores a los registrados en eventos extremos ocurridos; el sector agrícola y los recursos hídricos por ejemplo, se pondrían en riesgo al enfrentar climas más secos y calientes especialmente en el verano, según lo proyectado por estos modelos (Palma, 2005).

Escenarios de cambio climático para el estado de Veracruz

En la tabla 2 se presentan los resultados obtenidos por Conde (2003), sobre los cambios en la precipitación y la temperatura media para las regiones norte, centro y sur del territorio veracruzano según dos modelos.

Tabla 2. Cambios al 2050 en la precipitación y la temperatura por regiones para el estado de Veracruz, de acuerdo a Conde (2003).

| Modelo de Circulación General | | Cambios en la precipitación de verano (%) | | | Cambios en la temperatura media del verano (°C) | | |
|-------------------------------|---------------------------------|---|----------|-----------|---|-----------|-----|
| | | Región | | | Región | | |
| | | Norte | Centro | Sur | Norte | Centro | Sur |
| HadCM2 | Escenario de sensibilidad media | -2 a -4 | -6.a -8 | -8 a -10 | 1.9 | 1.9 a 2.0 | |
| | Escenario de sensibilidad alta | -2 a -6 | -6 a -10 | -10 a -14 | 2.6 a 2.7 | 2.7 a 2.8 | |
| ECHAM4 | Escenario de sensibilidad media | 6 a 8 | 4 a 6 | 1 a 4 | 1.5 a 1.6 | | |

El signo menos indica decremento.

De acuerdo a Conde (2003), el riesgo es considerado como una función de la amenaza externa y la vulnerabilidad interna del sistema afectado, y bajo un argumento de cambio climático es referido a “la probabilidad de que un sistema determinado sufra un daño bajo la exposición a una perturbación o estrés climáticos”

$$\text{Riesgo} = f(\text{amenaza, vulnerabilidad})$$

con:

Amenaza ≈ Factor relacionado con la probabilidad de ocurrencia de un evento natural específico, cuya intensidad sea capaz de dañar al sistema; por ejemplo un evento climático “adverso” (helada, granizada, inundación, sequía, etc.) y, Vulnerabilidad ≈ Grado de exposición y fragilidad del sistema, tal que las amenazas climáticas lleguen a representar daños a la economía, la vida humana y/o el ambiente del sistema bajo estudio.

Por tanto, en este apartado se identificarán las zonas del territorio veracruzano que han estado más expuestas a la incidencia de amenazas climáticas tales como fenómenos hidrometeorológicos (granizada, helada), inundaciones fluviales, sequía (periodo prolongado con poca lluvia), huracanes, tormentas tropicales, considerados como detonadores de eventos como los incendios forestales.

La vulnerabilidad debe ser enfocada a partir de las condiciones sociales, económicas y ambientales de las regiones afectadas por estos fenómenos. Estas condiciones determinan también la capacidad de respuesta (o capacidad adaptativa) que tengan los diferentes sectores en las regiones citadas. A partir del número, intensidad y duración de los eventos climáticos adversos se identifican aquellas regiones o sectores que podrían estar en mayor riesgo de afectación debido a un cambio climático global, ya sea porque este cambio rebasa los umbrales de tolerancia que tienen las regiones o sectores bajo estudio, o bien porque las tendencias sociales y económicas actuales proyectan un futuro de mayor vulnerabilidad o baja capacidad adaptativa.

Como ejemplo reciente de grado de vulnerabilidad al que está expuesto el territorio veracruzano, ante el paso de sistemas ciclónicos, se puede citar el paso del Huracán Stan, que teniendo una corta duración (aproximadamente cuatro días), dejó tras de sí fuertes daños en diversos sectores y regiones en Veracruz.

De acuerdo al reporte de la Comisión Nacional del Agua (CNA), los antecedentes del Huracán Stan, remontan su origen a la perturbación No. 20 del océano Atlántico, que inició a una distancia aproximada de 180 km al sureste de Quintana Roo, con vientos máximos sostenidos de 45 km/hr, rachas de 65 km/hr, una presión mínima de 107 hPa y con un desplazamiento hacia el oeste-noroeste a 9 km/hr.

