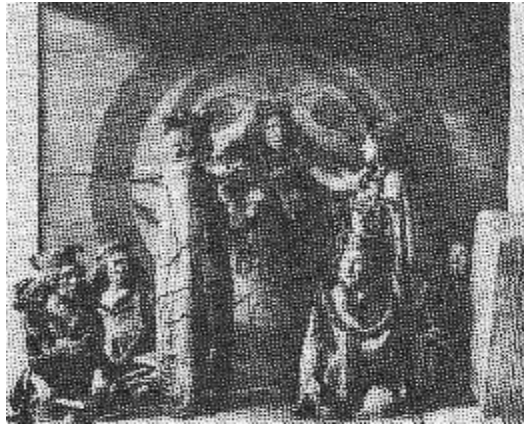


# Vulnerabilidad y adaptación regional ante el cambio climático y sus impactos ambientales, sociales y económicos

VÍCTOR O. MAGAÑA RUEDA Y CARLOS GAY GARCÍA



## INTRODUCCIÓN

En años recientes el estudio de los factores que regulan el clima del planeta ha registrado un considerable avance. Hoy es común que se hable del fenómeno El Niño o del cambio del clima, asociándoseles (a veces equivocadamente) con desastres naturales, impactos en actividades socioeconómicas, y desafortunadamente, con daños a la población. Estadísticas de la Cruz Roja y otros organismos de ayuda internacional indican que en el mundo el número de gente afectada por

desastres naturales varía principalmente en relación con las condiciones extremas en el clima. Recursos esenciales como el agua dulce comienzan a escasear de manera significativa a nivel mundial resultado de alteraciones climáticas, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria, la salud humana y ambiental y la estabilidad política, tanto nacional como internacional.

La evidencia observacional indica que muchos de los cambios climáticos a escala regional, principal-

mente aquellos relacionados con la temperatura ya han afectado a un gran número de sistemas físicos y biológicos. Aunque se sospecha que los cambios en la precipitación también tendrán un gran impacto en los mismos, no existen datos para un periodo lo suficientemente largo que permitan definir con precisión cómo serán esos cambios a escala regional. Existen indicaciones preliminares de que algunos de los sistemas humanos están siendo afectados por el aumento en la frecuencia de inundaciones y sequías. Quizá para México los cambios climáticos de mayor relevancia serán aquellos asociados a la precipitación, pues viviendo en un país con extensas regiones semiáridas, la disponibilidad de agua se vuelve un elemento de seguridad nacional.

Uno de los mayores retos de las ciencias atmosféricas ha sido entender los cambios que anualmente se producen en el clima. Condiciones extremas son, por ejemplo, las causantes de los periodos de sequías, que en múltiples ocasiones han producido cosechas pobres, hambrunas, problemas de salud y migraciones masivas de población. Hoy en día, no sólo la agricultura se ve afectada por la variabilidad en el clima, sino también otras actividades económicas como la generación y consumo de energía eléctrica, la pesca, la acuicultura, los asentamientos humanos, el turismo, la ganadería, el uso de recursos hídricos (presas), las aseguradoras, los bancos, el transporte e incluso la salud, debido a la gran cantidad de enfermedades relacionadas con las condiciones extremas del clima (sequías contra inundaciones). Por ejemplo, el dengue, la malaria, el cólera y las enfermedades respiratorias guardan una relación estrecha con las fluctuaciones estacionales de temperatura y humedad (véase el artículo de Irina Ize Lema en esta *Gaceta ecológica*). También la variabilidad del clima incide en la calidad del aire de las regiones urbanas, ya que cambios en la temperatura y la humedad relativa modifican la reactividad general del smog fotoquímico y la formación de aerosoles.

En nuestro país la variabilidad climática en escalas estacionales e interanuales (fenómenos El Niño-La Niña) tiene grandes impactos en los patrones de variabilidad de la precipitación. De manera general, podemos decir que las lluvias de invierno en años El Niño se intensifican (por ejemplo los inviernos de 1982-1983, 1986-1987, 1991-1992, y 1997-1998) y se debilitan durante los correspondientes veranos. Lo opuesto ocurre aproximadamente durante años de La Niña. En inviernos El Niño, la corriente de chorro de latitudes medias se desplaza hacia el sur, provocando una mayor incidencia de frentes fríos y lluvias en las zonas norte y centro de México. Durante veranos de El Niño, las lluvias en la mayor parte de México disminuyen, apareciendo incluso condiciones de sequía. Por el contrario, en años de La Niña las lluvias parecen estar por encima de lo normal en la mayor parte del país.

En verano, nuestra región se ve afectada por huracanes. En años El Niño disminuye la actividad de huracanes en el Atlántico, mar Caribe y Golfo de México. Tal relación tiende a revertirse en años La Niña. Sin embargo, aún no es claro en qué parte del océano se formaran más huracanes y tormentas tropicales y si tenderán a seguir trayectorias cercanas o alejadas de nuestras costas. De acuerdo con una nota recién publicada por la NOAA, actualmente el océano Atlántico ha entrado en un periodo de mayor actividad energética, lo cuál propiciará una mayor cantidad de eventos (tormentas, huracanes, etc.), los cuales aumentarán el riesgo de impactos sobre nuestras costas.

La experiencia de las fluctuaciones en el clima bien podría servir de ejemplo del tipo de condiciones climáticas que México pudiera experimentar bajo cambio climático. Aunque con gran incertidumbre, algunos estudios sugieren que bajo un calentamiento global, el ciclo El Niño/Oscilación del Sur (ENOS) podría ser más frecuente e intenso. De esta manera, la vulnerabilidad a variaciones climáticas puede ser medida de acuerdo con las más recientes experiencias de

condiciones El Niño, por ejemplo, durante 1997 y 1998.

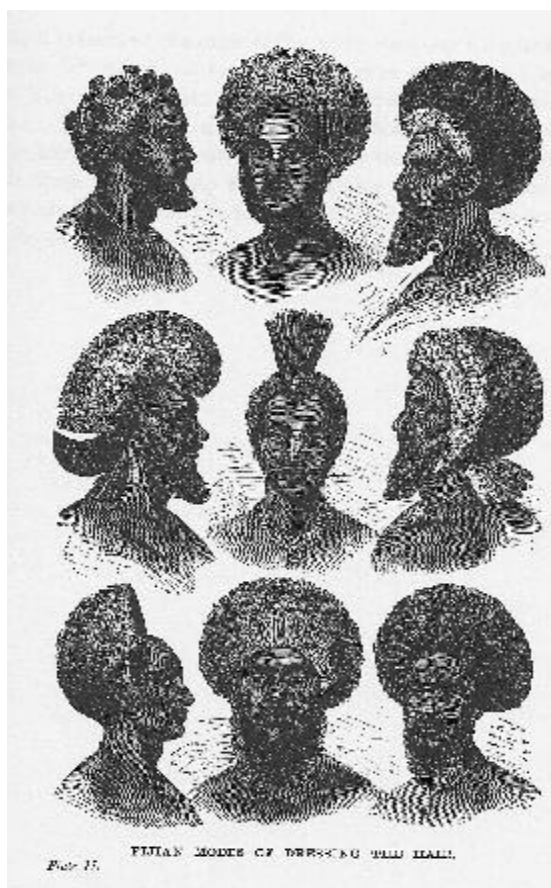
Aunque Mesoamérica es una de las regiones en las que la señal de El Niño es más intensa, el problema de la predicción del clima estacional no ha sido resuelto. El Niño puede impactar en diversas maneras el clima, principalmente cuando se consideran condiciones regionales. Esto se debe a que existen factores que afectan el clima de la región que sólo han sido estudiados parcialmente. Así, anomalías en las temperaturas del mar Caribe y el Golfo de México, o cambios en el uso de suelo, entre otros, pudieran ser moduladores importantes de las lluvias regionales.

