

# Agua y clima: elementos para la adaptación al cambio climático

Rosalva Landa  
Víctor Magaña  
Carolina Neri



**GOBIERNO  
FEDERAL**

**SEMARNAT**



[www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx)



# Agua y clima: elementos para la adaptación al cambio climático

**Rosalva Landa**  
**Víctor Magaña**  
**Carolina Neri**



## Agua y clima: elementos para la adaptación al cambio climático

Rosalva Landa  
Víctor Magaña  
Carolina Neri

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales  
Blvd. Adolfo Ruiz Cortines 4209 Col. Jardines de la Montaña, 14210, Del. Tlalpan, México D.F.

Centro de Ciencias de la Atmósfera,  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, 04510, Del. Coyoacán, México D.F.



Foto: Edmundo Luján

Diseño editorial y foto portada: Brenda Ávila Flores

Edición 2008

Impreso en México

ISBN: 978-968-817-887-4

Las opiniones expresadas en este documento son de la exclusiva responsabilidad de sus autores y pueden no coincidir con los puntos de vista de las organizaciones a las que pertenecen, o los de los patrocinadores.

***La habilidad para enfrentarse a la variabilidad del clima y adaptarse al cambio climático está determinada por la capacidad de coordinar acciones entre sociedad y gobierno...***

R. Landa



# Agradecimientos

Agradecemos el apoyo brindado por el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM y por el Programa Agua, Medio Ambiente y Sociedad (PAMAS) de El Colegio de México, A.C. Agradecemos también al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y a la Secretaría Técnica de los Fondos Sectoriales de Investigación Ambiental, por apoyar mediante los proyectos *“Adaptación y vulnerabilidad frente a la variabilidad del clima y el cambio climático en la gestión del agua en algunas zonas rurales de México”* y *“Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en el golfo de California”*, algunos de los trabajos que contribuyeron al presente análisis.

En la traducción del conocimiento a propuestas para hacer frente a los efectos de la variabilidad y el cambio climático fueron invaluable las orientaciones de Julia Carabias y Fernando Tudela, gracias por su talento y apoyo permanente. De gran valor fueron también las revisiones críticas de Paula Meli, Mario Hernández y Araceli Vargas-Mena, las aportaciones de Yosú Rodríguez, Leticia Gómez y Edgar Méndez, así como los comentarios vertidos durante el Seminario “La cuestión social” del Instituto de Investigaciones Sociales de la Universidad Nacional Autónoma de México, dirigido por el Dr. Rolando Cordera.

La edición final del trabajo no hubiera sido posible sin el apoyo de la Subsecretaría de Planeación y Política Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en especial de la Coordinación de Asesores y de la Coordinación Administrativa de dicha Subsecretaría.

Un reconocimiento especial a la solidaridad de Brenda Ávila, Paula Meli y Guillermo Soto, quienes fueron entusiastas colaboradores en la edición. A Edmundo Luján, Fernando Briones, Leyla Acedo, Brenda Ávila y Mario Hernández gracias por permitirnos utilizar algunas de sus fotografías para ilustrar la publicación.

El enfoque interdisciplinario del estudio requirió de trabajo estrecho con instituciones y organizaciones sociales, por lo que agradecemos también a la Universidad Iberoamericana Puebla, a la organización Alternativas y Procesos de Participación Social, A.C., al Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, a la Red de Aprendizaje e Intercambio para la Sistematización de Experiencias hacia la Sustentabilidad de Oaxaca, al Centro Universitario de Prevención de Desastres Regionales de la Benemérita Universidad de Puebla y a Agroasemex Querétaro, su generosa participación.

# Índice general

## **Presentación** 9

### **1 El clima y sus efectos en México** 13

- 1.1 Introducción 13
- 1.2 Amenaza, vulnerabilidad y riesgo 14
- 1.3 Variabilidad del clima y uso de la información climática 15
- 1.4 Bases para entender la relación agua-clima 17

### **2 Vulnerabilidad del país al cambio climático** 45

- 2.1 Vulnerabilidad frente a eventos hidrometeorológicos extremos 45
- 2.2 Escenarios en condiciones de cambio climático 52
- 2.3 Factores que incrementan la vulnerabilidad 53
- 2.4 Marco institucional y el tema de cambio climático 60
- 2.5 Algunas limitantes en la gestión del riesgo 73

### **3 Lecciones por aprender ante el cambio climático** 77

- 3.1 Comité de vigilancia de los ríos Atoyac y Nexapa, Puebla 77
- 3.2 Producción agropecuaria y deterioro ambiental en La Comarca Lagunera 81
- 3.3 Adaptación al cambio climático en Hermosillo, Sonora 85
- 3.4 Cambio climático y vulnerabilidad hídrica en regiones rurales de México 90
- 3.5 Adaptación al cambio climático en Tlaxcala 99
- 3.6 Lluvias e inundaciones en Tabasco y Chiapas en octubre del 2007 102
- 3.7 Lecciones 107

### **4 Elementos para planear la adaptación al cambio climático** 113

- 4.1 Algunos elementos sociales y su papel en la construcción de capacidades de adaptación 113
- 4.2 Estrategias regionales para la adaptación en el manejo de los recursos hídricos 120
- 4.3 Bases para la adaptación nacional 125

## **Referencias** 129

# Índice de figuras

- 1.1 Elementos para la determinación del riesgo 15
- 1.2 Distribución de los desastres de acuerdo a su origen y tipo de impactos 17
- 1.3 Comportamiento de una variable meteorológica cualquiera y la predicción correspondiente 20
- 1.4 Distribución de la precipitación media anual en México. Periodo: 1970-2001 22
- 1.5 Campo de presión y vientos en superficie para un patrón promedio de circulación atmosférica durante un evento de Norte 24
- 1.6 Ciclo anual de la temperatura en Tacuba, México. Periodo 1993-2001. 25
- 1.7 Posición de la ZITC en verano e invierno 26
- 1.8 Marea de tormenta 28
- 1.9 Daños ocasionados por Paulina 28
- 1.10 Esquema de acciones para aprovechar la información climática 29
- 1.11 Componentes del ciclo hidrológico en México 32
- 1.12 Esquema de condiciones normales y condiciones El Niño 33
- 1.13 Anomalías promedio de precipitación en México 34
- 2.1 Principales huracanes que han impactado en México en el periodo 1980-2005 46
- 2.2. Evolución de acciones e iniciativas en materia de protección civil y cambio climático en México 74
- 3.1 Esquema de niveles organizativos del Comité de vigilancia de los ríos Atoyac y Nexapa 79
- 3.2 La Comarca Lagunera 81
- 3.3. Regiones de estudio 91
- 3.4 Distribución en el tiempo de eventos extremos de precipitación en la región Tehuacán-Cuicatlán y la región semiárida del Alto Mezquital, Hidalgo y centro-oeste de Querétaro 93
- 3.5 Distribución espacial de los riesgos y la población en las regiones de estudio 94
- 3.6. Imagen de satélite en canal visible del frente frío número 4 sobre el golfo de México y el huracán Noel en el mar Caribe 102
- 3.7 Ciclo anual de las lluvias y valores de precipitación acumulada en Ocoatepec, Chiapas para el mes de octubre entre 1990 y 2007 103
- 3.8 Anomalías de precipitación en México en el mes de octubre de 1999 y 2007 104
- 3.9 Áreas deforestadas entre 1976 y 2000 en la región Grijalva-Usumacinta 106
- 3.10 Imagen de satélite de la zona de San Juan Grijalva en Chiapas en noviembre de 2007 106



# Presentación

Los cambios que la sociedad humana ha realizado sobre el ambiente han ocurrido desde el origen mismo de ésta. El clima también ha variado de diversas maneras desde el inicio de la historia del planeta. Sin embargo, las transformaciones experimentadas en el último siglo y medio, tanto en la naturaleza como en el clima, no tienen precedentes por la velocidad con la que ocurren, lo cual pone en riesgo el propio futuro de la sociedad.

El cambio climático global está provocando, entre otras cosas, la intensificación de la variabilidad climática natural. Los fenómenos hidrometeorológicos extremos dañan los bienes y la integridad física de las personas, en una cadena compleja de impactos que afectan prácticamente a todas las dimensiones del desarrollo humano. La forma en que se prepara la sociedad frente a condiciones extremas del clima como las ondas de calor, las lluvias intensas, o las sequías prolongadas; es un elemento determinante de la vulnerabilidad de los países en el futuro.

En México la variabilidad climática se asocia con fenómenos con importantes impactos socioeconómicos y ambientales, que podrían verse exacerbados por el calentamiento global. El fenómeno “El Niño” explica una buena parte de la variabilidad climática interanual, relacionándose con la ocurrencia de sequías severas en verano en el norte del país; o con lluvias intensas de invierno en el noroeste. Si los efectos de este extremo climático se incrementan, nuestro país se verá expuesto a eventos de desastre de origen hidrometeorológico, a menos que se corrijan prácticas sociales que incrementan la vulnerabilidad. Al respecto, se estima que en México cerca de 8 millones de personas están expuestas a los efectos adversos de ciclones tropicales, aproximadamente 6 millones a inundaciones y cerca de 8 millones pueden sufrir daños por sequías; de éstos últimos 5.6 millones viven bajo condiciones de alta y muy alta marginación. Bajo este panorama, la planeación y la acción frente a los riesgos hidrometeorológicos cobran gran relevancia.

La construcción de capacidades de adaptación frente a los potenciales impactos del cambio climático 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.

Las reflexiones aquí plasmadas surgen en respuesta a la necesidad de tratar la gestión integral de riesgos de origen hidrometeorológico, como un tema trascendental para el país. A partir 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; se plantean líneas de acción orientadas hacia la construcción de capacidades de adaptación en México.

Este análisis de la relación agua-clima intenta incidir en el espacio de vinculación entre los actores que generan el conocimiento y quienes diseñan y aplican política pública. Se trata de pensar de una manera distinta los temas de vulnerabilidad hídrica, de los riesgos frente a la variabilidad climática y en particular frente a los eventos hidrometeorológicos extremos, para proponer estrategias de acción que sumen las capacidades del gobierno a la acción de la sociedad.

En la primera mitad del libro se detallan algunos fundamentos teóricos sobre el agua y el clima, así como las condiciones de vulnerabilidad del país frente a la variabilidad climática. Se analizan factores sociodemográficos que pudieran incrementar los riesgos y se describe la estructura institucional vinculada con el tema. En la segunda mitad se presentan experiencias que aportan elementos para la adaptación del sector hídrico, con objeto de orientar la acción hacia el manejo integral de riesgos hidrometeorológicos en los ámbitos regional y nacional. Destacan la historia productiva de La Comarca Lagunera, situaciones de vulnerabilidad hídrica en zonas rurales, el caso de las lluvias presentadas a finales del 2007 en Tabasco y Chiapas, así como las enseñanzas derivadas de dos proyectos de adaptación realizados en Sonora y Tlaxcala.

El presente libro representa un afortunado acercamiento entre el análisis de un problema ambiental a partir de la visión sistémica y el conocimiento del clima. Brinda fundamentos teóricos claramente expresados y bases metodológicas para determinar amenazas y condiciones de vulnerabilidad ante el cambio climático, en diferentes partes del país y a distintas escalas de espacio y tiempo. Los planteamientos vertidos son importantes insumos para avanzar en la elaboración de Programas Estatales de Acción Climática.

El estudio muestra que es posible obtener elementos de planeación a partir del conocimiento que generan los científicos mexicanos y refleja también la utilidad de los fondos de investigación que nuestro país dedica para tal fin. Debemos aprovechar la oportunidad y los insumos que tenemos para planear la adaptación exitosa a los efectos previsibles del cambio climático.

Julia Carabias



Foto: Brenda Ávila



# Capítulo 1

## El clima y sus efectos en México

### 1.1 Introducción

En años recientes ha tenido lugar una secuencia de desastres de origen hidrometeorológico con graves daños para la sociedad mexicana. El ciclo inundaciones-sequías se ha convertido en una constante que requiere de grandes cantidades de dinero para permitir a las regiones afectadas regresar a su condición “normal”. Las explicaciones oficiales han invocado con frecuencia el paradigma naturalista, poniendo como responsable del desastre a la naturaleza misma. Se ha dicho que la sequía agrícola de 1997 y los incendios forestales en 1998 fueron causados por El Niño; las inundaciones de 1999 ocasionadas por La Niña; la pérdida de cosechas en el verano del 2005 por el retraso de las lluvias; los daños al sector turismo en el sureste mexicano de Wilma y Stan, por efectos de la variación decadal de la actividad de huracanes, y las más recientes inundaciones en el 2007 en Tabasco por el cambio climático.