En la costa de Quintana Roo, en las cercanías de Punta Estrella se convirtió en tormenta tropical con vientos máximos sostenidos de 45 km/hr y rachas de 90 km/hr. El día dos de octubre el sistema tocó tierra, ubicándose su centro a 33 km al este-noreste de Felipe Carrillo Puerto, manteniendo los vientos máximos y variando la intensidad de las rachas (95 km/hr). Su entrada trajo consigo una pérdida de intensidad, pasando a depresión tropical y entrando con esa categoría al Golfo de México el día tres con un desplazamiento hacia el oeste.

Para el día cuatro alcanza la categoría de huracán 1, en las cercanías de Coatzacoalcos, Ver. (a 75 km al norte del puerto), con vientos máximos sostenidos de 130 km/hr y rachas de 155 km/hr.

El sistema continuó con una trayectoria hacia las costas de Veracruz tocando tierra a las 10:00 hora local entre Punta Roca Partida y Monte Pío, a unos 20 km al noreste de San Andrés Tuxtla, Ver., manteniendo los vientos máximos.

Por su entrada a tierra, horas más tarde pierde intensidad, degradándose a tormenta tropical en las proximidades de Villa Azueta, Ver. (a 25 km al este-sureste de la localidad), con vientos máximos sostenidos de 105 km/hr y rachas de 130 km/hr³ (CNA, 2006).

Después de cruzar la parte norte de Oaxaca se llega a degradar a depresión tropical. Se reportó que en la madrugada del día cinco, el sistema ciclónico entró en proceso de disipación a una distancia de 60 km al oeste-suroeste de la ciudad de Oaxaca, Oax.

Sin embargo, a pesar de que el sistema duró pocas horas sobre tierra, trajo numerosas consecuencias para la entidad veracruzana, entre éstas: daños materiales, cortes de carreteras, caída de árboles y postes de luz e inundaciones en zonas rurales y urbanas.

Por ejemplo, en Villa Azueta, se contabilizó un total de 204 km de caminos dañados, diez mil personas afectadas, incomunicación entre comunidades por efecto de desbordamiento del río Tesechoacán (el nivel subió dos metros en sólo tres horas). Los municipios de Mecayapan, Catemaco, San Andrés Tuxtla, Santiago Tuxtla, Ángel R. Cabada, la margen derecha del río Cosamaloapan, Isla, Rodríguez Clara, Playa Vicente, Santiago Sochiapa, San Juan Evangelista, Hueyapan, reportaron daños, dada la conjunción de la nubosidad propia del sistema con el frente frío que se presentó, por lo que localidades como Palma Sola, Martínez de la Torre, Tecolutla, Gutiérrez Zamora, Álamo Temapache, Espinal, Tihuatlán y Poza Rica, ubicadas hacia la zona norte del estado, reportaron por ejemplo daños por lluvias fuertes en cultivos, vías de comunicación terrestre, desgajamientos de cerros e inundaciones (Diario de Xalapa de fechas: 7, 8 y 9 de octubre de 2006).

³ <http://smn.cna.gob.mx/ciclones/tempo2005/atlantico/stan/stan.pdf>; consultada el 25 de febrero de 2006.

En el caso del Puerto de Veracruz, se reportaron daños por inundaciones en zonas residenciales y afectaciones en doce centros de salud del ISSSTE por el desbordamiento de los ríos y arroyos, y por el estancamiento del agua en zonas bajas.

En La Antigua, se reportó, que debido al desbordamiento del río Actopan se vieron dañadas casi cuatro mil hectáreas sembradas de caña y afectados estanques de crías de peces, estimándose la pérdida de más de tres toneladas de mojarra; pérdidas cuantiosas en la producción de piña en la localidad de Isla, mientras que para la cuenca del Papaloapan y Hueyapan de Ocampo, el reporte fue de miles de hectáreas de sembradíos de caña dañadas por las inundaciones ocurridas.

En cuanto a la actividad turística y pesquera de sitios como Tlacotalpan: “La ocupación hotelera y gremio restaurantero se vieron afectados en más del 50% de sus ganancias”; siendo éstas las formas principales de ingreso de la gente del lugar.

Entre otros efectos provocados por el paso del huracán Stan, se pueden mencionar: la contaminación de playas, la emergencia sanitaria en 115 municipios veracruzanos de un total de 172 municipios afectados, por la aparición de brotes de diferentes padecimientos (infecciones en la piel, gastroenteritis, hepatitis y la posibilidad de aparición de cólera, dengue, leptoespirosis). Finalmente, para tener una idea más sobre la magnitud del impacto económico que trajo consigo este fenómeno natural, el Fondo Nacional de Desastres otorgó al Gobierno de Veracruz 700 millones de pesos para la reconstrucción del Estado; sólo en Tuxpan los daños materiales fueron estimados en 120 millones de pesos, entre caminos rurales, calles de colonias, cosechas y daños patrimoniales (Diario de Xalapa de fecha 9 de octubre de 2005).