#### **TRABAJOS RECIENTES EN CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO**

Recientemente apareció la revisión del estado actual del conocimiento sobre cambio climático elaborada por el Panel Intergubernamental para el estudio del Cambio Climático, conocido como IPCC por sus siglas en inglés. En el reporte elaborado por el Grupo de Trabajo II, encargado del estudio de Impactos, vulnerabilidad y adaptación, se presenta una revisión detallada para Norteamérica y Latinoamérica. En ambas secciones se hace referencia a aspectos de la vulnerabilidad de México a la variabilidad y al cambio climático. Una lista de las referencias hechas a trabajos sobre México se encuentra al final de este artículo.

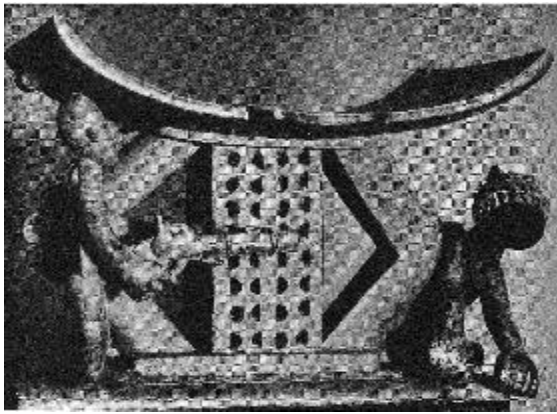
Adicionalmente se cuenta con revisiones de diferentes estudios sobre el cambio climático en México, en particular la Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de Cambio Climático. En dicho trabajo se analiza básicamente lo relacionado con:

- i) El inventario nacional de emisiones.
- ii) La vulnerabilidad ante el cambio climático.



- iii) Medidas de mitigación.

La *Primera Comunicación Nacional* se basa en gran medida en los resultados que se obtuvieron en el *Estudio de País: México*, coordinado por el Instituto Nacional de Ecología. Así, los trabajos anteriores dan una muestra del estado de vulnerabilidad de México ante condiciones extremas en el clima. En ambos casos se presenta un análisis de las condiciones de vulnerabilidad realizados hasta mediados de los años noventa. De entonces a la fecha han ocurrido cambios que han llevado al planteamiento de nuevas opciones de mitigación y adaptación. Algunas de estas propuestas se ven reflejadas en la Segunda Comunicación Nacional, realizada por el Comité Intersecretarial de Cambio Climático, en donde se



enuncian acciones específicas de mitigación de emisiones.

Es necesario sin embargo, realizar un análisis más detallado de los sectores más vulnerables ante el cambio climático. De acuerdo con los resultados del Estudio de País.

- La agricultura de temporal, se vería afectada en áreas que en la actualidad son medianamente aptas para el cultivo del maíz reduciéndose así la extensión para su cultivo, lo cual afectaría la subsistencia de millones de personas.
- La incidencia de algunas enfermedades transmitidas por vector (fiebre amarilla, dengue, malaria, además de las clásicas enfermedades gastrointestinales) se podría ver incrementada. La mal adaptación al problema del agua, con gente almacenando este recurso en botes o tambos podría inducir brotes de paludismo.
- Más de 15 mil kilómetros cuadrados de zonas costeras se podrían ver amenazados por la elevación del nivel del mar, afectando por igual a los ecosistemas, la ganadería y la agricultura. Zonas que requieren especial atención son las desembocaduras del río Bravo, en Tamaulipas, del Usumacinta y Grijalva en Tabasco, las lagunas costeras en Veracruz, etc. En algunos luga-

res el agua de mar podría introducirse más de 40 kilómetros tierra adentro.

- Las industrias que requieren el agua como insumo se podrían ver amenazadas. La generación de energía eléctrica competiría por este recurso con el consumo humano y la agricultura. El país, de acuerdo con los diferentes escenarios, también presenta una tendencia a la desertificación (erosión) que podría verse agravada. Habría que tratar de revertir esta tendencia al menos en lo que toca al desordenado cambio de uso de suelo.
- Muchos ecosistemas también se verían amenazados. El 50% de la vegetación cambiaría de características con un calentamiento de 3 a 4 °C principalmente en los bosques templados de pino y encino, y con ellos, la fauna y flora asociadas.

#### **ESCENARIOS CLIMÁTICOS RECIENTES**

Las estrategias seguidas hasta ahora para generar escenarios climáticos futuros son diversas. Se pueden tomar directamente las salidas de los modelos, bajo la consideración que no reflejan totalmente la dinámica atmosférica en los trópicos, ni los efectos locales de cambios en la precipitación, entre muchos otros aspectos. Los escenarios construidos hasta ahora a partir de modelos o técnicas de reducción de escala sugieren que la precipitación en muchas regiones del país podría disminuir, en forma similar a lo que acontece en veranos El Niño en México. Bajo un escenario de cambio climático con condiciones de sequía prolongada, el desarrollo sostenido de la sociedad estaría en serio peligro.

Los resultados del Estudio de País presentados en la Primera Comunicación Nacional de México sugieren que las variaciones en el ciclo hidrológico para esta nación estarán estrechamente relacionadas con la ocurrencia de El Niño o La Niña, es decir, con los ciclos de fenómeno denominado El Niño/Oscilación