Bajo tal perspectiva se pueden esperar desastres de origen hidrometeorológico más y más costosos debidos a un cambio del clima. El problema con las explicaciones oficiales está en que no se considera al desastre como resultado de la combinación de un fenómeno hidrometeorológico, a veces extremo, con la alta vulnerabilidad a dicho evento. El desastre está relacionado con una amenaza, como puede ser una condición hidrometeorológica extrema, pero también es consecuencia de una vulnerabilidad en aumento.

El clima es uno de los elementos que determina el éxito o el fracaso de muchas actividades económicas. Sequías, inundaciones, heladas, ondas de calor, granizadas u otro tipo de

condición extrema resultan con frecuencia en baja disponibilidad de agua, pérdidas de cultivos o baja producción hidroeléctrica. Por ello, no es extraño que muchos jóvenes trabajadores del campo decidan emigrar a las ciudades o a los Estados Unidos de América en busca de mejores oportunidades de trabajo. Pero el clima no es la única causa de dicho éxodo. El país vecino del norte también enfrenta eventos extremos del clima como los que aquí con frecuencia se experimentan, pero con una vulnerabilidad menor. En realidad, condiciones extremas del clima ocurren en todas partes, pero países mejor desarrollados son mucho menos vulnerables, de lo que es México.

Si se tiene claro que México es altamente vulnerable a condiciones extremas de tiempo y clima, sería deseable contar con mejor información y capacidad de pronóstico a escalas regional y local, así como con diagnósticos precisos de la vulnerabilidad que permitan construir valoraciones dinámicas del riesgo. Dichos diagnósticos deberían llevar a implementar acciones estructurales de reducción de la vulnerabilidad, al diseño de respuestas preventivas ante el pronóstico de condiciones hidrometeorológicas extremas, del tipo de sistemas de alerta temprana, así como a esquemas de acción que den respuesta eficiente y efectiva al desastre.

La mayor parte de México posee un clima de tipo monzónico, es decir con dos estaciones: una de invierno seco y otra de verano lluvioso. Los antiguos mexicanos estudiaron las estrellas con el fin de determinar cuánto duraba cada una de estas etapas climáticas y así decidir cuándo iniciar la siembra. Hoy en día, cualquier

persona sabe que las lluvias inician alrededor de mayo o junio y terminan en octubre, al menos en el centro y sur del país. Sin embargo, es el retraso o adelanto de este periodo de lluvias, así como el exceso o la falta de precipitación, al-

gunas de las causas de la disminución en la disponibilidad de agua que afecta a diversos sectores. Determinar estas variaciones del clima es el reto de la Meteorología moderna.

---

## 1.2 Amenaza, vulnerabilidad y riesgo

---

Cuando se habla de daños o desastres que ocasionan los fenómenos hidrometeorológicos extremos, en realidad se está hablando de una expresión de los altos niveles de riesgo de los sistemas afectados. Un desastre puede entenderse como la materialización del riesgo. Es muy importante aclarar que no existen los “desastres naturales”, pues no tienen nada de natural y sólo son un reflejo de lo que los humanos hacen o dejan de hacer. Indudablemente, los fenómenos naturales tienen una importante incidencia en el desastre, sobre todo cuando se presentan con gran intensidad y magnitud, pero sus impactos tienen que ver más con la condición de vulnerabilidad, que con el fenómeno mismo.

En años recientes, ha existido un amplio debate entre las ciencias físicas y sociales acerca del tema de los desastres. La diferencia de sus enfoques radica en que las primeras estudian los fenómenos naturales extraordinarios (lluvias excesivas, huracanes, sismos, etc.) sin tomar en cuenta la dimensión social, mientras que las segundas tratan de abordar el tema tomando únicamente en cuenta la dinámica social, así como las posibilidades de organización. Aún no existen modelos unificadores de las ciencias que permitan abordar estos aspectos de manera integral, tal y como lo requiere la complejidad de los desastres.

La vulnerabilidad se define como 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 y desarrollo político-institucional (CEPAL-BID, 2000). La magnitud de los daños, también está relacionada con el nivel de organización social. De este modo, la vulnerabilidad no está determinada sólo por ocurrencia de fenómenos peligrosos, sino por la forma en que las sociedades se han desarrollado, se organizan y se preparan para enfrentarlos; así como la forma en que se recuperan de ellos. La vulnerabilidad es entonces una condición previa, que se manifiesta durante el desastre, cuando no se ha invertido suficiente en prevención, y se ha aceptado un nivel de riesgo por encima de un umbral crítico.

El riesgo es resultado de una amenaza y de la vulnerabilidad. Los eventos hidrometeorológicos extremos representan una amenaza, pero sólo llevan a un riesgo intolerable cuando existe la posibilidad de afectar a un sector social, al combinarse con una condición de vulnerabilidad (Fig. 1.1). Para realizar un análisis del riesgo ante extremos del clima primero, se debe conocer la relación clima-sistema y evaluar los posibles efectos de los cambios en uno y otro.

AMENAZA	VULNERABILIDAD	RIESGO
Fenómenos naturales	Grados de exposición y fragilidad, valor económico	$f(A, V)$
Probabilidad de que ocurra un evento, en espacio y tiempo determinados, con suficiente intensidad como para producir daños	Probabilidad de que, debido a la intensidad del evento y a la fragilidad de los elementos expuestos, ocurran daños en la economía, la vida humana y el ambiente.	Probabilidad combinada entre los parámetros anteriores.

Figura 1.1 Elementos para la determinación del riesgo. Fuente: CEPAL-BID, 2000.

### 1.3 Variabilidad del clima y uso de la información climática

Desde mediados del siglo pasado, pero especialmente a partir de los años ochentas, se encontró que en gran parte de los trópicos y subtrópicos las condiciones del clima estaban moduladas con la ocurrencia del fenómeno conocido como El Niño / Oscilación del Sur (ENOS) (Magaña, 1999). Bajo condiciones El Niño, los veranos en México tienden a presentar lluvias por debajo de lo normal y a veces sequías, mientras que La Niña significa retorno a las condiciones normales o incluso, lluvias por encima de lo normal. La relación ENOS-lluvias de México, ha sido utilizada como una primera aproximación al pronóstico estacional, pero dista de ser completa, pues el ENOS explica menos de la tercera parte de la variabilidad interanual del clima. Por ello, hay años secos sin que existan condiciones Niño, y hay inundaciones sin que sea año Niña. Existen incluso regiones de México cuyas variaciones climáticas no parecen responder al ENOS. Tal es el caso de la región noroeste, donde no se cuenta con elementos que permitan pronosticar las lluvias estacionales.

Aun con las limitaciones anteriores, desde finales del siglo pasado se comenzó a trabajar con predicciones sobre las condiciones esperadas del clima, principalmente en el sector agrícola. Sin embargo, hasta ahora los pronósticos han

sido poco precisos y comunicados inadecuadamente, pues no reflejan la incertidumbre inherente a cualquier proyección de una condición futura, especialmente de un sistema caótico como el clima. Por ejemplo, ha sido costumbre pronosticar el clima en forma determinística, dando predicciones precisas de cuánto lloverá o cuál será la temperatura media, pasando por alto el hecho de que tal tipo de pronósticos no se pueden hacer con más de una semana de plazo. Los pronósticos estacionales del clima deben ser probabilísticos.

Desafortunadamente se piensa, de forma equivocada, que un pronóstico tiene que decir exactamente cuánto lloverá para que permita tomar una decisión. Científicamente, no es posible pronosticar de tal manera por más de unos pocos días (tres o cuatro), debido al carácter caótico del sistema clima. Es por ello, que gran parte del reto en el uso de la información climática en general y de los pronósticos en particular, es poder comunicarlos de tal forma que se puedan usar como elementos de gestión del riesgo. Por ello, es necesario generar capacidad entre los usuarios de la información del clima para que comiencen a utilizar información con incertidumbre, o sea, en términos probabilísticos.

Quizá uno de los mayores problemas en el uso de la información climática es que no se le ha tratado como un elemento para la gestión del riesgo, pues rara vez se cuantifica la vulnerabilidad. Un verdadero manejo del riesgo que lleve a prevención de desastres, requiere estimar cualitativa y cuantitativamente la vulnerabilidad. La estimación de este parámetro se puede hacer desde el punto de vista físico, en donde se analiza la resistencia y resiliencia de los sistemas expuestos; desde el punto de vista económico, en el que se estima el valor de los bienes expuestos o las pérdidas que se tendrían al ocurrir un desastre; y desde el punto de vista de la percepción, que permite saber qué tan conciente está la población de las amenazas y de su misma vulnerabilidad.

El clima y sus variaciones siguen siendo uno de los elementos más determinantes en la disponibilidad de agua. Aun con la importancia que la Meteorología tiene en el manejo de los recursos hídricos, el uso de la información climática adolece de serios problemas en el sector. En muchas partes del país aún se mantienen esquemas descriptivos de clima promedio, que en poco ayudan a planear el manejo del recurso año con año. El riesgo de sequía meteorológica está siempre latente, por ser ésta parte de la variabilidad natural del clima. Sin embargo, la condición de sequía hidrológica o agrícola dependerá, en mayor o menor medida, del grado de vulnerabilidad del sector o la región. Por ejemplo, no existe en México un sistema de alerta temprana ante sequías, que pudiera preparar a los grupos vulnerables ante este fenómeno, y que los hace proclives a experimentar conflictos por agua.

Resulta preocupante la aparición de agentes que venden mecanismos para la generación de lluvia artificial en épocas de sequía. La ignorancia en materia meteorológica, en combinación con la corrupción, permite que el déficit de pre-

cipitación resulte en “tiempos de bonanza” para algunos. En el futuro, los programas de apoyo al campo deberán considerar con mucha más seriedad los avances en materia de información del clima para hacer del conocimiento una verdadera herramienta de apoyo a los campesinos, principalmente al momento de planear sus actividades. El pronóstico climático es un elemento importante para que el campo recupere el papel que debe tener en el país.

El valor de la información climática es alto en muchas partes del mundo gracias a su uso en la planeación de actividades socioeconómicas. Aun con las imprecisiones propias de un sistema de pronóstico, la información climática puede valer millones de dólares cuando se aprovecha en la toma de decisiones.

En el caso de México, el cambio en la disponibilidad de agua a escala regional a lo largo del año es un tema de gran importancia debido a que en los últimos tiempos se ha pasado drásticamente de periodos de secas a periodos de inundaciones que han ocasionado desastres (por ejemplo 1997 a 1998). El ciclo sequía-exceso de lluvia, que es un reflejo de la variabilidad del clima, pone de manifiesto que el uso de la información climática no ha pasado de ser una herramienta que simplemente explique los desastres, a una que lleve a la planeación.



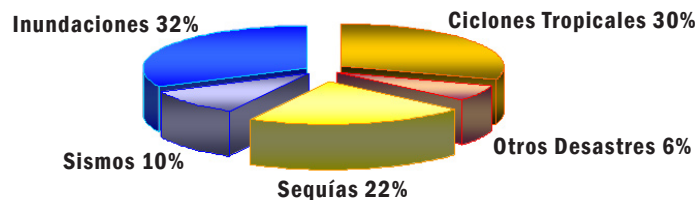
Foto: Brenda Ávila



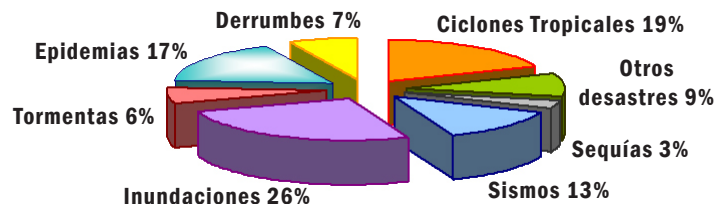
## 1.4 Bases para entender la relación agua-clima

Los desastres de origen hidrometeorológico son los más frecuentes y los que mayores daños causan a la población de todo el mundo. La sequía es una de las causas fundamentales de desastres a escala mundial<sup>1</sup> (Fig. 1.2). Durante los últimos 30 años se ha registrado un aumento en la frecuencia e intensidad de este fenómeno. La

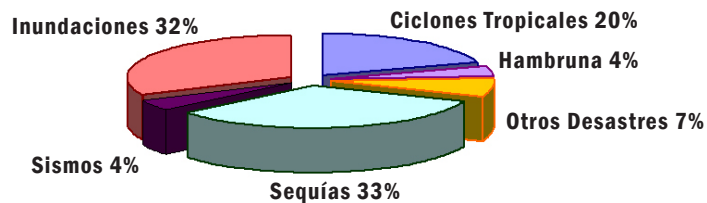
sequía se origina de la deficiencia en la precipitación sobre un período extendido de tiempo, que puede entenderse como una propiedad normal y recurrente del clima, cuyo impacto proviene de la interrelación entre el evento natural y la demanda en el suministro de agua.