Este ejemplo ilustra el hecho de que para que el riesgo climático se convierta en desastre, es necesario analizar, además del evento climático en sí, las condiciones de los sistemas de alerta temprana, de prevención de desastres, y la capacidad de respuesta de la población a diferentes escalas (locales, municipales, estatales y federales).

En la tabla 3 se resumen los municipios del estado de Veracruz que son mayormente afectados por diversos tipos de eventos: granizada* (Gra.), heladas* (Hel.); inundaciones fluviales** (Inu.); sequía (Seq.); huracanes y tormentas tropicales (HyTT); incendios forestales hasta el 2002 (Inc.). Los datos se obtuvieron de distintas fuentes de información (Atlas de Riesgos del Gobierno del estado de Veracruz Llave (2000); Pereyra *et al.* (1995), Secretaría de Desarrollo Regional del Gobierno del Estado de Veracruz; Luna Bauza, (1994); Servicio Meteorológico Nacional). En el 2002 la SEDESOL agrupó por micro regiones a los municipios del estado que presentaban condiciones de rezago y marginalidad. En la última columna se identifican los municipios que poseen áreas naturales protegidas.

Tabla 3. Municipios de Veracruz mayormente afectados por eventos adversos.

| Municipio | Gra. | Hel. | Inu. | Seq. | HyTT | Inc. | Micro-regiones | Con áreas naturales protegidas | Total de eventos Incidentes |
|---|------|------|------|------|------|------|----------------|--------------------------------|-----------------------------|
| <u>Pánuco</u> | x | X | x | x | x/6 | x | | | 6 |
| <u>Camerino Z. Mendoza (Ciudad Mendoza)</u> | x | X | x | x | | x | | | 5 |
| <u>Emiliano Zapata</u> | x | X | x | x | | x | | | 5 |
| <u>Huiloapan de Cuauhtémoc</u> | x | X | x | x | | x | | | 5 |
| <u>Las Vigas de Ramírez</u> | x | X | x | x | | x | x | | 5 |
| <u>Martínez de la Torre</u> | x | | x | x | x/1 | x | | | 5 |
| <u>Nogales</u> | x | X | x | x | | x | | x | 5 |
| <u>Papantla (Papantla de Olarte)</u> | x | x | x | x | | x | x | | 5 |
| <u>Perote</u> | x | x | x | x | | x | | x | 5 |
| <u>Zacualpan</u> | x | x | x | x | | x | x | | 5 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|-----|---|---|---|---|
| <u>Acajete</u> | x | x | | x | | x | x | x | 4 |
| <u>Alpatláhuac</u> | x | x | | x | | x | x | | 4 |
| <u>Alvarado</u> | x | | x | | x/1 | x | | x | 4 |
| <u>Astacinga</u> | x | x | | x | | x | x | | 4 |
| <u>Atzalan</u> | x | x | x | | | x | x | | 4 |
| <u>Ayahualulco</u> | x | x | | x | | x | x | x | 4 |
| <u>Benito Juárez</u> | x | x | x | x | | | x | | 4 |
| <u>Calcahualco</u> | x | x | | x | | x | x | x | 4 |
| <u>Chiconquiaco</u> | x | x | | x | | x | x | | 4 |
| <u>Chicontepepec</u> (Chicontepepec de Tejeda) | x | | x | x | | x | x | | 4 |
| <u>Coacoatzintla</u> | x | x | | x | | x | x | | 4 |
| <u>Coatepec</u> | x | x | | x | | x | | | 4 |
| <u>Coatzacoalcos</u> | x | | x | x | x/1 | | | | 4 |
| <u>Córdoba</u> | x | x | | x | | x | | | 4 |
| <u>Cosamaloapan</u> (Cosamaloapan de Carpio) | x | x | x | x | | | | | 4 |
| <u>Coscomatepec</u> (Coscomatepec de Bravo) | x | x | | x | | x | x | | 4 |
| <u>Cosoleacaque</u> | x | | x | x | | x | | | 4 |
| <u>El Higo</u> | x | x | x | x | | | | | 4 |
| <u>Fortín (Fortin de las Flores)</u> | x | x | | x | | x | | x | 4 |
| <u>Gutiérrez Zamora</u> | x | | x | x | | x | | | 4 |
| <u>Huatusco</u> (Huatusco de Chichuellar) | x | x | | x | | x | x | | 4 |
| <u>Ixhuacán de los Reyes</u> | x | x | | x | | x | | | 4 |
| <u>Ixhuatlán de Madero</u> | x | x | x | x | | | x | | 4 |
| <u>Ixtaczoquitlán</u> | x | x | | x | | x | | x | 4 |
| <u>Jáltipan (Jáltipan de Morelos)</u> | x | | x | x | | x | | | 4 |
| <u>La Perla</u> | x | x | | x | | x | x | x | 4 |
| <u>Las Choapas</u> | x | | x | x | | x | x | | 4 |
| <u>Las Minas</u> | x | x | | x | | x | x | | 4 |
| <u>Lerdo de Tejada</u> | x | | x | x | | x | | | 4 |
| <u>Mariano Escobedo</u> | x | x | | x | | x | | x | 4 |
| <u>Mecayapan</u> | x | | x | x | | x | x | x | 4 |
| <u>Mihuatlán</u> | x | x | | x | | x | x | | 4 |
| <u>Minatitlán</u> | x | | x | x | | x | | x | 4 |
| <u>Naolinco (Naolinco de Victoria)</u> | x | x | x | x | | | | | 4 |
| <u>Omealca</u> | x | x | | x | | x | x | | 4 |
| <u>Orizaba</u> | x | x | | x | | x | | x | 4 |
| <u>Pajapan</u> | x | | x | x | | x | x | | 4 |
| <u>Platón Sánchez</u> | x | x | x | x | | | x | | 4 |
| <u>Puente Nacional</u> | x | | x | x | | x | | | 4 |
| <u>Rafael Delgado</u> | x | x | | x | | | x | | 4 |