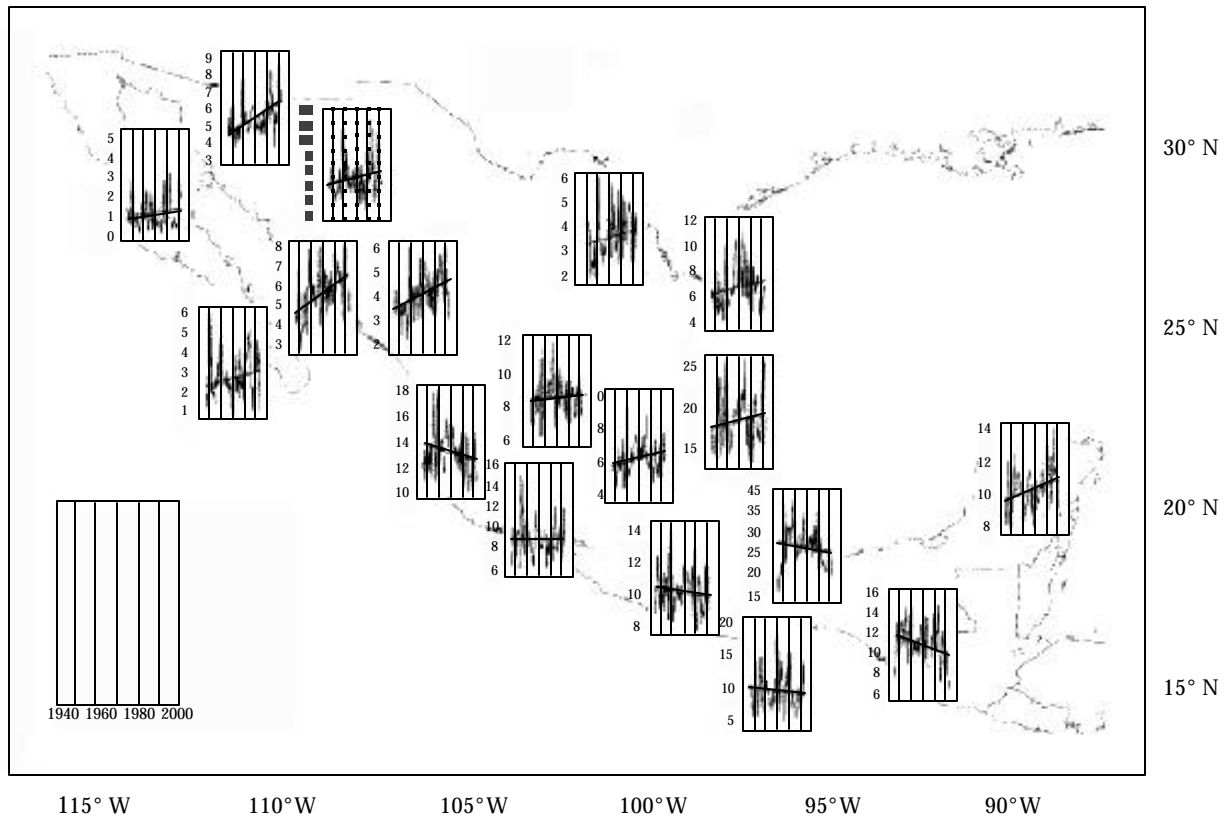
del Sur (ENSO). Las tendencias encontradas en la precipitación indican un aumento en las lluvias en la región norte del país, mientras que en el sur la tendencia es negativa (figura 1). Dicho análisis indica que los fenómenos El Niño más frecuentes e intensos de las últimas dos décadas han dejado una señal en la lluvia acumulada anual. Por tanto, es El Niño el fenómeno de mayor importancia como modulador de las lluvias en México.

La propuesta de escenario anterior confirma los resultados presentados por Magaña y Conde (1999) sobre las lluvias en el noroeste de nuestro país. En dicho trabajo se concluye que existe una ligera tendencia hacia una mayor precipitación en el norte del país, pero que, sin embargo, el aumento exponencial

en la demanda de agua se ha traducido en los últimos años en reportes de sequía.

Los análisis de las tendencias de precipitación en regiones donde la temperatura ha aumentado sustancialmente, indican que no sólo la lluvia acumulada puede variar, sino también la forma en que llueve. Así por ejemplo, la ciudad de México, cuya temperatura ha aumentado en más de cuatro grados centígrados desde principios de siglo, experimenta hoy en día más tormentas severas (aguaceros) que hace cincuenta o cien años. Los efectos de las Isla de Calor, resultado de la urbanización y cambios sustanciales en el paisaje se han combinado para llegar a tal condición. Es poco claro si el calentamiento registrado hasta ahora en otras partes de

FIGURA 1. TENDENCIA DE LA PRECIPITACIÓN (MM/DÍA) POR REGIONES PARA EL PERIODO 1945-1995  
 MEDIAS ANUALES DE PRECIPITACIÓN REGIONAL PREPARADAS POR A. DOUGLAS.



México ya se comienza a reflejar en un aumento en el número de eventos extremos. Las evidencias observacionales en ese sentido no permiten hasta ahora concluir al respecto.

El calentamiento global viene acompañado por una elevación del nivel del mar debido a la expansión térmica de los océanos; ésta se traduce en que zonas costeras bajas (digamos, por debajo de los 2 m por arriba de la marea alta) se vuelven vulnerables a las inundaciones. Esto se ilustra en la figura 2, donde se observa que los estados de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Yucatán y Quintana Roo se verían afectados.

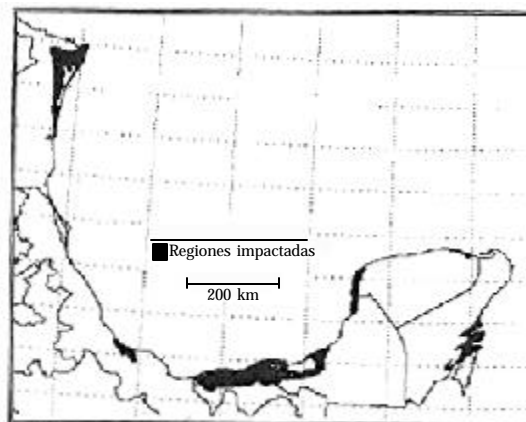
Las actividades productivas que dependen del agua como insumo se verían afectadas por el cambio al resultar afectadas también la distribución y abundancia de ésta. En resumen, el cambio climático tendría serias consecuencias para México exponiéndolo a cuantiosas pérdidas de toda índole.

La vulnerabilidad del país, al igual que en el caso del resto de las naciones en desarrollo, es mayor que la de los países desarrollados. La razón básica de esta diferencia radica en los recursos disponibles para adaptarse al cambio, que son mucho mayores en los países industrializados. Por lo anterior, México está preocupado por el cambio y dispuesto a hacer lo que esté en sus posibilidades para mitigarlo.

Un elemento importante en materia de escenarios de cambio climático es la selección objetiva de los modelos de circulación general que se utilizan para generar escenarios futuros de las variables climáticas. Por ejemplo, para el caso de la temperatura, se encuentra que los modelos HADCM2 y EHCAM4 generan los mejores escenarios de cambio de temperatura en México.

Las gráficas de la página siguiente muestran una comparación del ciclo anual de la temperatura pronosticada para el año 2050 y de la temperatura observada en algunas regiones de México.

FIGURA 2. REGIONES IMPACTADAS POR EL ASCENSO EN EL NIVEL DEL MAR



## ANÁLISIS POR SECTORES

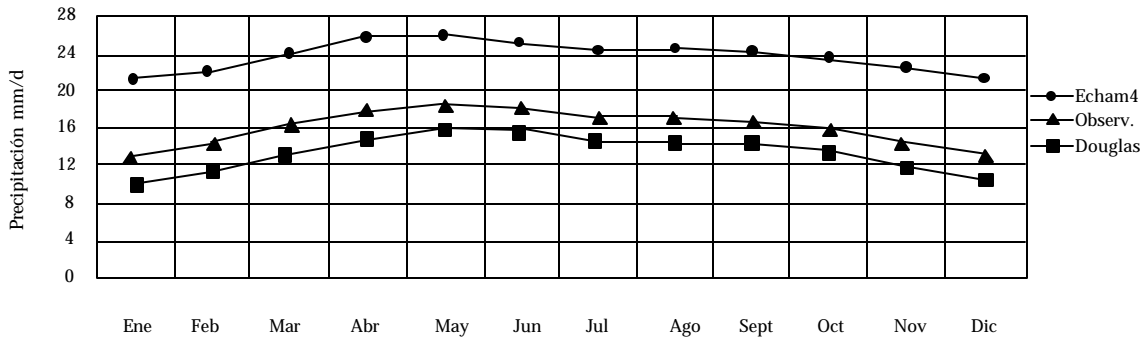
### RECURSOS HÍDRICOS: SEQUÍAS E INUNDACIONES

En los años 1982-1983 los efectos de «El Niño» fueron severos, provocaron sequías, incendios y pérdidas estimadas en cerca de 600 millones de dólares en las economías de México y de Centro América. Durante los años 1991-1995 se estableció un periodo de «El Niño» que si bien no fue tan intenso como el mencionado, coincidió con una de las sequías más prolongadas de la región. Esta produjo problemas internos y externos por el uso de agua en las presas. «El Niño» durante 1997-1998 causó grandes impactos en la región: inundaciones intensas; o sequías con un costo de varios miles de millones de dólares. La gran dependencia de la agricultura de las lluvias de verano resulta en gran vulnerabilidad de este sector a los cambios que un cambio climático pudiera traer en el ciclo hidrológico.