**Daños significativos**



**Número de muertos**



**Personas afectadas**

**Figura 1.2 Distribución de los desastres de acuerdo a su origen y tipo de impactos.**  
Fuente: Obasi, 2000.

<sup>1</sup> Véase más en <http://www.drought.unl.edu/index.htm>

La sequía puede ser calificada de cuatro maneras: *meteorológica*, cuando la precipitación es inferior a lo normal para un lugar específico; *agrícola*, cuando la humedad de los suelos no satisface los requerimientos para lograr un cultivo; *hidrológica*, cuando las reservas superficiales y subterráneas están por debajo de lo normal; y *socioeconómica*, cuando la escasez de agua afecta a las personas<sup>2</sup>.

Históricamente la sequía puede considerarse como un acontecimiento natural de enorme trascendencia, ya que por su causa se han visto diezmadas poblaciones por hambrunas, se han impulsado movimientos migratorios masivos y provocado gravísimas crisis económicas, sociales y políticas. Las sequías también pueden ser detonadas por fenómenos climatológicos especiales, como ocurre con El Niño, al que se le atribuye responsabilidad en la escasez de lluvias en varias partes del mundo.



Foto: Fernando Briones

Las lluvias intensas también provocan daños. Los aumentos en la población durante el siglo XX llevaron a países como México a permitir asentamientos humanos en zonas de alto riesgo. Costas, barrancas o cañadas, así como sitios expuestos a huracanes, lluvias intensas e inundaciones; se encuentran pobladas al punto de que cientos de vidas están en riesgo. Las experiencias del huracán Mitch en 1998, mostraron que no basta con disponer de avanzados métodos de monitoreo y pronóstico para evitar la tragedia ante un evento hidrometeorológico extremo. Es el trabajo conjunto de científicos, tomadores de decisiones y sociedad lo que reduce la vulnerabilidad ante este tipo de eventos

El conocimiento del tiempo y del clima de una región es fundamental para diseñar estrategias de desarrollo que eviten, o al menos disminuyan, la magnitud de los desastres de origen hidrometeorológico. Pero no bastan buenos pronósticos meteorológicos, es necesario que los encargados de algún sector vulnerable conozcan los alcances y las limitaciones de la información meteorológica para determinar acciones ante diversos fenómenos atmosféricos. Se deben cuestionar las afirmaciones que apuntan hacia “la furia de la naturaleza” o “lo impredecible de un evento” como justificación de que un fenómeno hidrometeorológico extremo se convierta en un desastre para la población. Hoy en día, se dispone de sufi-

<sup>2</sup> *Sequía meteorológica*; se define en términos de una disminución de precipitación por debajo de lo “normal” o promedio. Existen diversos criterios para declarar la ocurrencia de una sequía meteorológica, algunos de ellos se basan en el uso de un valor umbral dado, otros utilizan parámetros estadísticos. Este tipo de sequía es un proceso totalmente natural, sin influencia humana. *Sequía hidrológica*; ocurre cuando las fuentes de agua en la superficie y en el subsuelo están por debajo del nivel medio. Este tipo de sequía se manifiesta en superficie con una disminución en escurrimientos, caudales de ríos y niveles de almacenamiento presas. Aunque resulta, en general, a consecuencia de una sequía meteorológica, el manejo del agua (factor humano) puede llevar a que ciertas regiones experimenten sequía hidrológica, es decir, no es totalmente de origen natural. *Sequía agrícola*; se refiere a una situación en la que la cantidad de agua disponible en el suelo no satisface las necesidades hídricas de un cultivo en particular. Este tipo de sequía depende de las condiciones de la sequía meteorológica, afectando a los cultivos más sensibles a este déficit de agua. Es en esta etapa en la que muchos organismos oficiales toman nota de la sequía e inician los programas para mitigar los efectos negativos. La ocurrencia de esta sequía agrícola depende en cierta medida de las anteriores, pero sobre todo, de la vulnerabilidad del sector agrícola, por lo que su ocurrencia depende mayormente de factores humanos. Fuente: Wilhite y Glantz (1985).

ciente conocimiento en la materia como para aminorar los impactos que lluvias, vientos o temperaturas extremas puedan tener en la sociedad.

La dimensión y la variedad de los procesos atmosféricos que se vuelven amenazas, requieren ser estudiados bajo esquemas de cooperación internacional. En casi todos los países existen sistemas de observación meteorológica, coordinados por Servicios Meteorológicos e Hidrológicos, los cuales mantienen colaboraciones internacionales a través de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) para compartir datos. Los sistemas atmosféricos no conocen fronteras políticas, por lo que la OMM juega un papel fundamental para mantener el intercambio de información meteorológica alrededor del mundo. Mediante programas, como el de la Vigilancia Atmosférica Mundial o el Programa Mundial del Clima, se promueve el avance en el entendimiento de los procesos que modulan el tiempo y el clima. Los resultados de las inves-

tigaciones y su aplicación beneficia a aquellos interesados en Meteorología y los usos de la información relacionada.

Un aspecto relevante, en términos del uso de la información climática, es que por parte de científicos, gobernantes y público en general; se contesten preguntas relacionadas con la anticipación y la precisión del pronóstico, sobre las fluctuaciones del clima, tanto globales como regionales; así como las posibilidades de predicción a largo plazo. Resulta particularmente interesante poder conocer cómo se afectan ciertas actividades por el clima o qué cambios experimentarán las nuevas generaciones en relación con el cambio climático, y si estarán preparadas para sobreponerse a ellos o no. Para ir construyendo respuestas a dichos planteamientos es indispensable el análisis de conceptos y procesos vinculados con el sistema climático, entre los que se incluye la diferencia entre tiempo y clima o la diferencia entre pronósticos y escenarios.



Foto: Carolina Neri

**Tiempo y clima.** Es importante diferenciar entre tiempo y clima. Con frecuencia, la confusión entre estos conceptos no permite distinguir las características, alcances y limitaciones de la información (por ejemplo los pronósticos). De manera tradicional, *tiempo* se define como la condición atmosférica presente o esperada en periodos de uno, dos o tres días, mientras que *clima* se asocia con la condición promedio de muchos estados de tiempo, en un lapso de meses, años, décadas, etc. Tales definiciones son incompletas.

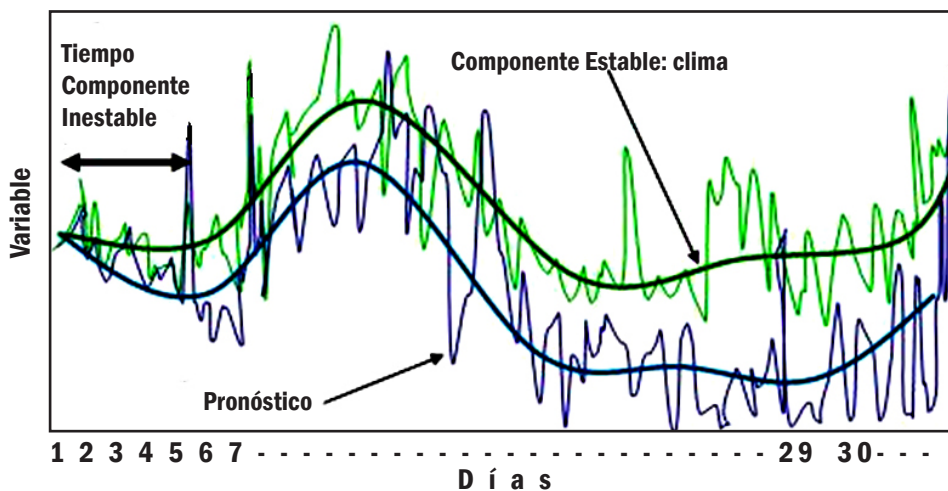
Aunque se relaciona al tiempo con manifestaciones de corto plazo, mientras que al clima se conecta con el largo plazo, Ed Lorenz (1960) propone que “tiempo es lo que se tiene; mientras que clima es lo que se espera”. Implícita en esta observación está la aserción de que mientras que el tiempo es determinista, el clima es probabilista. Para explicar lo anterior se debe discernir entre previsibilidad del tiempo contra previsibilidad del clima.

Por ejemplo, si se considera una ecuación para la predicción del tiempo, quedan implícitos los cambios de una variable en el espacio y en

el tiempo. Los cambios temporales se pueden expresar como la combinación de una componente relativamente estable y otra componente no fácilmente explicable o inestable (Fig. 1.3). En el pronóstico del tiempo, la dinámica del componente inestable domina, su parecido con lo observado dependerá de la calidad de la condición inicial. Sin embargo, la naturaleza caótica de la atmósfera hace que el error de pronóstico crezca tan rápido que después de cinco a siete días los pronósticos son poco útiles o confiables. Es debido a este límite de probabilidad determinista, que cualquier posibilidad de hacer una predicción del tiempo a largo plazo (más de dos semanas) es inviable.

Dicha problemática lleva a pensar “si no es posible pronosticar el tiempo, por qué se desea predecir el clima, que involucra un plazo de tiempo mayor”. Aunque no se puede pronosticar el clima al estilo que se hace con el tiempo, si es posible decir cosas útiles sobre el clima en el sentido de las estadísticas de la atmósfera.

La componente estable de la ecuación, correspondiente al clima permite hacer predicciones sobre dichas estadísticas. Después de todo,



**Figura 1.3** Comportamiento de una variable meteorológica cualquiera (verde) y la predicción correspondiente (azul). La línea delgada corresponde a la componente inestable (tiempo) y la gruesa a la componente estable (clima).

se conocen suficientemente bien los factores que modulan el clima como son: la energía del Sol, la velocidad de la rotación del planeta, la masa del planeta, la composición química de la atmósfera, y la distribución del océano y los continentes. Por ello, y dada la mejora significativa en la calidad de los modelos del clima durante la década pasada, la predicción del clima es factible. Seguirá siendo muy difícil asegurar si lloverá por la tarde del día siguiente, pero será posible hacer afirmaciones sobre el estado medio de la atmósfera esperado para los próximos meses, e incluso años.

Son ejemplos de tiempo meteorológico las tormentas severas, los tornados o los huracanes. Las sequías o el fenómeno El Niño caen dentro del concepto clima. Aun bajo este marco, la constante ocurrencia de un tipo de tiempo, puede determinar el tipo de clima en un cierto año y área dada.

El tiempo y el clima son el resultado de la combinación de diferentes procesos físicos. Un estado de la atmósfera dado depende de un gran número de factores (véase Magaña, 2004). Debe quedar claro que la fuente de energía que mantiene en movimiento a la atmósfera y al océano y que produce el tiempo y el clima es el Sol. El elemento que determina las estaciones del año es la inclinación del eje de rotación de la Tierra con respecto de su plano de traslación (eclíptica). Así, el verano resulta de una mayor exposición (por más horas al día) al Sol. Cuando el Hemisferio Norte se muestra durante más tiempo hacia el Sol es verano, mientras que cuando se muestra al Sol menos horas por día es invierno.

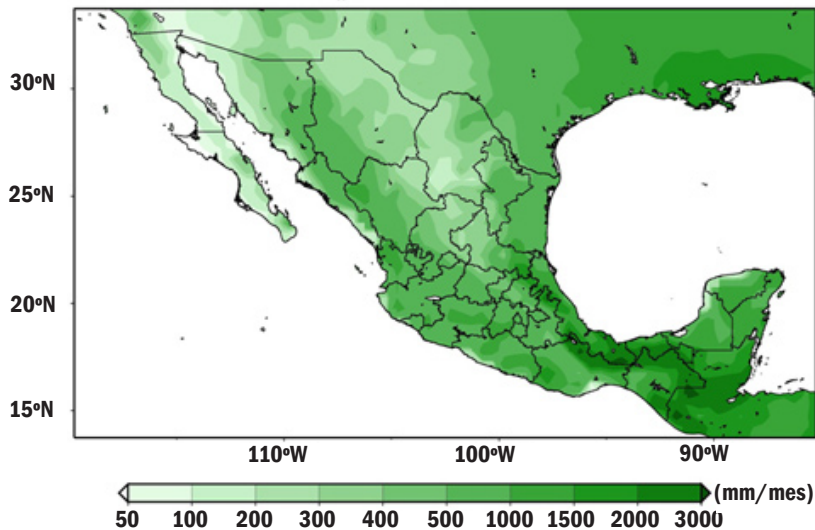
En muchas regiones tropicales y subtropicales existe una temporada de lluvias y una

de secas. A este tipo de clima se le ha denominado de tipo monzónico (del árabe *mausam*=estación), por su similitud con el monzón de Asia. En México, durante la temporada seca disminuyen las lluvias, la disponibilidad de agua y la humedad en el suelo y en la vegetación de gran parte del país; lo que en combinación con la práctica agrícola de roza, tumba y quema, tiende a provocar incendios forestales. Durante la temporada de lluvias, los riesgos de inundación y de afectaciones por eventos hidrometeorológicos extremos aumentan. Por otro lado, en muchas regiones de nuestro país, la temporada de lluvias es sinónimo de temporada de huracanes, por lo que las precauciones se extreman en estos periodos en zonas costeras.