| | | | | | | | | | |
|--|---|---|---|---|-----|---|---|---|---|
| <u>Soledad Atzompa</u> | x | x | | x | | x | x | | 4 |
| <u>Tatatila</u> | x | x | | x | | x | x | | 4 |
| <u>Tecolutla</u> | x | | x | x | | x | x | | 4 |
| <u>Tehuipango</u> | x | x | | x | | x | x | | 4 |
| <u>Tequila</u> | x | x | | x | | x | x | | 4 |
| <u>Texcatepec</u> | x | x | x | x | | | x | | 4 |
| <u>Texistepec</u> | x | | x | x | | x | x | | 4 |
| <u>Tezonapa</u> | x | | x | x | | x | x | | 4 |
| <u>Tlachichilco</u> | x | x | x | x | | | x | | 4 |
| <u>Tuxpan (Tuxpan de Rodríguez Cano)</u> | x | | x | x | x/6 | | | | 4 |
| <u>Uxpanapa (La Chinantla)</u> | x | | x | x | | x | x | | 4 |
| <u>Villa Aldama</u> | x | x | | x | | x | x | | 4 |
| <u>Xico</u> | x | x | | x | | x | | x | 4 |
| <u>Zongolica</u> | x | | x | x | | x | x | | 4 |

A nivel nacional el año 1998 se registró como uno de los años más afectados por los incendios forestales; en el estado de Veracruz se afectaron 9 690 hectáreas, de acuerdo a la información obtenida; esta cifra superó a la media estatal y representó el 3.95% y 1.91% de incendios y superficie siniestrada con respecto a los porcentajes nacionales de 1998 (Atlas estatal de Riesgos, 2000). El resto de los municipios de la entidad se pueden ver afectados por quemas agrícolas y quemas mal intencionadas de pastizales, manglares, arbustos y matorrales.

Además, de los datos de la tabla se puede inferir que los municipios que presentan mayor riesgo por intensificación de fenómenos meteorológicos serían: Pánuco por el número de eventos que ocurren en el municipio y Nogales, Perote, Acajete, Alvarado, Ayahualulco, Calchahualco, Fortín, Ixtaczoquitlán, La Perla, Mariano Escobedo, Minatitlán, Orizaba y Xico, tanto por los eventos que se registran como por el grado de marginalidad de los sitios.