En los países desarrollados usan la mayor parte de sus recursos hídricos en procesos industriales. Por ejemplo, Canadá usa 80% del agua en la industria, 12% de

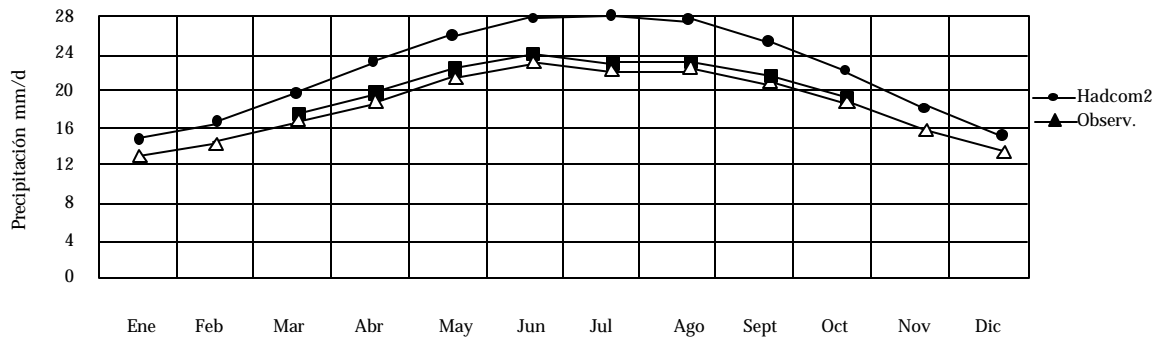
COMPARACIÓN ENTRE LA TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL OBSERVADA (1961-1990)

Y LA PRONOSTICADA PARA EL AÑO 2050 POR EL MODELO ECHAM4 PERIODO 1986-2015 EN LA REGIÓN DOUGLAS 12



COMPARACIÓN ENTRE LA TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL OBSERVADA (1961-1990)

Y LA PRONOSTICADA PARA EL AÑO 2050 POR EL MODELO HADCM2 PERIODO 1986-2015 EN LA REGIÓN DOUGLAS 6



uso domestico y 8% en agricultura; los Estados Unidos de Norte América, 46, 12 y 42%, Alemania, 70, 10 y 20%, Francia, 69, 16 y 15%, Inglaterra 77, 20 y 3%, en México se usa 8% en la industria, 6% uso domestico y 86% en la agricultura.

De acuerdo con estudios recientes de la Comisión Nacional del Agua:

- El porcentaje de consumo nacional de agua por sector en México es: agricultura 83%, abasto urbano 12%, industria 5%.
- La disponibilidad de agua anual por habitante en 1955 era de 11,500 m<sup>3</sup>; en 1999 fue de 4,900

m<sup>3</sup> y se prevé que para el 2025 será de 3,500 m<sup>3</sup> (por debajo del consumo medio).

- El costo actual del m<sup>3</sup> de agua es de 45 centavos de dólar, mientras que en Francia por ejemplo es de dos dólares.
- El total del consumo de tomas domiciliarias en Ciudad Nezahualcóyotl, en el estado de México, mismas que no pagan lo que consumen es de millón y medio de m<sup>3</sup>.
- Las entidades federativas que abastecen a la Ciudad de México son: el estado de México, Michoacán e Hidalgo con 18, 14 y 4 m<sup>3</sup>/seg, respectivamente.

La distribución espacial del recurso agua en México dista mucho de ser uniforme. El 50% de la población cuenta con menos del 20% de este recurso, mientras que en el sudeste del país, el 20% de la población tiene más del 50% del agua. Con poca precipitación en el norte y mucha en el sur, el cambio climático podría traducirse, de acuerdo con los escenarios del *Estudio de País*, en escasez de agua en el norte y exceso hacia el sur. Además, dado que actualmente todas las cuencas hidrológicas en el país son vulnerables de acuerdo con los criterios utilizados en el *Estudio de País* y a las fluctuaciones climáticas, la situación probablemente se vería empeorada en condiciones de cambio climático. La administración de los recursos hídricos se complicaría, agravándose incluso los problemas existentes de manejo de recursos transfronterizos. El agua es probablemente el recurso más importante para el país, por lo que requiere de atención especial, en particular las cuencas del centro de México: la del Lerma-Chapala-Santiago y la cuenca del Pánuco.

Bajo cambio climático, la disponibilidad de agua se vería reducida y la competencia por dicho recurso podría provocar problemas sociales. Los conflictos recientes entre estados por el acceso al agua de ciertas presas compartidas comienzan a mostrar algunos de los problemas. Incluso uno de los problemas fronterizos con Estados Unidos de América que mayor preocupación causan es el relacionado con el agua, tal y como lo reporta el IPCC en su reporte más reciente del grupo de trabajo II.

#### AGRICULTURA

Estimaciones preliminares indican que durante la sequía debida a «El Niño» más reciente (1997-1998) en México se perdieron más de tres millones de toneladas de maíz y se produjeron daños cercanos a los 460 millones de dólares. Estudios del posible impacto del cambio climático en la agricultura arrojan resultados

similares. De presentarse condiciones de sequía más frecuente, las pérdidas en este sector serán mayores.

Entre 1980 y 1998, el 43% de la agricultura mexicana fue de temporal para el ciclo otoño invierno, llegando al 80% para el ciclo primavera-verano. Tal condición vuelve a la agricultura mexicana muy vulnerable a las fluctuaciones en el clima. Los cultivos bajo irrigación no se ven en principio tan afectados como los de temporal, a menos que la disponibilidad de agua en presas se vea reducida substancialmente. Tanto los cultivos de temporal como los de irrigación están sin embargo expuestos de la misma manera a cambios en la temperatura. Los cambios en la producción agrícola se verán reflejados en precios, lo cual afectará al resto de la sociedad.

Existen diferentes estrategias para evaluar el potencial impacto del cambio climático en la agricultura. Una de las más populares consiste en el uso de modelos agroclimáticos, con modelos de rendimiento como el CERES-Maize utilizado en el *Estudio de País*. En dicho trabajo se concluye que en la mayor parte del país los efectos del cambio climático bajo diferentes escenarios serían de reducción en los rendimientos en el cultivo del maíz.

La gran dependencia de la agricultura a las fluctuaciones en las lluvias se puede entender al realizar análisis de sensibilidad. En general, el proponer aumentos en la precipitación resulta en aumentos en los rendimientos. Sin embargo, de ser altos los aumentos en la precipitación se podrían presentar disminuciones en los rendimientos debido a procesos de erosión o lavado de nutrientes del suelo.