Al analizar la distribución de la precipitación en México se llega a la conclusión de que algunas de las zonas más lluviosas se encuentran en regiones montañosas cerca de las costas o en latitudes bajas (Fig. 1.4). La relación entre lluvias intensas y zonas montañosas cerca de las costas requiere ser considerada con cuidado. En la región de México y Centroamérica, las ya de por sí fuertes lluvias asociadas a huracanes, se ven reforzadas hacia las costas por la componente orográfica de la precipitación<sup>3</sup>. Tal fue el caso del huracán Paulina en el sur de México en octubre de 1997.

**Lluvias extremas y tormentas.** En algunas ocasiones se experimenta un tiempo lluvioso con oscurecimiento del cielo, vientos intensos y frescos, seguidos de precipitación torrencial. Una tormenta severa sin embargo, va acompañada de vientos violentos, relámpagos frecuentes y hasta granizo. Los rayos y truenos de la tormenta son factores que ponen en riesgo a las personas. Alrededor del mundo cada año mueren cien o

<sup>3</sup> En un evento de lluvia en que el viento mueve las nubes hacia las partes montañosas, se puede esperar que el movimiento ascendente se refuerce y la precipitación se vuelva más intensa, lo que se conoce como el forzamiento orográfico de la precipitación.



**Figura 1.4** Distribución de la precipitación media anual en México. Periodo: 1970-2001.  
**Fuente:** UNAM, Mayo 2007 <http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.UNAM/.gridded/.monthly/.v0705/.prcp>

más personas alcanzadas por rayos. Además, los rayos pueden iniciar incendios forestales difíciles de controlar.

Los vientos violentos también pueden ser causantes de daños; las ráfagas descendentes intensas han producido accidentes aéreos en aeropuertos, mientras que los vientos asociados a los tornados son causantes de catástrofes. El granizo, que en ocasiones se forma durante una tormenta severa, puede causar graves trastornos a la población. El tamaño de estas pequeñas “pelotas de hielo” puede variar de unos cuantos milímetros a un par de centímetros o más. Las pérdidas económicas durante una granizada pueden alcanzar varios millones de pesos.

La precipitación en forma de lluvia, granizo o nieve, no deja de ser agua que se necesita en zonas donde escasea el recurso. En las nubes hay pequeñas gotas de agua cuyo tamaño depende del tipo de nube en que se forman. Cuando estas gotas crecen y superan los 0.1 mm caen por efecto de la gravedad. Así pues, la lluvia es la caída o la precipitación de gotas de agua que provienen de la condensación del

vapor de agua en la atmósfera. Las gotas de lluvia caen por su peso, y lo hacen a una velocidad que varía entre 4 y 8 m/s, según sea el tamaño de las mismas y la influencia del viento. Su tamaño oscila entre 0.2 y 5 mm de diámetro.

La precipitación se clasifica según su forma e intensidad en:

- *Llovizna*: cuando las gotas que caen son menudas, con un diámetro <0.5 mm y se presenta de una forma pulverizada, como flotando en el aire.
- *Lluvia*: si es continua, regular y el diámetro de sus gotas es >0.5 mm
- *Chubasco o aguacero*: si cae de golpe, con intensidad, y en un intervalo de tiempo pequeño. También se define al precipitarse más de 20 mm/hr.
- *Tromba*: si cae tan violenta y abundantemente que provoca riadas e inundaciones. En algunas partes del mundo, como Australia, una tromba es una especie de tornado sobre el mar.

En realidad la medición de los tamaños de las gotas es algo complicado que requiere de instrumentos especiales. Por eso, la mayoría de las veces se clasifica a la precipitación en términos de su intensidad. Es así que las tormentas severas corresponden a aguaceros y trombas. La preocupación ante este tipo de fenómenos surge de un conocimiento, no siempre claro, de la vulnerabilidad de una región. Sabiendo la capacidad de la región o de la población para absorber los impactos de una tormenta severa (ej. buenos sistemas de drenaje), se estima el riesgo y se toman las medidas adecuadas. Con frecuencia se establecen valores umbral o límite por encima de los cuales la lluvia intensa puede causar daños.

En el caso de México existen condiciones contrastantes al respecto, por ejemplo, en Villahermosa es común que ocurran tormentas de más de 30 mm/hr, fenómeno que de presentarse en Chihuahua o en la misma Ciudad de México podría tener impactos negativos, de los cuales los más preocupantes son las inundaciones. Empíricamente se estima que más de 40 mm/hr no pueden ser drenados por el drenaje profundo de la Ciudad de México, y ante ello se pueden presentar inundaciones. Tal razón de precipitación corresponde a un valor crítico.

Las inundaciones son debidas a los rápidos aumentos del caudal de un río o un canal producto de lluvias intensas asociadas a tormentas severas. Las condiciones atmosféricas que dan lugar a inundaciones repentinas son ligeramente diferentes de aquellas que producen tornados o granizo. Las inundaciones repentinas generalmente ocurren durante la noche y resultan de la combinación de factores atmosféricos y orográficos. En regiones relativamente planas, las inundaciones repentinas pueden presentarse si los periodos de lluvias intensas persisten, debido a que el terreno no es capaz de absorber el agua a la misma velocidad con la

que cae. Por su diseño y composición, las zonas urbanas son también susceptibles de inundarse repentinamente ante tormentas severas; el pavimento de las calles las vuelve impermeables y los sistemas de drenaje tienen en ocasiones poca capacidad de hacer fluir el agua acumulada.

Las tormentas severas no son las únicas causantes de las inundaciones repentinas. Las presas que no resisten el peso del agua acumulada durante una tormenta severa pueden romperse y liberar millones de litros de agua que resultan en destrucción a su paso. Las inundaciones también pueden ser el resultado de mareas de tormenta en zonas costeras, por ruptura de bordes, diques o presas, o por operación incorrecta de éstas últimas. La posibilidad de pronosticar una inundación está ligada con el nivel de conocimiento del proceso de conversión de la precipitación a escurrimiento. En consecuencia, conforme más se sabe de este proceso, se incrementa la eficiencia de diseño e implementación de acciones para disminuir los daños que puede causar una inundación.

Se le denomina lluvia efectiva a la parte de la lluvia que propicia el flujo de agua superficial.



Foto: Mario Hernández

cial; suele ser el 30% de la lluvia total en terrenos sin afectación antropogénica y hasta de 80% en terrenos impermeables. Las condiciones de las cuencas hidrográficas cambian de una época del año a otra; la humedad del suelo y la cubierta vegetal pueden diferir radicalmente del verano al invierno. Sin embargo, los cambios más importantes derivan de diversas actividades humanas. La disminución de la permeabilidad debida a urbanización, deforestación y modificaciones de uso del suelo; generalmente aporta mayor volumen de escurrimiento y adelanta la incidencia de su valor máximo.

Es particularmente importante evitar el desbordamiento de las presas, pues de ocurrir, en pocas horas se provocaría su propia destrucción. El gran volumen de agua almacenado se descargaría súbitamente, de modo que su salida brusca generaría considerables fuerzas de arrastre y se superaría la capacidad de los cauces de los ríos causando inundaciones en amplias zonas.

**Masas de Aire.** Los cambios en el tiempo que se experimentan día a día, principalmente durante

el invierno, están relacionados con la sucesión de sistemas sinópticos. La entrada de una masa de aire resulta en una fluctuación del tiempo a veces drástica. Una masa de aire cubre miles de kilómetros cuadrados con aire de características relativamente uniformes de temperatura y humedad en la horizontal, que en general decrecen con la altura.

Las zonas que dividen dos masas de aire constituyen lo que se conoce como frente (Fig. 1.5). Los contrastes marcados en temperatura y humedad entre las dos masas de aire provocan cambios marcados en el tiempo entre una región y otra. Por el tipo de masa de aire asociada, se habla de frentes fríos o calientes.

Los frentes forman parte de un sistema de ondas de latitudes medias. Cuando éstos se propagan hacia los trópicos generan un fuerte contraste de presión, que resulta en intensos vientos conocidos como Nortes. Los recientes desastres de las plataformas de Petróleos Mexicanos (PEMEX), o las inundaciones en Tabasco, fueron disparados por Nortes intensos para los que no se estaba preparado (alta vulnerabilidad). Son

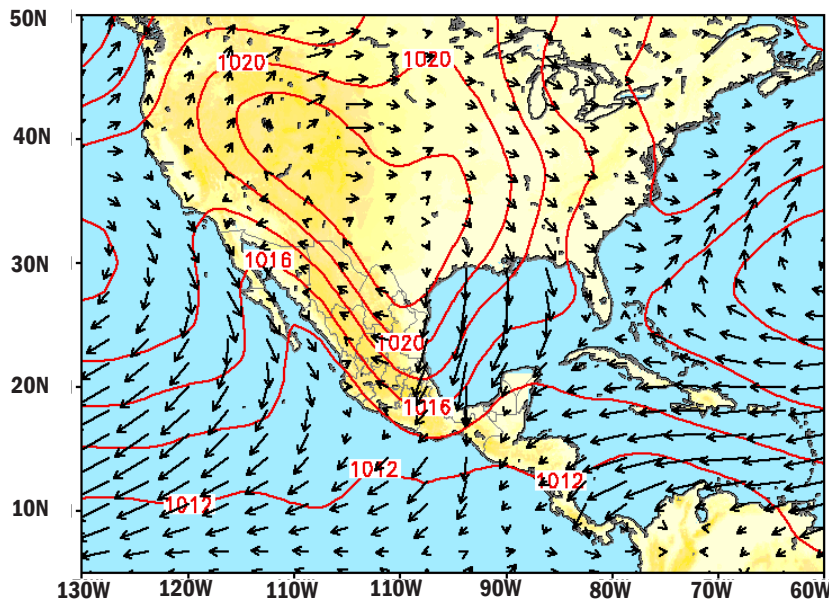


Figura 1.5 Campo de presión y vientos en superficie para un patrón promedio de circulación atmosférica durante un evento de Norte.



estos sistemas meteorológicos los que constituyen una amenaza, al producir lluvias en invierno en la vertiente del golfo de México.

Las lluvias invernales también están asociadas con el paso de frentes. Las lluvias de este tipo pueden ser de larga duración y su frecuencia bajo ciertas condiciones puede resultar en serios problemas. Tal es el caso de las lluvias anómalas que ocurren en el noreste y noroeste de México durante algunos inviernos El Niño. Tijuana ha experimentado graves problemas de inundación por este tipo de lluvia invernal asociada a frentes. No todo es malo en cuanto a estas precipitaciones, muchas veces su ocurrencia permite recuperar los niveles de las presas en periodos en que la demanda de agua es baja.

**Ondas de calor y de frío.** Durante ciertos periodos del año, las temperaturas en superficie pueden permanecer anómalamente altas o bajas causando una situación fuera de lo que se

considera “confort”<sup>4</sup>. Dicha situación se debe a circulaciones atmosféricas estacionarias, que al transportar aire anómalamente caliente o frío resultan en las llamadas ondas de calor o de frío. Las temperaturas extremadamente elevadas o bajas afectan principalmente a gente mayor o a niños. En algunos países de latitudes medias, temperaturas por encima de los 35°C pueden resultar en afectaciones a la salud para gente de edad avanzada.