Como se mencionó anteriormente, en general los MCG proyectan una intensificación de los eventos extremos en algunas regiones de la Tierra; por tanto, cabe mencionar que respecto a los sistemas ciclónicos Jáuregui y Zitácuaro (1995) encuentran para el estado que años con Niño (moderado o fuerte) son años con poca actividad ciclónica sobre sus costas.

Mencionan que de acuerdo al modelo termodinámico de Emmanuel (1987) predice para la región tropical que de darse un incremento en la temperatura superficial del océano (TSO) por arriba de los 26.5 °C, las regiones donde se originan estas circulaciones ciclónicas podrían ampliarse y aumentar el potencial de destrucción de los huracanes por la intensificación de las presiones mínimas asociadas a estos sistemas.

Bajo este escenario estos autores conjeturan que “el cambio climático global para mediados del siglo XXI conduce a una intensificación de los ciclones tropicales del Golfo de México y Mar Caribe, bajo un escenario de duplicación de CO₂ atmosférico”. Considerando esto y la información histórica sobre los huracanes que han impactado las costas veracruzanas la cual ha sido resumida en la tabla 4, se identifican ocho sitios costeros en la entidad veracruzana bajo amenaza de impacto por sistemas ciclónicos, encontrándose la mayoría de éstos en la región norte del estado.

Tabla 4. Frecuencia de huracanes y tormentas tropicales por municipio.

| Municipio | Frecuencia en el periodo 1522-2005 |
|--------------------|------------------------------------|
| Puerto de Veracruz | 6 |
| Alvarado | 1 |
| Pánuco | 6 |
| Tuxpan | 6 |

| | |
|----------------------|---|
| Nautla | 4 |
| Los Tuxtlas | 2 |
| Coatzacoalcos | 1 |
| Martínez de la Torre | 1 |

Fuentes: Luna Bauza (1994) y Servicio Meteorológico Nacional (<http://smn.cna.gob.mx/> consultada 24-02-06).

Por otra parte, Pereyra y Sánchez (1995) asocian el fenómeno El Niño con la sequía intraestival o de medio verano. Encuentran que durante los eventos del Niño, este tipo de sequía desaparece o disminuye para casi todo el estado de Veracruz durante los meses de julio y agosto; con excepción de la región centro alta del estado que incluye Xalapa, Naolinco y Orizaba, en donde se incrementa.

Además Pereyra *et al.*, (1991) menciona que durante el periodo 1920-1985, las precipitaciones en la ciudad de Xalapa aumentaron en un 17.5% respecto a la media de los años sin Niño, y que las precipitaciones disminuyeron en un 14.4% y 11.1% en eventos Niño muy fuerte o muy débil, respectivamente.

Es importante realizar estudios de las tendencias del fenómeno de La Niña, ya que diversos autores (Magaña, 1999) señalan la posibilidad de que asociado a este evento se intensifique la ocurrencia de huracanes en el océano Atlántico. Un sistema de alerta temprana en la región podría incorporar estos estudios a la prevención de desastres en las costas del Golfo de México.

Tejeda (2003) menciona que ante un escenario de cambio climático bajo condiciones de duplicación del CO₂ atmosférico, “los ecosistemas forestales como los bosques húmedos y templados de la sierra de Zongolica y las planicies costeras se verían sujetas a una gradual desertificación”, y que “el aumento en la temperatura podría traer consigo daños a la salud y comodidad de los seres vivos, dado el previsible aumento de muertes por plagas, cuya propagación está relacionada con temperaturas altas (paludismo, dengue, cólera, etc.). Además podría esperarse que algunos vectores de enfermedades infecciosas (de tierras bajas) se desplacen hacia mayores latitudes.

También conjetura que en cuanto a las necesidades de requerimiento de energía para climatización de edificios en áreas cálidas, podría multiplicarse por diez, dado el incremento poblacional estimado para el próximo medio siglo.

Sin embargo, de todo lo anteriormente expuesto se podría pensar que más que las variaciones en los episodios ENSO, el incremento en el nivel del mar proyectado para el siglo XXI, de darse la separación de los glaciares y los casquetes de hielo y la disminución de la capa de nieve y de hielo marino, sería el fenómeno de mayor riesgo que enfrentaría la zona costera veracruzana.

Como menciona Tejeda (2003), la mayoría de las costas bajas arenosas, con extensos humedales adyacentes y situados a menos de un metro sobre el nivel del mar, serían las más vulnerables ante la posible elevación del nivel del mar (estimado por algunos científicos de entre 0.09 y 0.88 m en el periodo comprendido entre 1990 y 2100; IPCC, 2003).