#### ASENTAMIENTOS HUMANOS

México tiene una de las tasas en el ámbito mundial de mayor crecimiento urbano. En 1970 la población en la zona urbana era del 59%, en 1995 ya había subido a 75%. Esto ha aumentando grandemente los problemas sociales, alimentarios y de salud de las





zonas urbanas. En México existen actualmente alrededor de 18 millones de habitantes asentados en lugares de alto riesgo ante los eventos de inundación. Esto hace que 1/5 de la población del país, tenga uno de los grados de vulnerabilidad más alta ante las variaciones climáticas ocasionadas por los eventos de «El Niño-La Niña» o por las tendencias al aumento de eventos hidrometeorológicos extremos ocasionados por el calentamiento del planeta, por ejemplo, los huracanes de mayor magnitud.

Los asentamientos humanos serían vulnerables en cuanto a la satisfacción de sus requerimientos de agua y comida, además de requerir, posiblemente, un consumo mayor de energía para el control de la temperatura en casas e industrias, así como para la conservación de alimentos. Estas demandas extras constituirán un reto al sistema energético mexicano. Un posible incremento de la demanda de energía en el futuro, en combinación con una disminución del agua disponible para generación, combinadas con varia-

ciones de los precios de los combustibles requieren consideración especial.

#### PESCA

La determinación de los impactos del cambio climático en la pesca mexicana no es fácil de obtener. Algunos estudios sugieren que la productividad en este sector dependerá de la frecuencia con que se presente el fenómeno El Niño. Sin embargo, los mayores cambios en algunas especies pelágicas están relacionados con variaciones interdecadales en el clima.

El sector pesquero es fuertemente afectado por las condiciones climáticas extremas. Por ejemplo, en 1998, la producción del erizo cayó de un ingreso promedio de siete millones de dólares a la mitad, la langosta cayó en un 25% (de 4 a 3 millones de dólares), el abulón en un 30% (de 30 a 21 millones de dólares). Otros recursos bentónicos como el caracol, pepino y el camarón, sufrieron un decremento del 25%.

La producción de las macroalgas (sargazo) se redujo en un 70%. Cabe decir que aunque en 1998 se aumento el esfuerzo pesquero en un 10%, en general, se ha estimado que la producción pesquera decreció entre el 25% y el 40% por efectos del evento de «El Niño» pasado. Estimaciones de los efectos económicos directos del Niño en México, sitúan las pérdidas en el orden de los 70 millones de dólares.

#### BOSQUES Y FUEGOS

Durante 1998, debido a la sequía, los fuegos destruyeron enormes cantidades de bosques. Se crearon condiciones de alta contaminación atmosférica, que además de afectar a la población de Mesoamérica, afecto a la población de los estados vecinos de los Estados Unidos de América. Se estima que sólo en México se incendiaron cerca de 400,000 ha de las cuales un 24% fueron bosques. El estrés hídrico en la vegetación, producto del déficit en precipitación por El Niño, se reflejó en una de las situaciones de mayor riesgo para este sector en los últimos años. Ante ello, las prácticas tradicionales de roza, tumba y quema se convirtieron en el detonante del mayor número de incendios forestales del que se tiene registro.

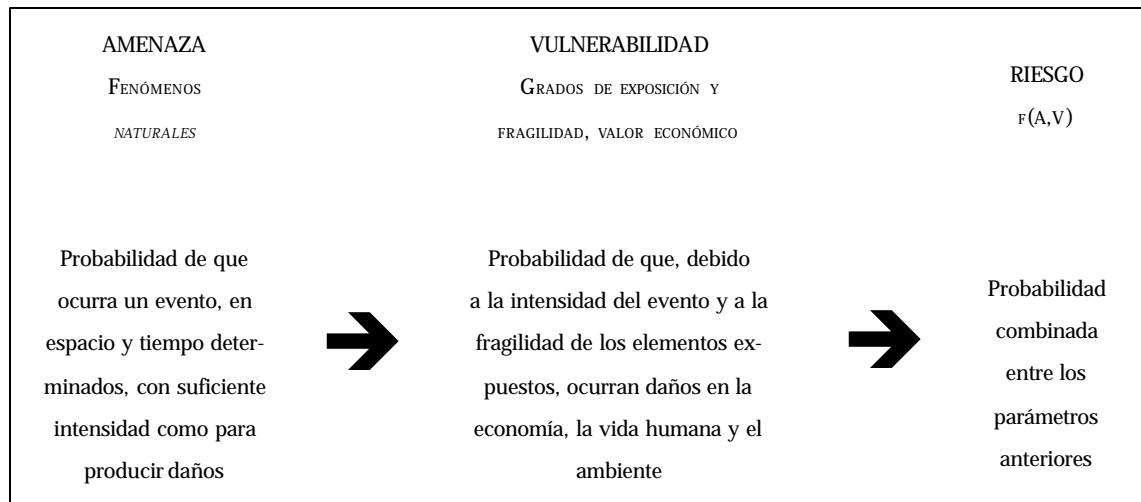
#### PRIORIDADES ANTE LA VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad de un país determinado ante condiciones extremas en el clima, está en relación inversa con:

- i) la difusión y comprensión de los pronósticos climáticos,
- ii) la capacidad técnica para aplicar medidas preventivas, y
- iii) la disponibilidad de recursos financieros para aplicar esas medidas.

Una definición de riesgo, de acuerdo con la Comisión Económica para América Latina (CEPAL) puede expresarse como una función dependiente de la amenaza y la vulnerabilidad. La amenaza que cada país debe hacer frente por los fenómenos naturales (por ejemplo, aquellos derivados del cambio global) presenta una intensidad constante o en aumento y se halla siempre presente. Por su parte, la vulnerabilidad, que se define como el grado de exposición de los países a las amenazas, puede ir en aumento o ser disminuida mediante acciones concretas (figura 3).

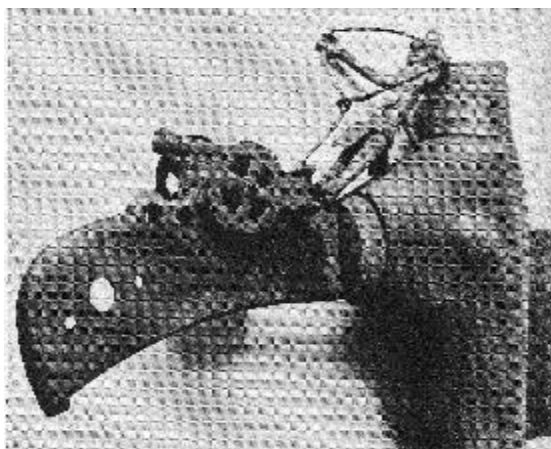
FIGURA 3. DEFINICIÓN DE RIESGO



Brasil y Australia son ejemplos en cuanto a acciones estratégicas para mitigar y/o adaptarse a condiciones extremas del clima, como aquellas durante El Niño. En Estados Unidos de América, por ejemplo, ya se han integrado comisiones de prevención de desastres ante los potenciales impactos de El Niño.

En México, ya se han iniciado algunas acciones preventivas para atenuar los impactos negativos de El Niño. Por ejemplo, en la planeación de actividades de agricultura, en función de los pronósticos regionales de lluvia; en la administración de agua de algunas presas (sequía versus inundaciones), determinando prioridades productivas de la región (irrigación, ganadería, usos domésticos, industriales, turísticos, hidroeléctricas, etc.). Durante el evento pasado de «El Niño», en varias regiones de la zona afectada se desarrollaron programas de alerta en las zonas urbanas para prevenir a la población ante posibles inundaciones por las lluvias intensas. Asimismo, se inició la difusión de alerta de presas ante los posibles desbordamientos y ante las sequías. Poco a poco se avanza en cuanto al uso de los pronósticos para la prevención de incendios forestales. La experiencia muestra que, además de difundir las medidas de seguridad entre los grupos de productores agrícolas que queman parte de los bosques, es necesario también difundir las medidas de alerta por las posibilidades de incendios naturales.