Las condiciones de ciertas ciudades, en combinación con el calentamiento global, han llevado a identificar un efecto llamado “Isla de Calor”, en que se forma una especie de burbuja de aire cálido sólo sobre la ciudad. Tal efecto ha llevado a que en años recientes se alcancen temperaturas de casi 34°C en algunas partes del Distrito Federal (Fig. 1.6), condición no experimentada durante la mayor parte del siglo XX. Los datos históricos muestran que la temperatura en el valle de México ha aumentado unos 4°C

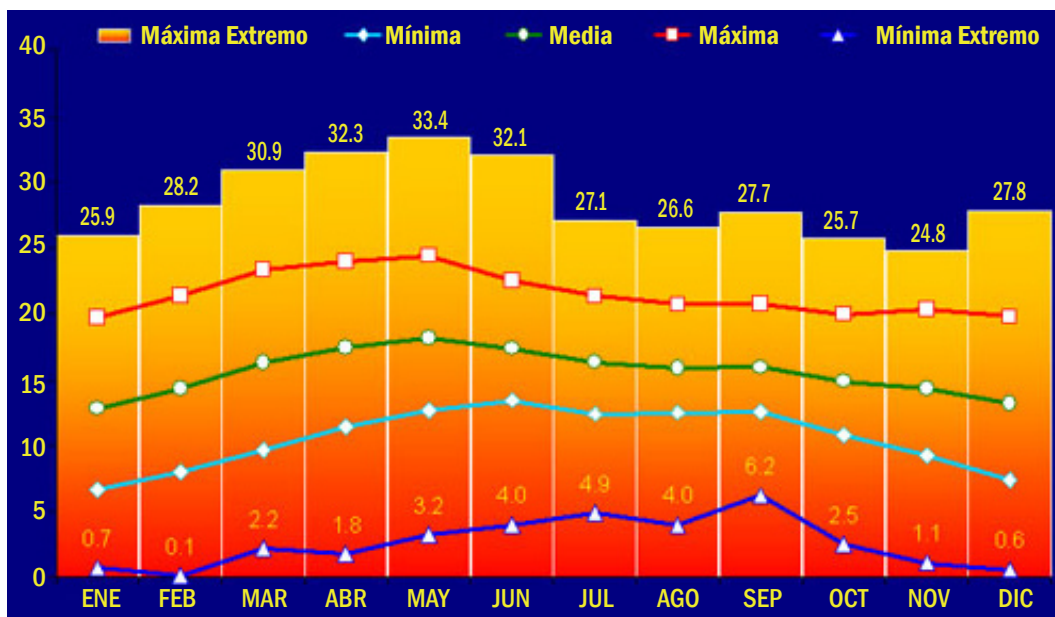


Figura 1.6 Ciclo anual de la temperatura en Tacuba, México. Periodo 1993-2001  
 Datos: Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA), Centro de Ciencias de la Atmósfera-UNAM.

<sup>4</sup> Se entiende por confort climático la existencia de combinaciones de parámetros ambientales (fundamentalmente temperatura, humedad, radiación y viento) que no generen estrés en el cuerpo humano. Ver más en: [http://www.uv.es/metode/anuario2001/147\\_2001.html](http://www.uv.es/metode/anuario2001/147_2001.html)

en promedio anual. De este aumento, al menos 3°C pueden asociarse directamente con el grado de urbanización.

No siempre las condiciones extremas en la temperatura son las que directamente tienen efectos negativos sobre la población. A decir verdad, frecuentemente son las respuestas de la población lo que convierte a una ola de calor o de frío en un verdadero riesgo. Por ejemplo, durante una severa temporada de frío es común saber de personas que pierden la vida por asfixia al tratar de calentarse con fogatas o estufas en cuartos con mala ventilación. En otros casos, las ondas de calor y un bajo consumo de líquidos o la más rápida descomposición de los alimentos pueden provocar deshidratación o enfermedades estomacales.

**La temporada de lluvias de verano.** El verano es la temporada de lluvias en la mayor parte de México. Las lluvias de verano están asociadas con una gran variedad de estructuras meteorológicas entre las que destacan la Zona Inter-Tropical de Convergencia (ZITC), el monzón mexicano, las ondas del este y los huracanes en los mares del Pacífico, el Caribe y el golfo de México.

Como parte del ciclo anual de las lluvias de verano, en la región centro-sur de México y hasta Centroamérica, aparecen dos máximos en la precipitación de verano, uno en junio y otro en septiembre. Por tanto, existe un mínimo relativo entre julio y agosto conocido como sequía intraestival, sequía del medio verano, canícula o veranillo, dependiendo de la región o país donde se experimente (Magaña, 1999).

La mayor parte de la dinámica atmosférica de verano en México está relacionada con la presencia de la ZITC en el Pacífico del este. La posición, intensidad y densidad de la convección profunda en esta región puede resultar en periodos de fuertes lluvias o severas sequías para México. Es en esta zona donde también tiene lugar la mayor actividad ciclogénica del planeta<sup>5</sup>, formándose huracanes intensos.

La ZITC tiene la particularidad de desplazarse generalmente al norte del ecuador real, es decir sigue la zona donde los rayos solares caen perpendicularmente, esto indica que se mueve hacia el hemisferio de verano tal como se muestra en la figura 1.7.

La variabilidad de las lluvias de verano en

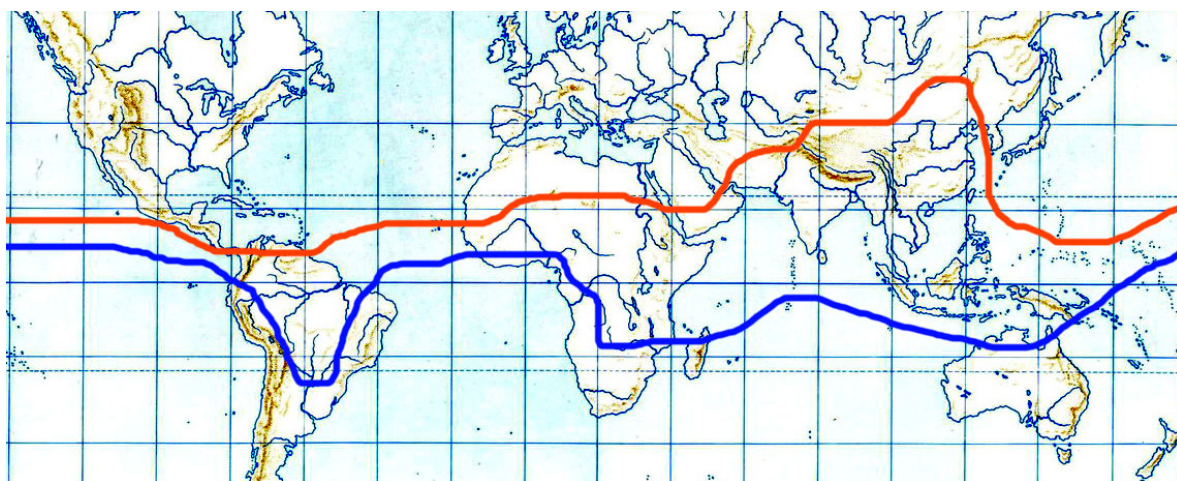


Figura 1.7 Posición de la ZITC en verano (línea roja) e invierno (línea azul).

<sup>5</sup> Se entiende por actividad ciclogénica del planeta la propiedad de formación de huracanes. Ver más en pág. 28 de Los impactos de "El Niño" en México. Magaña, 1999.

México está relacionada en gran parte con la posición de la ZITC. Cuando ésta se desplaza anómalamente hacia el ecuador, como en años El Niño, la disponibilidad de humedad se concentra lejos de nuestro país, y sólo la subsidencia afecta a México. Con ello disminuyen las lluvias y se produce precipitación.

Se debe aclarar que las lluvias no son el resultado de la convección en la ZITC. Quizá el mecanismo generador de lluvia más importante son las ondas del este, que generan una corriente de este a oeste y se mueven lentamente en el flujo medio de los vientos alisios en el cual están inmersas. La capa donde las ondas concentran la humedad se levanta rápidamente cerca de la línea del canal, al este de la línea de convergencia intensa se forma nubosidad y la lluvia intensa domina. Quizá el aspecto más conocido de las ondas del este es que algunas de ellas generan ciclones tropicales.

Los eventos de lluvia extrema en el valle de México están casi siempre asociados al paso de ondas del este. Incluso su actividad parece presentar una estructura bimodal en el verano, muy parecida a la de las lluvias y la canícula.

**Ciclones tropicales.** Para regiones tropicales, los fenómenos que mayor interés despiertan son los ciclones tropicales. Con frecuencia la aparición de dichos sistemas se asocia con destrucción y peligro para las zonas costeras. Sin embargo, en muchos casos la ausencia de estos fenómenos también pone en riesgo a muchos grupos de población, pues los ciclones tropicales o huracanes son productores de lluvia. Su ausencia resulta en sequías y condiciones difíciles para varios sectores socioeconómicos. En Durango se sigue con gran interés a los ciclones tropicales del Pacífico como esperanza de lluvia en las zonas áridas.

Los ciclones tropicales son agrupaciones de nubes *cumulunimbus* organizadas mediante

una rotación ciclónica. Un ciclón tropical atraviesa por varias fases antes de llegar a convertirse verdaderamente en huracán. Los inicios corresponden a lo que se llama una depresión tropical, seguido por una tormenta tropical (en esta etapa se le asigna un nombre), para convertirse finalmente en un huracán. Los huracanes se clasifican de acuerdo a su intensidad. Existen cinco categorías de huracanes, siendo la primera la menos intensa.

México está entre los países más afectados por huracanes o ciclones tropicales, ya sea por el mar Caribe, el golfo de México o el océano Pacífico, estas tormentas pueden favorecer la presencia de las lluvias intensas sobre el continente. Sin embargo, también existe la posibilidad de que la convergencia de humedad de un ciclón tropical alejado de la costa mexicana, tienda a secar la parte continental y con ello haga disminuir las lluvias sobre tierra. No existe aún una teoría definitiva que explique por qué sólo una pequeña parte de las perturbaciones tropicales alcanza la categoría de huracán. En el Atlántico la mayoría se originan a partir de ondas del este, pero también de desprendimientos de ondas de latitudes medias. En el Pacífico es menos claro el origen de los huracanes. Los daños asociados a los huracanes se producen por los fuertes vientos, las intensas precipitaciones, los tornados y las mareas de tormenta.

La marea de tormenta se refiere a una especie de domo de agua de 80 a 160 km de extensión que barre la línea costera cerca de donde el huracán se aproxima o toca tierra. Este proceso es responsable de graves daños a las comunidades situadas a lo largo de la costa. La marea de tormenta se produce por las bajas presiones centrales en los huracanes. La batimetría del océano y la trayectoria del huracán determinan en gran medida el efecto destructivo de las mareas de tormenta. Las planicies costeras a mar abierto resultan particularmente vulnerables a este efecto (Fig. 1.8).



**Figura 1.8 Marea de tormenta.**

En muchos lugares no son la marea de tormenta o los intensos vientos los causantes de los daños. Las fuertes precipitaciones asociadas a los huracanes producen deslaves o inundaciones que afectan a poblaciones ubicadas en cañadas o laderas de las montañas. En México, el huracán Paulina en octubre de 1997 causó los más graves daños a la población por el efecto de lluvias increíblemente intensas, más de 300 mm en unas cuantas horas (Fig. 1.9).



**Figura 1.9 Daños ocasionados por Paulina.**

La escala Saffir-Simpson sin embargo, no hace referencia a la intensidad de las precipitaciones, por lo que los daños por lluvias, inundaciones y deslaves asociados a un huracán clase 1 pueden ser mayores que los de un huracán clase 5. Es por ello que en materia de protección civil, cualquier fenómeno ciclónico de este tipo

constituye motivo de alerta entre las autoridades correspondientes. Sin duda, la acción de las autoridades es más intensa cuando se anuncia que un huracán entrará a tierra.

El huracán Stan mantuvo categoría 1 menos de 12 horas. Sin embargo, las copiosas precipitaciones, en combinación con una elevadísima vulnerabilidad, resultaron en tragedia para Chiapas.

Existen otras formas de tiempo severo que constituyen un peligro para núcleos poblacionales. Entre estos se encuentran los tornados, sistemas reconocidos como la forma más violenta de tiempo severo. Afortunadamente son de escala espacial pequeña y de vida muy corta. Un tornado es una columna de aire en rotación que está en contacto con la superficie y que generalmente está conectado a una tormenta. Se vuelve visible por las nubes o el polvo que atrae. El recorrido de un tornado comprende distancias entre 1.5 y 150 km de longitud, abarcando un ancho de entre uno y varios cientos de tros. Su duración puede ser de unos pocos minutos hasta dos horas, dependiendo de su intensidad (vientos de hasta 500 km/hr). Como en el caso de los huracanes, los tornados se han clasificado de acuerdo a su intensidad (velocidad de los vientos) en débiles, fuertes y violentos, en lo que se conoce como escala Fujita.