El autor en cifras gruesas estima que se perderían más de 600 kilómetros de playa y que esto repercutiría en contra de la infraestructura turística del estado (Costa Esmeralda, Boca del Río, Veracruz puerto, por ejemplo). Habla de que más de 200 kilómetros de caminos y alrededor de 20 kilómetros de puertos marinos se verían afectados por el aumento del nivel del mar, y que “más de 3 000 hectáreas urbanas se volverían francamente inundables, al igual que cerca de 200 000 hectáreas de pastizales y agricultura”.

En la figura 1 se muestra el impacto que tendría un aumento de 1 a 2 metros sobre el nivel del mar dentro de una ventana que comprende la parte sur del estado de Tamaulipas y la parte norte del estado de Veracruz. Cabe mencionar que se analizó todo el litoral de estado de Veracruz utilizando el sistema de información geográfica del Laboratorio de Análisis y Representación Cartográfica (LARC) de CIESAS-Golfo, encontrándose 305 localidades ubicadas a 4 metros (o menos) de altitud en todo el estado, con un total de 40 884 habitantes.

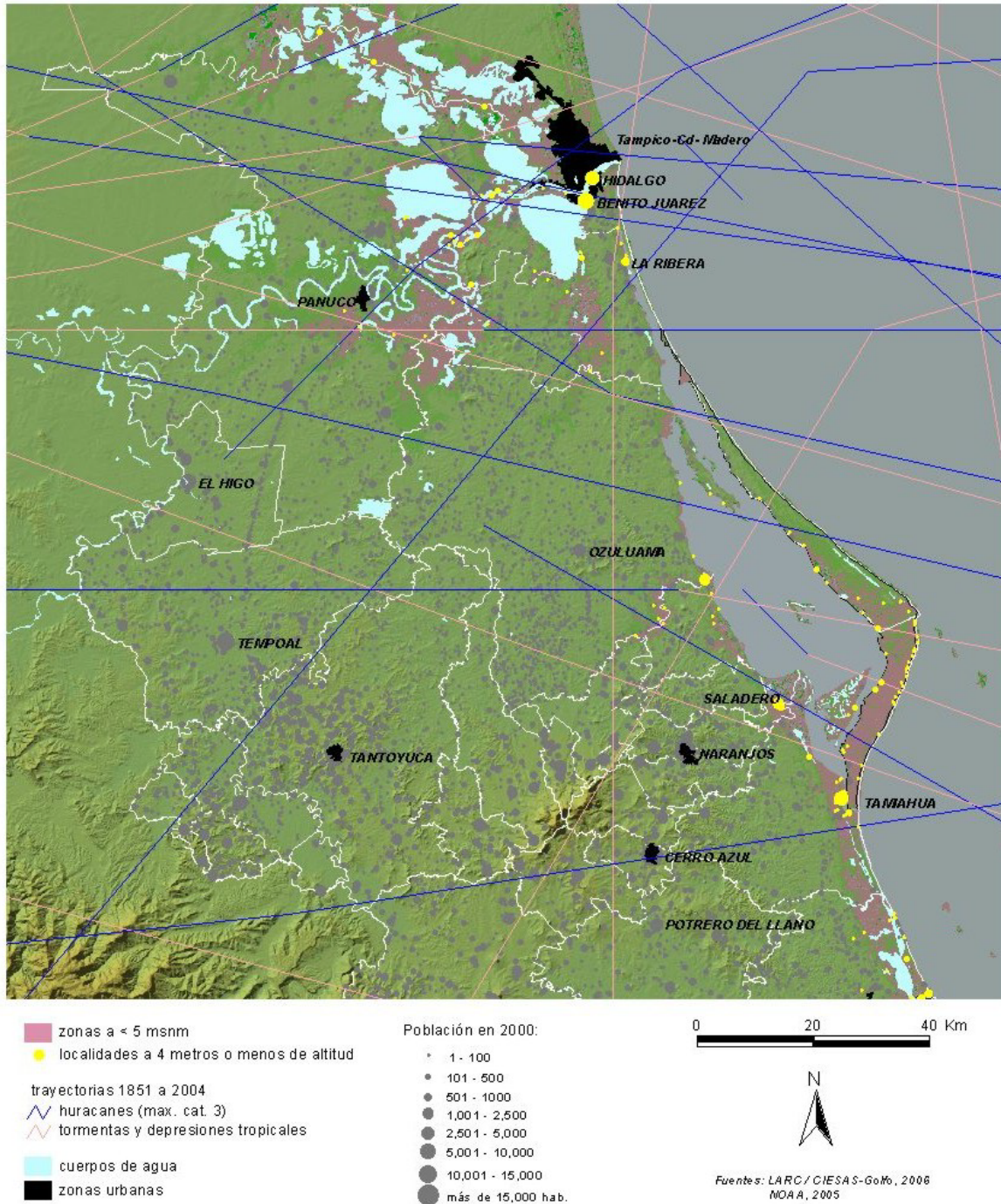


Figura 1. Zonas marítimas-continentales sujetas a inundación por ascenso del nivel del mar ante un cambio climático.

Como se puede apreciar en la figura, dentro de la porción marítima se verían afectados los arrecifes Tanhuijo, Enmedio y Tuxpan y las islas Lobos y El Ídolo, la primera de éstas es una terminal marítima petrolera y la segunda prácticamente quedaría inundada. Por otra parte, la Península de Cabo Rojo se vería afectada al igual que los asentamientos humanos con fachada al interior de la laguna de Tamiahua (aproximadamente una decena de éstos).

Las tierras bajas y las zonas pantanosas también sufrirían afectación; éste sería el caso, por ejemplo, de Boca Tancochin, la Ensenada Martínez y de Tamiahua hasta la laguna de Tampamachoco. El asentamiento humano de Tamiahua sería el mayormente afectado.

Dentro de la infraestructura se vería afectada la termoeléctrica de Tuxpan, y proyectos como el canal intercostero tendrían que ser revalorados ante tal posible impacto.

Las congregaciones Colonia Benito Juárez (conocida como Congregación Anáhuac) con 12 725 habitantes y a 2 msnm, y la Colonia Hidalgo con 5 679 habitantes y a 4 msnm, ambas en el municipio de Pueblo Viejo y Tamiahua cuya cabecera contaba en el 2000 con 5 153 habitantes, serían zonas sujetas a inundación al igual que las poblaciones de Altamira, Miramar, Tampico y Ciudad Madero en el límite sur del estado de Tamaulipas.