A pesar de intentos preliminares de aplicaciones de planeación tomando en cuenta la información climática, las necesidades de México en cuanto a información apropiada para mejorar la toma de decisiones, tanto de organizaciones gubernamentales como de los sectores sociales y privado, para todos los sectores y recursos sensibles a las variaciones del clima, son inmensas. Es claro que falta mucho camino por recorrer, pues el reto de pronosticar adecuadamente el clima, y generar información climática útil, no sólo en agricultura, sino para muchos otros sectores es grande. No debe esperarse a generar pronósticos per-



fectos para hacer uso de estos en planeación. Existen las instituciones de salud, los grupos de protección civil, el sector Comunicaciones y transportes, Medio ambiente, Pesca y otros, que con mayor frecuencia requieren de esta información.

Son relativamente pocos los estudios sobre el clima mexicano que permitan pronosticarlo, y más importante aún, no ha existido un acercamiento duradero entre los sectores productivos y el sector científico. Sólo algunas iniciativas tienden a que la información climática sea utilizada por agricultores. Así por ejemplo, en México se ha comenzado a probar y evaluar el impacto que los pronósticos de lluvias de verano tienen en la producción agrícola del ciclo verano en el estado de Tlaxcala. Los resultados del último año parecen ser alentadores, principalmente por el acercamiento y entendimiento que comienza a darse entre científicos, productores y las autoridades de gobierno encargadas de brindar apoyo a estos grupos. En nuestro proyecto, se pretende utilizar esta experiencia en una región donde la señal El Niño es más intensa y donde las probabilidades de planear usando pronósticos climáticos es mayor.

Un mayor conocimiento de los impactos de los fenómenos de El Niño-La Niña en los patrones de precipitación y, por lo tanto, en la disponibilidad de



agua permitirá un manejo más apropiado de este recurso. Asimismo, proveerá información apropiada para que los diferentes sectores socioeconómicos sensibles a las variaciones del clima tengan los elementos para mejorar la toma de decisiones. El conocimiento de lo que el cambio climático depara en cuanto a lluvias es por tanto crucial para definir estrategias adecuadas de adaptación. Un resumen de la vulnerabilidad ante El Niño en México a nivel estatal se muestra en el cuadro 1 de la página siguiente.

La demanda de productos climáticos en los países desarrollados ha aumentado considerablemente. Productores agrícolas, aseguradoras, consorcios pesqueros, compañías generadoras de energía, etc., están expresando gran interés en conocer cuales serán las condiciones climáticas probables, para considerarlas como elemento adicional de planeación.

#### **PROPUESTAS PRELIMINARES DE ADAPTACIÓN**

##### ESQUEMAS ESTRUCTURALES

El elemento agua es quizá el más importante en la planeación de actividades agrícolas y ambientales. En nuestra región, el desarrollo a futuro de las comunidades dependerá de la disponibilidad de este elemento. Los pronósticos de lluvias serán de gran valor en el manejo de este recurso en presas, ríos, etc. Sin embargo, para una verdadera adaptación se tendrá

que pensar en medidas estructurales en cuanto al manejo del agua.

Considerando que el mayor porcentaje de agua disponible se utiliza en actividades agrícolas será necesario replantear los mecanismos de riego utilizados hasta ahora. Por ejemplo, en la Comisión Nacional del Agua se tiene contemplado disminuir las zonas de riego por inundación cambiando a formas de riego mucho más eficiente como pueden ser las metodologías de riego por goteo.

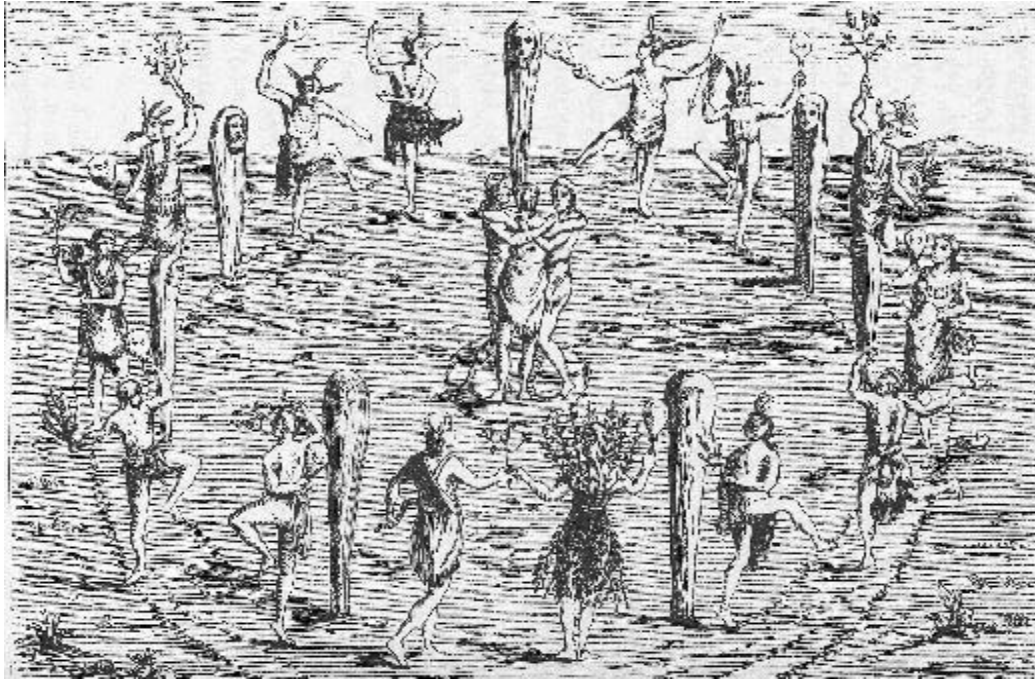
Adicionalmente, las formas de reuso del agua urbana o incluso de desalinización de agua de mar comienzan a verse como soluciones reales al problema de escasez de dicho elemento. La desalinización es una realidad en muchos países donde el agua es escasa: el Caribe, Arabia Saudita, California, etc. Los costos de esta estrategia de adaptación se han reducido notablemente en los últimos años por lo que la adaptación en esta dirección comienza a ser considerada seriamente.