No es extraño que alguno de estos fenómenos ocurra en regiones planas donde aparecen tormentas intensas, especialmente cuando se forman huracanes. El mayor riesgo para la población afectada que vive en regiones de tornados está en los fuertes vientos, las corrientes ascendentes, los vórtices aledaños y un fuerte descenso en la presión. Estos factores pueden ocasionar caída de árboles, postes y hasta construcciones. El polvo y los materiales que hacen volar constituyen un peligro adicional. Se tiene la sospecha de que el desastre reciente

en Piedras Negras, Coahuila, tuvo su origen en un tornado. Sin embargo, la falta de monitoreo apropiado no ha permitido caracterizar el proceso.

**Clima.** Quizá la variable meteorológica de más valor, desde el punto de vista socioeconómico, sea la precipitación, dado que de ella depende el agua disponible que cada año es utilizada. Por este motivo, hoy en día se trabaja en mantener un esquema de estadísticas climáticas e incluso de pronóstico climático que dé como resultado información sobre los recursos hídricos. La forma de estudiar el clima hoy en día no se limita a factores atmosféricos, sino que requiere de muchas otras disciplinas como Hidrología, Biología o Economía, para que la información climática adquiera valor adicional. Un esquema propuesto por la OMM ejemplifica claramente lo que el estudio del clima debe comprender (Fig. 1.10).

A diferencia de algunos países donde la información climática es clave para la planeación, en México son pocas las acciones coordinadas que se siguen para mitigar los efectos negativos y aprovechar los aspectos positivos de condiciones climáticas extremas, como las que se presentan durante El Niño o La Niña. Son varias las razones por las cuales no se ha actuado en ma-

teria de planeación tomando en cuenta el factor climático. Por ejemplo, no es sino hasta fechas recientes que las investigaciones sobre los impactos de El Niño en México tomaron forma como para comenzar a distinguir cuáles efectos le están asociados y cuáles no. La tendencia a hablar de lo impecible del clima o a culpar a El Niño de todas las manifestaciones negativas del clima en México se tradujo en dudas respecto de la utilidad de considerar seriamente la información climática para planear actividades en algunos sectores socioeconómicos. Por otro lado, muchos de los potenciales usuarios de la información climática esperan pronósticos altamente precisos (determinísticos) tanto espacial como temporalmente que están más allá de las posibilidades reales de las ciencias atmosféricas. Es por ello que aún no se llega a un manejo del riesgo climático por sector.

En algunos países en vías de desarrollo se piensa que los desastres, mal llamados naturales, son impredecibles y cada vez más recurrentes. Ante esta situación, la sociedad juega un papel pasivo frente a un elemento activo como la naturaleza. Las implicaciones de esta visión derivan en que estado y sociedad no asumen claramente las responsabilidades inherentes a toda organización en materia de



Figura 1.10 Esquema de acciones para aprovechar la información climática.  
Fuente: Organización Meteorológica Mundial OMM [http://www.wmo.ch/pages/index\\_es.html](http://www.wmo.ch/pages/index_es.html)

seguridad, al no reconocer la influencia de los procesos económicos y políticos en la vulnerabilidad. Se puede considerar que en nuestro país los sectores hídrico, agropecuario y forestal son los más vulnerables a las variaciones del clima. Sin embargo, su capacidad de generar y aprovechar información climática es baja.

**Relación agua-clima.** En México, la disponibilidad de agua está distribuida en forma desigual, contrastan los más de 28,000 m<sup>3</sup>/hab/año, disponibles en la región de la frontera sur, con 227 m<sup>3</sup>/hab/año en el valle de México. En varias regiones del centro y norte se tienen ya niveles inferiores a los 2,500 m<sup>3</sup>/hab/año. En particular, en la península de Baja California, en la región del río Bravo y en las cuencas del norte se estima que la disponibilidad para el año 2020 será menor a los 1,000 m<sup>3</sup>/hab/año, considerado por la OMM como el umbral mínimo para satisfacer necesidades básicas.

La baja eficiencia en la utilización del recurso hídrico contribuye a incrementar la problemática del sector. En la agricultura se desperdicia 55% del total de agua que se extrae para ese fin, debido a fugas en la conducción y la aplicación. El sector urbano pierde aproximadamente 43% y las pérdidas totales representan 49% del agua que se extrae para usos consuntivos.

En los años por venir, las zonas urbanas en regiones semiáridas de México enfrentarán problemas de abastecimiento de agua, en relación directa con el aumento de su población y por ende de la demanda. Las razones principales estarán en el abatimiento de los acuíferos que tendrán menor recarga potencial debido al aumento en la evapotranspiración bajo un clima más cálido, o en la reducción de los caudales de los ríos que alimentan a grandes centros urbanos. El problema actual de disponibilidad y distribución del líquido se agravará en mayor o



Foto: Mario Hernández

menor medida por efecto del aumento en la temperatura (Martínez, 2007). Es necesario que a los planes de desarrollo se les añada el elemento cambio climático; pocas veces considerado en las soluciones encaminadas a reducir la vulnerabilidad presente.

El agua y la agricultura están estrechamente relacionadas en un país donde gran parte de esta actividad es de temporal. Lluvias deficitarias producen afectaciones no sólo de tipo económico, sino también sociales, por el alto número de afectados. Las variaciones de la precipitación no solamente tienen efectos directos sobre el rendimiento de un determinado cultivo, sino que también llegan a afectar el suelo, en términos de cambios en los contenidos de materia orgánica, de disponibilidad de nutrientes, de estabilidad de agregados y de alteración de la biota del suelo; lo que finalmente repercute en la calidad y el rendimiento de los cultivos. En general, se puede pensar que aumentos en la precipitación resultan 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. Tales condiciones climáticas deben ser consideradas dentro de los escenarios futuros.

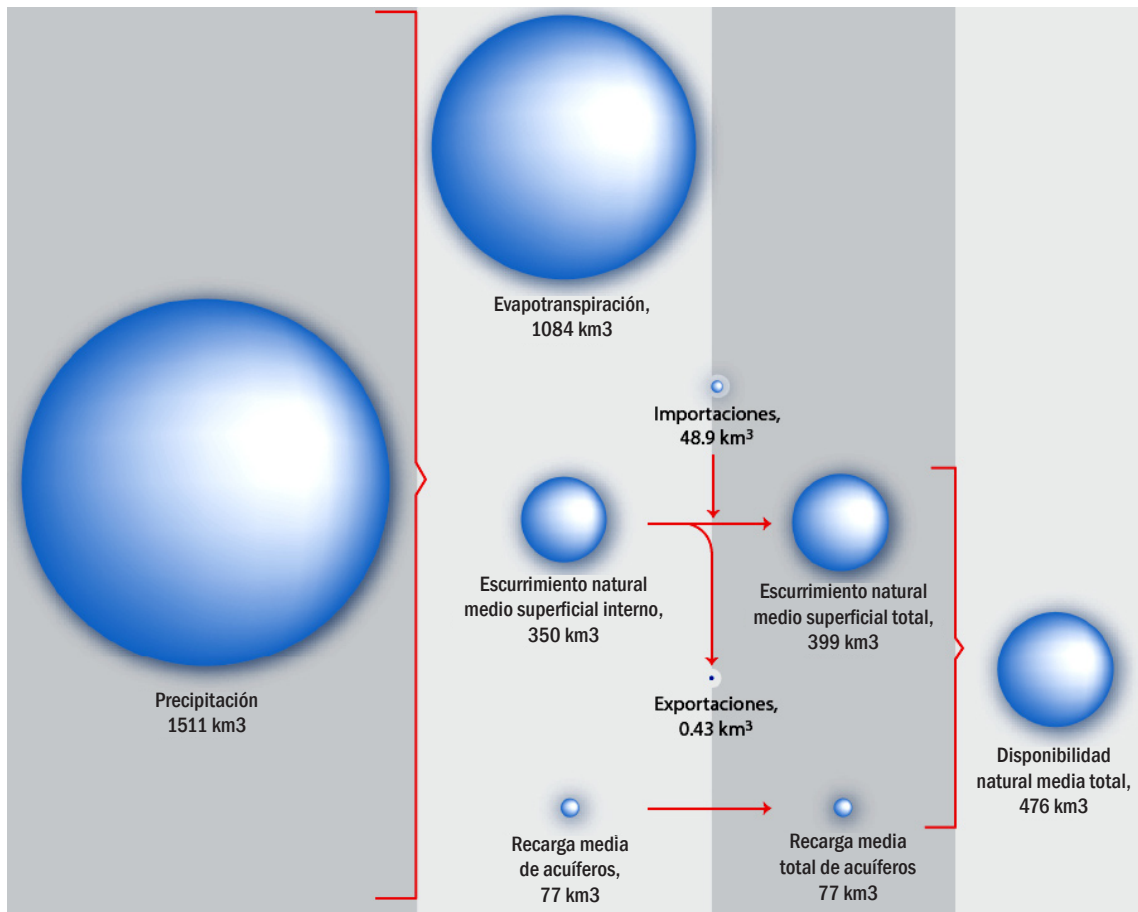
**El ciclo hidrológico.** Los factores que controlan el clima de una región son la latitud, la elevación, la topografía, su proximidad a largas masas de agua y las circulaciones atmosféricas dominantes. Para cualquier fin práctico, los cuatro primeros no varían significativamente con el tiempo. Sin embargo, las variaciones en las circulaciones atmosféricas dependen de factores dinámicos variables como la temperatura del mar o la concentración de gases de efecto invernadero. Como lo propuso Ed Lorenz (1960), la mejor descripción que se puede hacer de la circulación atmosférica es en términos de

vapor de agua, aunque en la actualidad esto sigue siendo difícil.

Los océanos contienen 97.5% del agua de la tierra, los continentes el 2.4% y la atmósfera sostiene menos del 0.01%. Esto es sorprendente, considerando que el agua atmosférica desempeña un papel extremadamente importante como factor modulador del tiempo y el clima. La precipitación anual para la tierra es más de 30 veces la capacidad total de la atmósfera para sostener el agua. Este hecho indica el rápido reciclaje del agua atmosférica que debe ocurrir entre la superficie de la tierra y la atmósfera.

Para el caso de México, un país mayormente semiárido, se han estimado los componentes del ciclo hidrológico (Fig. 1.11). La mayor parte de la precipitación en el país se evapotranspira, y sólo una proporción menor escurre o se infiltra. El esquema presentado corresponde a condiciones recientes en términos de parámetros climáticos (Carabias y Landa, 2005). Sin embargo, las variaciones de estos parámetros, en términos porcentuales, no se proyectan de manera lineal en el clima. Aumentos en la temperatura de 2°C pueden llevar a disminuciones en la disponibilidad del agua de hasta un 15%. Es por ello que al analizar las variaciones del clima se deben considerar no sólo las de la lluvia, sino también las de los otros parámetros que afectan al ciclo hidrológico (Martínez, 2007).

**El Niño.** Después del ciclo anual, la forma más importante de variación del clima está relacionada con el fenómeno conocido como El Niño. Se ha encontrado que su ocurrencia está asociada con alteraciones en el clima a escala global. El Niño se refiere originalmente a un calentamiento anómalo de las aguas del mar frente a las costas de Perú que ocurre poco antes de fin de año o de la Navidad, de ahí el nombre "El Niño" (por el niño Jesús). Hoy en día, el hablar de El Niño implica referirse a



**Figura 1.11 Componentes del ciclo hidrológico en México. Fuente: Carabias y Landa, 2005.**

un calentamiento de toda la parte este, incluso la central del océano Pacífico ecuatorial. Con el tiempo, se encontró que dicha anomalía de la temperatura de la superficie del mar ocurre en conjunto con una anomalía de la circulación atmosférica conocida como Oscilación del Sur (Fig. 1.12), es por ello que hoy se hace referencia a todo el proceso como el ENOS.

A diferencia del ciclo anual, el fenómeno ENOS no tiene un periodo regular. Puede ocurrir en lapsos de dos a siete años y con diferente intensidad, lo que lleva a veces a hablar de El Niño débil o El Niño fuerte; lo que en el fondo refiere al carácter caótico y probabilístico del clima. Existe además la contraparte de El Niño, conoci-

da como La Niña, que consiste en un enfriamiento anómalo de las aguas del Pacífico del este. El clima visto desde el punto de vista ENOS, consiste en variaciones entre periodos Niño y Niña. No existen reglas sobre la ocurrencia de uno u otra. Puede suceder que a un evento Niño siga otro Niño, una Niña o nada. Entre los eventos más intensos del último siglo se tienen los ocurridos entre 1982-1983 y entre 1997-1998. Los eventos La Niña recientes más intensos fueron los ocurridos en 1955 y 1988. A veces se habla de una cierta variación de baja frecuencia en la actividad ENOS, con mayor número de eventos Niña entre 1950 y 1980, y un mayor número de eventos Niño de 1980 a la fecha, modulados por la Oscilación Decadal del Pacífico.