Se estima, a partir de la figura, que serían afectados los campos de caña de los municipios de El Higo y Pánuco, y los cultivos de maíz que abarcan todos los municipios indígenas alrededor de la pequeña Sierra de Otontepec así como la zona ganadera de Tantoyuca y Ozuluama.

En el caso de Pánuco, cabe mencionar que por encontrarse sobre una pequeña elevación, el sitio no parece afectado, sin embargo, una buena parte de la ciudad de Tampico sería afectada, sobre todo las colonias populares del norte rumbo a Altamira.

Estudios más específicos analizan las consecuencias de un posible cambio climático en la región centro de Veracruz, particularmente para el caso de la producción cafetalera. Este estudio establece importantes decrementos en esta producción, considerando los escenarios de cambio climático elaborados por Conde (2003). Resalta en este estudio el análisis de las variables económicas que determinan la producción cafetalera, como es el salario, los precios y las condiciones de mercado. Esta nueva generación de estudios de cambio climático incorpora las proyecciones climáticas y las socioeconómicas, para establecer criterios de vulnerabilidad futura.

Por todo lo anteriormente expuesto se hace necesario reflexionar sobre las condiciones de vulnerabilidad que guardaría el estado de Veracruz ante un posible cambio climático como el comentado y analizar con más detalle los impactos que se tendrían a nivel regional dada la gama de condiciones socioeconómicas que prevalecen a lo largo de su territorio, para la toma adecuada de decisiones tendientes a mitigar el deterioro ambiental y el impacto sobre la sociedad y el desarrollo estatal.

Referencias bibliográficas

Atlas de Riesgo (2000), Gobierno del Estado de Veracruz: *Atlas Estatal de Riesgos Veracruz de Ignacio de la Llave*. Subsecretaría de Protección Civil.

Conde, A. C. (2003), *Cambio y variabilidad climáticos. Dos estudios de caso en México*. Tesis de Doctorado en Ciencias de la Tierra. UNAM. 300 p.

Delgadillo, J., Aguilar, T., Rodríguez, D. (1999), Los impactos económicos y sociales de El Niño. Capítulo 6 en: *Los impactos de El Niño en México*. Magaña V. (editor). México. UNAM, IAI; SG. 228 pp.