La componente continental del clima adquiere cada vez mayor importancia a la hora de analizar cambios en el clima. Los cambios en el uso de suelo, tales como la deforestación o el crecimiento de los desiertos, han mostrado alterar el clima a nivel regional en ciertas partes del mundo. El grado de humedad en el suelo es clave para realizar pronósticos más acertados de las anomalías en las lluvias. Los cambios en el clima que experimentemos relacionados con el uso

CUADRO 1. VULNERABILIDAD EN MÉXICO POR EL FENÓMENO DE EL NIÑO Y LA NIÑA

ENTIDAD FEDERATIVA	NIÑO							NIÑA										
	VERANO			INVIERNO		ANUAL				VERANO	INVIERNO	ANUAL						
	S	M	HURAC.	B	NORTES	S	I	C	C	C	C	CAPTURA		BAJA	C	C	CAPTURA	
Aguascalientes	B	A				B	B	*	*	*	*	*				*	*	*
Baja California		A				*	B	B		A	M			B		A		
Baja California Sur			A			*	B	M				B	B		B	A	A	A
Campeche		M	A		A	*	B	*	*	*	*	*	*			*	*	*
Coahuila	B	A		B		*	M	*	*	*	*	*	*			*	*	*
Colima	B	M				*	M	*	*	*	*			B		*	*	*
Chiapas		M					A	*	*	*	*		B			*	*	*
Chihuahua	B	M		B		*	M	*	*	*	*	*	*			*	*	*
Distrito Federal	B	B					B	*	*	*	*	*	*			*	*	*
Durango	B	A		B		A	M	*	*	*	*	*	*			*	*	*
Guanajuato	B	A					B	*	*	*	*	*	*			*	*	*
Guerrero	B	M		B			M	*	*	*	*	*	*		B	*	*	*
Hidalgo	M	M		B		*	M	*	*	*	*	*	*			*	*	*
Jalisco	B	M	M	B			M	*	*	*	*	*	B			*	*	*
México	B	B		B		B	M	*	*	*	*	*	*			*	*	*
Michoacán	B	M					M	*	*	*	*	*	M			*	*	*
Morelos	B	B					B	*	*	*	*	*	*			*	*	*
Nayarit	B		M	B		*	B	*	*	*	*	*	*			*	*	*
Nuevo León	B	A				*	M	*	*	*	*	*	*			*	*	*
Oaxaca	M	M					A	*	*	*	*	*	M			*	*	*
Puebla	M	M					M	*	*	*	*	*	*			*	*	*
Queretaro	M	A		B		*	M	*	*	*	*	*	*			*	*	*
Quintana Roo		B	A		A	*	B	*	*	*	*	*	*			*	*	*
San Luis Potosí	B	A		B			M	*	*	*	*	*	*			*	*	*
Sinaloa	B	A		B			B					B				B		M
Sonora	B	M		B		*	B		M	B				B		*	A	A
Tabasco		B			A		M	*	*	*	*	*	*			*	*	*
Tamaulipas	B	A	B				M	*	*	*	*	*	*			*	*	*
Tlaxcala	M	B				*	B	*	*	*	*	*	*			*	*	*
Veracruz	B	B			A	*	B	*	*	*	*	*	*			*	*	*
Yucatán		B	A		A	*	B	*	*	*	*	*	*			*	*	*
Zacatecas	B	M		B		M	B	*	*	*	*	*	*					

A= alta M= media B= baja \*= Sin información



del suelo pueden ser incluso más notables que aquellos producidos por el calentamiento global. Aunque las series de tiempo de precipitación no permiten dar una respuesta contundente al planteamiento de cómo cambia la lluvia bajo deforestación, los modelos sugieren que el cambio de bosques a zonas de pastizales para ganadería o a tierras de cultivo resulta en disminución en las precipitaciones. Es por ello que en el caso de México la propuesta de reforestar corresponde a una situación en la que todos ganan pues:

- Se captura bióxido de carbono
- Se propicia mayor humedad en el suelo y posiblemente más lluvia
- Se recuperan los bosques del país

En este sentido, resulta imprescindible considerar como una medida de adaptación estructural la implementación de esquemas de reordenamiento territorial, con éstos se puede tener un mejor control sobre el uso del suelo, así como disminuir la vulnerabilidad de las

poblaciones expuestas a fenómenos hidrometeorológicos que se deriven del cambio climático.

#### MEDIDAS NO ESTRUCTURALES

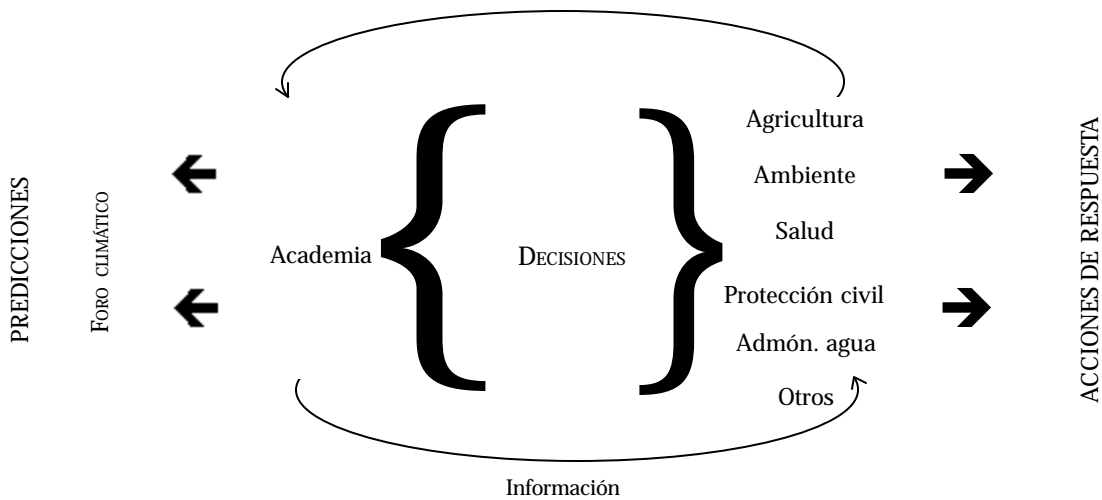
Un segundo aspecto de vital relevancia para disminuir la vulnerabilidad y que constituye al mismo tiempo una medida de adaptación ante los impactos del cambio climático es la toma de medidas no estructurales. Estas medidas se constituyen en los sistemas que permiten la correcta toma de decisiones y acciones obligadamente preventivas.

Desde la segunda mitad del año dos mil, la Organización Meteorológica Mundial y el Banco Interamericano de Desarrollo, realizan un estudio sobre la predicción y atenuación de los impactos negativos de El Niño / Oscilación del Sur en México y el Caribe. El objetivo final de este estudio es el implementar sistemas de alerta temprana ante El Niño, que permitan reducir las pérdidas socioeconómicas asociadas a éste.

El sistema de alerta temprana ante El Niño es un sistema complejo, de múltiples variables. Además involucra a diversos actores para que intercambien información y productos y permitan su retroalimentación. Es en este sentido, que las instituciones de México deberán participar activamente del sistema de alerta temprana, para hacer realidad la disminución de la vulnerabilidad. La información climática y de pronóstico disponible actualmente resulta ya de gran utilidad. El flujo dentro del sistema de alerta temprana ante El Niño se muestra en la figura 4.

Finalmente es importante establecer el peligro que representa la mala adaptación. Algunas estrategias de adaptación no probadas o que no se sustentan en un conocimiento profundo de los mecanismos que controlan el clima pueden resultar en daños al medio ambiente agravando el problema del calentamiento global. Falsas estrategias de producción de lluvia (antenas ionizadoras), malas decisiones en agricultura, etc. pueden tener costos mayores a los que ya de por sí el cambio climático puede tener implícito.