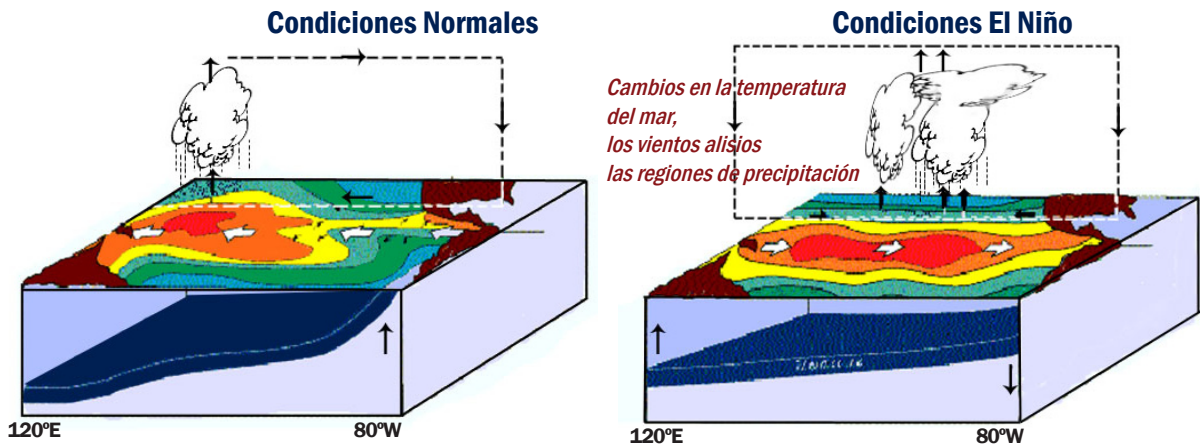


Figura 1.12 Esquema de condiciones normales y condiciones El Niño.  
Fuente: Magaña, 1999.

Las condiciones anómalas de la temperatura superficial del mar durante El Niño y La Niña producen cambios en la circulación atmosférica que resultan en variaciones de los patrones de temperatura y precipitación. El Niño se ha asociado con diversas manifestaciones anómalas en el clima. Algunas de las más conocidas en Latinoamérica son las fuertes precipitaciones, las inundaciones y los deslaves en Perú, Ecuador, partes de Chile, así como de Argentina, sur de Brasil y Uruguay, e incluso California y Florida. Por el contrario, un Niño intenso resulta en déficit de precipitación e incluso sequías en Australia, en la costa Pacífica de Mesoamérica, parte del Caribe, y en el noreste de Brasil.

Por su fuerte impacto en el clima de las regiones tropicales y subtropicales, en algunos centros de pronóstico se utiliza el fenómeno ENOS para realizar predicciones de anomalías climáticas estacionales. Sin embargo, se debe resaltar que no todas las formas de variabilidad climática están asociadas a El Niño o La Niña. Existen otros factores, muchos de ellos por descubrirse, que modulan el clima del planeta. Tal es el caso de las extensiones de nieve, la humedad almacenada en el suelo, las anomalías climáticas en el océano Atlántico, o los cambios

en la composición de la atmósfera o en el uso del suelo, debidos a la influencia humana.

Si se considera el caso de México, las anomalías que en promedio se pueden esperar bajo eventos intensos El Niño, son cambios durante el invierno en la lluvia en el norte del país, mientras que en verano se manifiestan en la región centro y Pacífico (Fig. 1.13). Es necesario aclarar que los patrones de anomalía de precipitación presentados no son siempre así. En eventos El Niño débiles, como los ocurridos en los años 1986-1987 o en 1991-1992, algunas de las regiones señaladas como de déficit de precipitación en el patrón promedio presentaron anomalías de lluvia incluso positivas. Tal situación refuerza el planteamiento de que bajo condiciones El Niño sólo se piensa que es más probable que se presenten anomalías de lluvia como las mostradas en la figura 1.13.

El reto del pronóstico estacional del clima está en la asignación de probabilidad a los diferentes estados del clima. Actualmente se trabaja en analizar las probabilidades de tres condiciones del clima: 1) que sea un año con anomalías positivas de lluvia que lo hagan estar entre los más lluviosos, 2) que sea un año con

anomalías positivas o negativas pero dentro del rango de variabilidad considerada normal y 3) que sea un año con anomalías de lluvia negativas y que lo haga uno de los más secos. Evidentemente, la probabilidad de que se presente el patrón promedio es cero, pues sólo significa un punto en la función de distribución de probabilidad. Por ello, la figura 1.13 de anomalías de precipitación debe ser interpretada como una condición muy probable, pero nunca como “la condición” bajo Niño o Niña.

Existen regiones en Chihuahua o en el norte de Sinaloa, que bajo el esquema presentado muestran que en veranos El Niño o veranos La Niña, la anomalía de lluvia es negativa. Tal situación, lejos de ser contradictoria, permite

concluir que no toda la variabilidad del clima está determinada por la ocurrencia de El Niño. Aunque El Niño ha servido de mucho para entender parte de la variabilidad interanual del clima, existen otras formas de variabilidad cuyo origen no ha sido explicado y que por lo mismo hacen del estudio del clima un reto continuo. La Oscilación Multidecadal del Atlántico resulta fundamental para entender las sequías de duración de más de un año.

La importancia del ENOS para las sociedades del mundo ha llevado a establecer sistemas de observación y vigilancia de las condiciones en el océano Pacífico. Un arreglo de boyas a lo largo del Pacífico ecuatorial fue colocado desde los años noventa con el fin de vigilar las condicio-

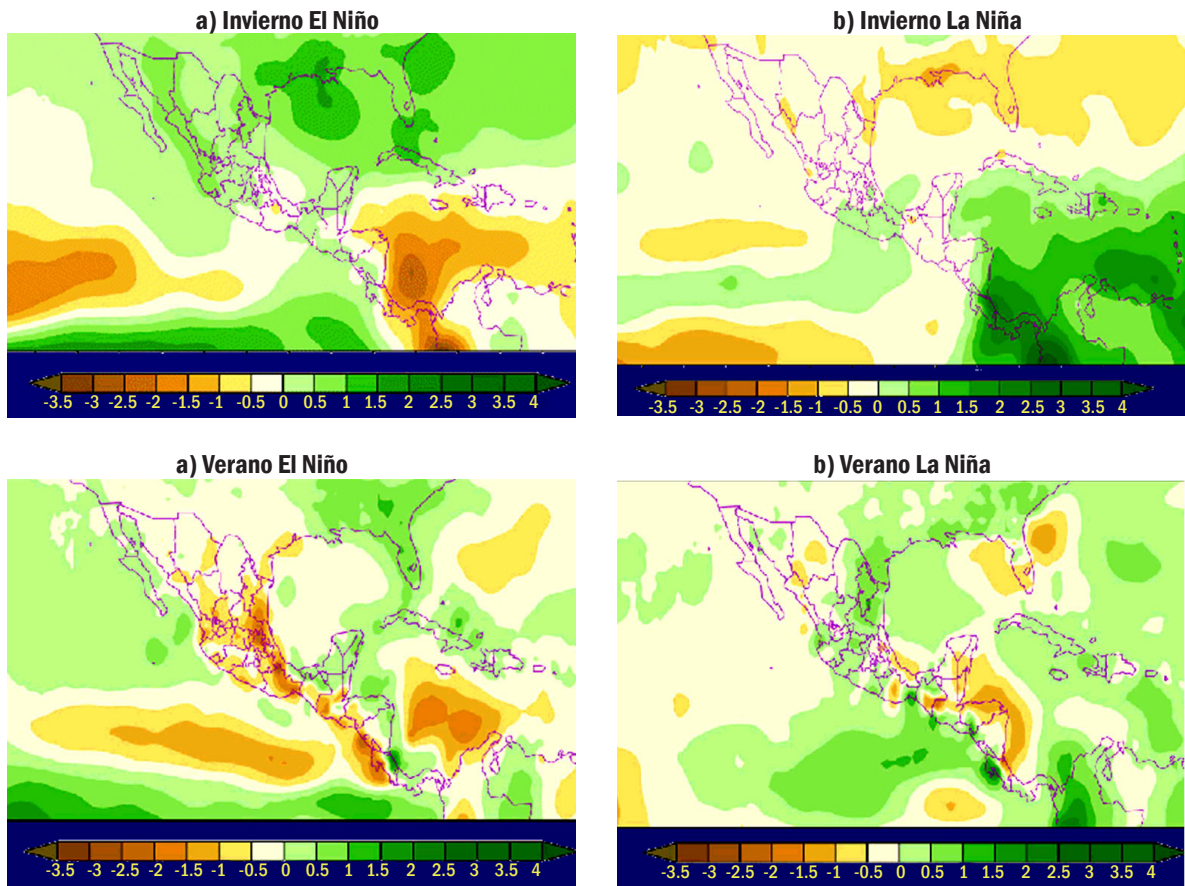


Figura 1.13 Anomalías promedio de precipitación en México. Fuente: Magaña, 1999.

nes en el mar que puedan resultar en un evento El Niño. Tal arreglo conocido como TAO (Tropical Atmosphere Ocean) permite identificar si se tratará de un evento Niño o Niña fuerte o débil y tener una idea de cuándo surgirá. Junto con avanzados modelos de predicción del clima oceánico, hoy es posible pronosticar la ocurrencia de El Niño o La Niña con al menos tres meses de anticipación. Dicha información puede ser utilizada para generar pronósticos climáticos regionales.

El clima es pronosticado, pues la función de distribución de probabilidad generada para una estación, queda determinada por relaciones físicas y por la condición de frontera existente (por ejemplo, temperatura de superficie del mar) que varía lentamente. La condición final más probable no depende ya tanto de la condición inicial o de lo que los humanos hagan, pues en el plazo de unos cuantos meses, su influencia es menor. Con el cambio climático es diferente, pues las probabilidades del clima futuro dependerán de lo que la sociedad haga en el presente.

**El cambio climático.** La influencia humana en el clima es un hecho. El cambio de uso de suelo asociado a la deforestación produce cambios en el clima al hacer que cambien tres factores a saber, el albedo, la rugosidad de la superficie y la humedad que retiene el suelo. Las regiones de bosques han reducido su extensión, principalmente en las últimas décadas.

El caso más notable de alteración del clima por efecto del cambio del uso de suelo se tiene en las grandes ciudades en que se produce el efecto conocido como "Isla de Calor". Éste consiste en una elevación de la temperatura de superficie de más de dos grados en promedio. Incluso se ha encontrado que por efecto de la urbanización, el ciclo hidrológico puede verse afectado, aumentando la precipitación y el

número de eventos extremos de lluvia intensa. Tal es el caso de la Ciudad de México, cuya temperatura promedio a lo largo del siglo XX pasó de 14°C aproximadamente a un poco más de 18°C. Similarmente la precipitación, al menos en la estación Tacuba de la ciudad, aumentó en más de un 40% en casi 100 años. Al parecer, los cambios no son sólo en la cantidad de precipitación, sino también en la forma en que llueve. Hoy en día se experimenta más del doble de aguaceros (más de 20 mm/hr) que a principios del siglo XX.

A escala regional y global son dos los factores que determinan el cambio climático. Uno es el cambio en el uso de suelo y el otro gran disparador del calentamiento del planeta es el cambio en la emisividad atmosférica, a través del aumento en la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) desde finales del siglo XIX.

Una atmósfera más caliente de lo normal tiene la capacidad de mantener más vapor de agua. Si en dicha atmósfera se mantienen los mecanismos naturales para formar nubes y producir lluvias, las precipitaciones pueden ser más intensas pero quizá menos frecuentes. En este sentido, es difícil determinar con precisión cómo afectan los cambios en el clima inducidos por el hombre a las lluvias regionales, pero a través de modelos numéricos del clima de alta resolución espacial, se comienza a analizar el problema.

Son los cambios en el clima a escala global los más documentados. Desde la Revolución Industrial a mediados del siglo XIX, se comenzó a consumir carbón y más adelante petróleo como combustibles en máquinas. Así, junto con una deforestación extensiva en el planeta, las concentraciones de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) aumentaron, haciendo pensar que no está lejana la fecha en que, por la actividad

humana, se dupliquen las concentraciones de  $\text{CO}_2$  con respecto a los niveles preindustriales (280 ppm). Junto con aumentos en las concentraciones de otros gases de efecto invernadero como el metano ( $\text{CH}_4$ ), producto de la producción de ganado o de arroz, se han inducido cambios en la composición atmosférica a niveles tales que es posible establecer que el clima del planeta se ha visto y se verá alterado por la acción humana (IPCC, 2007). La razón de tal alteración reside en el hecho de que los gases mencionados son eficientes absorbedores y re-emisores de la radiación de onda larga que emite el planeta como parte del llamado efecto invernadero. La energía que queda atrapada en el planeta ha llevado a aumentos en la temperatura de la parte baja de la troposfera para poder mantener un cierto balance entre la energía que llega del Sol y la que la Tierra emite al espacio.