Gay, C. (ed) (2000), México: Una visión hacia el siglo XXI. *El Cambio Climático en México*. Resultados de los Estudios de Vulnerabilidad del País Coordinados por el INE con el Apoyo del U.S. Country Studies Program.SEMARNAP, UNAM, USCSP. 220 pp.

Henderson-Sellers, . K. McGuffie. (1990), *Introducción a los Modelos Climáticos*. Ediciones Omega. 231 pp.

Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. (2002), IPCC Workshop on *Changes in Extreme Weather and climate events*. Beijing, China. 11-13 June, 2002.

IPCC. (2001), "Tercer Informe de evaluación. Cambio Climático 2001: La base científica. Resumen para responsables de políticas y Resumen técnico". 1-20 pp. <http://> consultado el 28 de marzo de 2003.

IPCC, (2003).

IPCC, WGI (Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group I). (2001), Summary for Policy Makers. A Report of Working Group I of the Intergovernmental Panel of Climate Change . Cambridge University Press. 20 pp.

Jáuregui, E. y Zitácuaro, I. (1995), El impacto de los ciclones tropicales del Golfo de México en el estado de Veracruz. *La Ciencia y el Hombre*, No. 21: 75-119 pp.

Lipset, L. (2000), Beyond El Niño. *Sci. Am.* 11(1): 76-83.

Luna Bauza. (1994), *Crónicas de los Huracanes en el estado de Veracruz*. Editora del Gobierno del Estado de Veracruz-Llave.

Magaña, V., C. Conde. (2003), Climate Variability and climate Change Impacts on the Freshwater Resources for Northwestern Mexico, Sonora: A Case Study. In: *Climate, Water and Transboundary Challenges in the Americas*. Edited by H. F. Díaz. And B. J. Morehouse. 373-391.

Magaña, V. (editor). (1999). *Los Impactos de El Niño en México*. México. UNAM, IAI; SG. 228 pp. [<http://ccaunam.atmosfcu.unam.mx/cambio/nino.htm>].

Magaña, V., J. Amador and S. Medina. (1999b), The midsummer drought over Mexico and Central America. *Am. Met. Soc.*, 12(6): 1577-2588.

Monterroso, A. I., J. D. Gómez. (2002), *Mapas de Clima de la República Mexicana* de Acuerdo al Criterio de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la desertificación en países afectados por sequía grave o desertificación. PNUMA/ ORPALC/UNDC – 1994.

New, M. G., M. Hulme and P. D. Jones, (2000), Representing twentieth – century space – time climate variability. Part II. Development of 1901 – 1996 monthly grids of terrestrial surface climate. *J. Climate*, 13: 2217-2238.

New, M., Hulme, M., P. D. Jones. (1999), Representing twentieth – century space – time climate variability. Part I: Development of a 1961 – 1990 mean monthly terrestrial climatology. *J. Climate*. 12: 829-856.

Palma , B. E. (2005), *Generación de escenarios de cambio climático para la zona centro del estado de Veracruz, México*. Tesis de Maestría en Geografía. UNAM. 134 p.

Pereyra, D., B Sánchez, y J.L. Aguilar. (1994), Effect of ENSO on the mid-summer drought in Veracruz State, México. *Atmósfera*.7: 211-219 pp.

Pereyra, D., Palma, B., y Barrientos, A. (1991), El Niño y su relación con las lluvias de Xalapa, Veracruz, México. *GEOS Boletín de la Unión Geofísica Mexicana*,11: 11-15 pp.

Pexioto, J. P., A. H. Oort. (1993), *Physics of Climate*. American Institute of Physics. New York. 412-449.

SEDESOL. (2002), *Diario Oficial de la Federación* del 31 de enero de 2002.

Stern, P. C., William, E. (1999), (ed). *Making Climate Forecasts Matter*. National Academy Press. [<http://www.nap.edu>]. 152 pp.

Tejeda, A., (2003), Los cambios climáticos actuales. *Gaceta*, 62: 19-23
Washington, W. M. 1993.

Sitios web:

Gobierno del Estado de Veracruz; (2000): [<http://www.veracruz.gob.mx/>]. Consultada en febrero de 2006.

Servicio Meteorológico Nacional, (2006): [<http://smn.cna.gob.mx/>] .Consultada en febrero de 2006.