FIGURA 4. SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA ANTE EL NIÑO

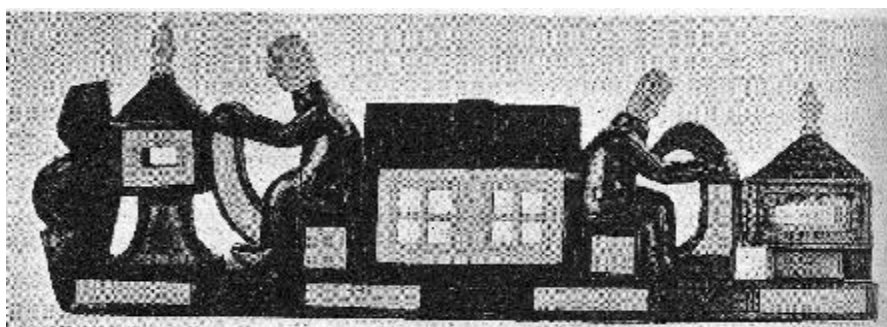


El uso de los sistemas de alerta temprana, no se limita sin embargo a reducir la vulnerabilidad ante El Niño.

Otros Sistemas de Alerta Temprana han empezado a implementarse ante otros eventos hidrometeorológicos extremos, como por ejemplo los huracanes y las inundaciones. Hoy en día, el Centro Nacional para la Prevención de Desastres ha puesto en marcha un SIAT. Este SIAT deberá también enriquecerse con el tiempo y beneficiar a los más diversos sectores.

#### BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, A. 1988. El Niño: sus efectos sobre el Norte de México. *Ingeniería Hidráulica en México* 3(1):13-29.
- Cavazos, T. 1998. Large-scale circulation anomalies conducive to extreme precipitation events and derivation of daily rainfall in northeastern Mexico and southeastern Texas. *Journal of Climate* 12(5): 1506-1523.
- Cavazos, T. y S. Hastenrath 1990. Convection and rainfall over Mexico and their modulation by the Southern



- Oscillation. *International Journal of Climatology* 10(4):377-386.
- Conde, C. 1999. Impacts of Climate Change and Climate Variability in Mexico. U.S. National Assessment, U.S. Global Change Research Program, Washington, DC. Se puede consultar en línea en: <http://www.nacc.usgcrp.gov/newsletter/1999.1O/Mexico.html>.
- Conde, C., D. Liverman, M. Flores, R. Ferrer, R. Araujo, E. Betancourt, G. Villareal y C. Gay 1997a. Vulnerability of rainfed maize crops in Mexico to climate change. *Climate Research* 9:17.
- Conde, C., D. Liverman y V. Magaña 1997b. Climate Variability and Transboundary Freshwater Resources in North America: U.S.-Mexico Border Case Study. Borrador final. Reporte preparado para la Commission on Environmental Cooperation, Montreal, Canadá, 44 pp.
- Delgadillo, M.J., O.T. Aguilar y V.D. Rodríguez 1999. Los aspectos económicos y sociales del El Niño. En: Magaña, V. (ed.). *Los impactos de El Niño en México*. SEP-CONACYT, UNAM, México.
- Gay-García, C. y L.G. Ruiz Suarez 1996. UNEP Preliminary Inventory of GHG Emissions: Mexico. UNEP, Geneva, Switzerland.
- Jáuregui, E. 1997: Climate changes in Mexico during the historical and instrumented periods. *Quaternary International* 43-44: 7-17.
- 1995. Rainfall fluctuations and tropical storm activity in Mexico. *Archiv Für Wissenschaftliche Geographie* 49: 39-48.
- Liverman, D., M. Dilley, K. O'Brien y L. Menchaca 1994. Possible impacts of climate change on maize yields in Mexico. En: Rosenzweig, C. y A. Iglesias (eds.). *Implications of Climate Change for International Agriculture: Crop Modeling Study*. U.S. Environmental Protection Agency, Mexico chapter, Washington, DC, pp. 1-14.
- Liverman, D. y K. O'Brien 1991. Global warming and climate change in Mexico. *Global Environmental Management* 1: 351-364.
- Lluch, B., D.S. Hernández, D. Lluch-Cota, C.A. Salinas, F. Magallon y F. Lachina 1991. Variación climática y oceanográfica global: sus efectos en el noroeste mexicano. *Ciencia y Desarrollo* 98: 79-88.
- Lluch-Cota, D.B., S. Hernández y S. Lluch-Cota 1997. Empirical Investigation on the Relationship Between Climate and Small Pelagic Global Regimes and El Niño-Southern Oscillation (ENSO). FIRM/C9334, FAO Fisheries Circular No. 934, Food and Agriculture Organization, Rome, Italy, 48 pp.
- Magaña, V. y C. Conde 2000. Climate and freshwater resources in northern Mexico, Sonora: a case study. *Environmental Monitoring and Assessment* 61: 167-185.
- Magaña, V. y A. Quintanar 1997. On the use of a general circulation model to study regional climate. En: *Proceedings of the Second UNAM-Cray Supercomputing Conference on Earth Sciences*, Mexico City. Cambridge University Press, pp. 39-48.
- Magaña, V., J.L. Pérez y C. Conde 1998. El Niño and its impacts on Mexico. Facultad de Ciencias, UNAM, Mexico.



- Magaña, V., C. Conde, O. Sánchez y C. Gay 1997. Assessment of current and future regional climate scenarios for México. *Climate Research*, 9(1): 107-114.
- Mendoza, M., E. Villanueva y J. Adem 1997. Vulnerability of basins and watersheds in Mexico to global climate change. *Climatic Research* 9: 139-145.
- Morales, T. y V. Magaña 1998. Climate variability and agriculture. *Claridades Agropecuarias* 3: 21-25
- Moreno, A.R. y R.U. Carcavallo 1999. An ecological approach to Chagas Disease epidemiology. En: Carcavallo, R.U., I. Galíndez-Girón, J. Jurberg y H. Lent (eds.). *Atlas of Chagas Disease Vectors in the Americas*. Volumen 3. FIOCRUZ, Brazil, pp. 981-998.
- Mundo, M.D. y P. Martínez Austria 1993. Cambio climático: posibles consecuencias y algunas sugerencias para disminuir su efecto en México. *Ingeniería Hidráulica en México* 18(1): 14-28.
- 1994. El cambio climático y sus efectos potenciales en los recursos hídricos y la agricultura del Valle del Yaui, Sonora (estudio preliminar indicativo). *Ingeniería Hidráulica en México* IX(1): 13-33.
- Villers, L. 1995. Vulnerabilidad de los Ecosistemas Forestales. *Country Study Mexico Report* 6.
- Villers-Ruiz, L. y L. Trejo-Vázquez 1997. Assessment of the vulnerability of forest ecosystems to climate change in Mexico. *Climate Research* 9: 87-93.
- 1998. Climate change on Mexican forests and natural protected areas. *Global Environmental Change* 8(2): 141-157.




---

VÍCTOR O. MAGAÑA RUEDA y CARLOS GAY GARCÍA son investigadores del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México. Correos-e: victormr@servidor.unam.mx y cgay@servidor.unam.mx.

ILUSTRACIONES: Página 7: Exposición en vivo de indígenas kwakiutl. Smithsonian Institution. Tomada de: Stocking, G. Jr. (editor) 1985. *Objects and others. Essays on museums and material culture*. University of Wisconsin Press. Páginas 9, 15 y 20; Lubbock, John 1978 (orig. 1870). *The origin of civilisation*. University of Chicago Press, Chicago y Londres. Las fotos restantes (páginas 10, 17, 18, 22 y 23) provienen de: Lips, Julius E. 1966. *The savage hits back*. University Books, New York.