Un planeta con temperaturas más elevadas resultará en un ciclo hidrológico más intenso, deshielo de los casquetes polares y glaciares, aumento en el nivel del mar, eventos extremos más frecuentes, huracanes más intensos, y quizá un ciclo ENOS reforzado. Tal condición alterará el desarrollo de los países y por lo tanto, se tendrán que implantar medidas de adaptación para aminorar los efectos negativos de un clima al que las sociedades humanas no están acostumbradas.

Como consecuencia del aumento en la temperatura, los glaciares han disminuido en extensión, principalmente en las últimas décadas. Se piensa que esta fuente de agua, principalmente en la región andina, pudiera afectar la disponibilidad del vital líquido en la alta montaña. Se calcula que para 2030 los glaciares mexicanos en el Iztaccíhuatl y el Citlaltépetl habrán desaparecido. Una consecuencia adicional que el cambio climático tiene, es el aumento en el nivel medio del mar, estimado en 20 cm en los últimos

cien años. Tal alteración resulta de gran riesgo para países insulares o comunidades costeras, pues por cada centímetro que sube su nivel, el mar entra varios metros en tierra. México no ha escapado a dicho proceso. El nivel ha ido aumentando y las mediciones costeras en el golfo de México reflejan esta tendencia.

Sin embargo, el mayor riesgo lo constituye el incremento en la variabilidad del ciclo hidrológico. En atmósferas más calientes, como la de Ciudad de México, el número de tormentas intensas ha aumentado al menos en un orden de magnitud. Además de una mayor capacidad de contener vapor de agua por una temperatura más elevada, la mayor temperatura de superficie urbana hace menos estable la condición atmosférica, permitiendo el desarrollo de nubes más profundas. Ante esto, vale la pena establecer estrategias de protección civil que preparen a la población a una mayor actividad de tormentas severas, en regiones donde regularmente se tienen lluvias de verano. En regiones áridas o semiáridas también se están presentando mayor número de tormentas intensas, pero la amenaza serán las sequías que podrían volverse más comunes, afectando a grandes sectores de la población.



Foto: Archivo Semarnat

**Escenarios de cambio climático.** En América Latina y el Caribe el cambio climático tendrá serias consecuencias debido a la alta vulnerabilidad de la mayoría de los países a alteraciones en el clima. Prueba de dicha vulnerabilidad son los altos costos que el fenómeno ENOS de 1997-1998 tuvo en esta región. De acuerdo a los más recientes reportes del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) los mayores impactos estarán relacionados con cambios en el ciclo hidrológico. Un escenario posible se basa en el hecho de que el fenómeno ENOS sea más frecuente e intenso. Bajo esta suposición es probable que la señal del cambio climático sea una marcada transición entre años con lluvias intensas y periodos con déficit severo de lluvia (IPCC, 2001; 2007; Magaña, 2004).

Algunos datos de las tendencias del clima en Latinoamérica indican que la temperatura en la mayor parte de este territorio ha aumentado (Aguilar et al., 2005). Los aumentos en las temperaturas de superficie se manifiestan con frecuencia como olas de calor que afectan a la población infantil y adultos de edad avanzada. No obstante, tal aumento en la temperatura se manifiesta también en temperaturas mínimas más elevadas por lo que algunos de los riesgos por bajas temperaturas disminuirían. En años recientes han aumentado los reportes de personas que mueren por golpe de calor, reflejando por un lado, el aumento de las olas de calor, pero por otro lado, mayor vulnerabilidad o difusión del tema.

Los escenarios que se generan para cambio climático esperado se construyen a partir de modelos numéricos del clima. Como en el caso de la variabilidad interanual del clima, se efectúan una gran cantidad de experimentos variando no sólo la condición inicial o el modelo usado, sino también los forzantes radiativos. La concentración de gases de efecto invernadero

varía de acuerdo con los escenarios de crecimiento económico y poblacional, así como de la tecnología y otros factores socioeconómicos. Es por ello que no se habla de pronósticos, sino de escenarios, pues dependerá del comportamiento socioeconómico lo que ocurra con el clima futuro. Un escenario es una visión del mundo futuro, coherente, plausible e internamente consistente. Es como una serie de imágenes de cómo se vería bajo diferentes condiciones; no es un pronóstico.

Recientemente se presentaron los escenarios regionales de cambio climático para México y Centroamérica (IPCC, 2007) y para diferentes épocas del año. Bajo diversos escenarios de emisiones y para diferentes modelos, la temperatura aumentará entre 2 y 4°C hacia finales de siglo. Es poco clara la tendencia y la magnitud de los cambios proyectados para la precipitación. Si bien los experimentos numéricos presentan poca dispersión para las proyecciones de aumento en la temperatura, algunos modelos indican que la precipitación en la región aumentará, y otros que disminuirá. Aunque son más los que indican tendencia a disminución, la dispersión es grande y en general, los cambios proyectados son menores que la variabilidad interanual de las lluvias. En cambio, 2°C de aumento en la temperatura están fuera del rango de lo que hasta la fecha se considera una variación normal.

Sólo en algunos años, como durante El Niño 1997-1998 se experimentaron aumentos promedio de temperatura de ese orden de magnitud con impactos muy significativos, principalmente en la disponibilidad de agua. Las proyecciones de los modelos climáticos indican que las variaciones en precipitación serán de aproximadamente el 5%, lo cual está dentro del marco de variabilidad normal actual. No se piense sin embargo que esto significa que no cambia el ciclo hidrológico, ya que una superficie más

caliente conduce a mayor evaporación, por lo que los escurrimientos e infiltraciones, así como la humedad del suelo disminuirán.

El análisis anterior debe ser complementado con proyecciones de lo que sucederá con los eventos extremos bajo un escenario de cambio climático. Como se mencionó, una atmósfera más caliente tiende a resultar en tormentas más intensas; los fenómenos que más preocupan son los huracanes.

De acuerdo al conocimiento que se tiene del fenómeno, existe una relación entre la máxima intensidad que puede alcanzar el fenómeno y la temperatura de la superficie del mar donde se desarrolla. A mayor temperatura de superficie, mayor probabilidad de alcanzar categorías altas. Un planeta más caliente representará una mejor oportunidad de tener más huracanes de

los intensos ubicados en escalas 4 ó 5 de Saffir-Simpson.

Existen también manifestaciones del cambio climático en otros elementos geofísicos regionales. Aumentos en el nivel del mar, cambios en la cubierta de hielo y nieve, cambios en la humedad del suelo y en su distribución espacial, o cambios incluso en la calidad del aire. Todos ellos representan una amenaza para diversos sectores como son hídrico, agropecuario, forestal, energético y salud, entre otros; es decir, para casi cada aspecto de desarrollo del país.

Será necesario entender no sólo las tendencias en valores medios del clima, sino también en sus variaciones y extremos, para proponer estrategias de adaptación adecuadas que lleven a disminuir la vulnerabilidad frente a las variaciones naturales del clima y el cambio climático.



Foto: Brenda Ávila

## Relaciones clima-agricultura de temporal en Querétaro y Guanajuato

En México, gran parte de la agricultura es de temporal, por lo que las condiciones climáticas determinan en gran medida el rendimiento de los cultivos. Los eventos hidrometeorológicos extremos, como sequía o inundaciones, tienen serios impactos en este tipo de agricultura. El análisis de la variabilidad de clima y de la vulnerabilidad de los cultivos permite estimar el riesgo climático para cada ciclo agrícola, incluyendo el valor de los seguros agrícolas. La información climática permite proponer cambios en la variedad de los cultivos, dependiendo de sus requerimientos hídricos e incluso modificar prácticas de manejo bajo una probabilidad de peligro climático. Cuando se conoce el riesgo se pueden plantear medidas de reducción de la vulnerabilidad, ya sean estructurales o diseñadas para un periodo particular.



Foto: Brenda Ávila

Para el sector de los seguros agrícolas, un análisis de la variabilidad climática resulta de utilidad en la definición de sus acciones año con año, principalmente cuando se considera el pronóstico estacional. En la agricultura de temporal, el seguro se enfocaba principalmente a disminuir las pérdidas ocasionadas por sequías e inundaciones. Mediante un estudio de clima-agricultura de temporal en Querétaro y Guanajuato se realizó una estimación de riesgo climático que llevara a determinar valores umbral de riesgo intolerable y que requiriera de acciones de respuesta en cultivos de maíz de temporal. Este trabajo constituye uno de los primeros ejemplos de cómo utilizar la información del riesgo climático, aprovechando pronósticos climáticos probabilísticos, en un sector como el de los seguros agrícolas (Agroasemex).

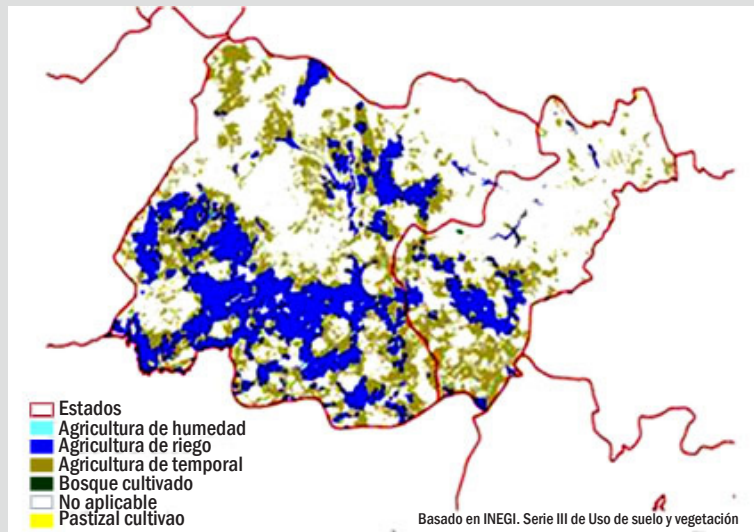
El riesgo climático corresponde a una combinación de la amenaza de clima extremo (fuera de los rangos considerados normales) y la vulnerabilidad que, entre muchos otros factores, se debe a la débil infraestructura para enfrentar los peligros hidrometeorológicos. Se presenta cuando existe la posibilidad de que condiciones desfavorables en la lluvia o la temperatura, puedan ocasionar un desastre en una región, dada su alta vulnerabilidad. Ésta última puede ser estudiada desde los diversos puntos de vista físico, económico o de la percepción social. En el primer caso se considera la estructura misma del elemento expuesto considerando su resistencia o resiliencia a condiciones de clima, más allá de un umbral crítico. Así, los requerimientos hídricos ideales o mínimos constituyen el umbral después del cual la vulnerabilidad lleva a un riesgo intolerable. Desde el punto de vista económico, se estima vulnerabilidad considerando el valor de los bienes expuestos al desastre, los costos del impacto o el precio de las acciones que se pudieran llevar a cabo para reducir el riesgo. Existen sin embargo, otros elementos que determinan la vulnerabilidad y que dependen de la percepción que tenga el potencialmente afectado, sobre su propia vulnerabilidad; los cuales deben ser tomados en cuenta, ya que de ello depende, en buena medida, su capacidad de emprender acciones de respuesta a una amenaza.

Con base en los requerimientos hídricos en diversas fases del cultivo se determinó la existencia de condiciones climáticas adecuadas para la producción. A través del análisis de la variabilidad de clima y de la vulnerabilidad de los cultivos, principalmente a valores extremos de precipitación y temperatura (o su equivalente en humedad del suelo), se estimó el riesgo de pérdidas, es decir se siguió una aproximación de valoración de elementos físicos. El riesgo agroclimático para cada cultivo se calculó a través de datos históricos y de relaciones de probabilidad condicional,  $\Pr(E_1 | E_2)$ , que es la probabilidad de que un evento  $E_1$  ocurra cuando se sabe que un evento  $E_2$  ocurrió u ocurrirá. Formalmente, la probabilidad condicional es definida en términos de la intersección del evento de interés ( $E_1$ ) y el evento condicionante ( $E_2$ ):

$$\Pr(E_1 | E_2) = \frac{\Pr\{E_1 \cap E_2\}}{\Pr\{E_2\}} \quad (1)$$

Una vez establecida la probabilidad de ocurrencia de una condición climática anómala como la sequía, a través de un pronóstico probabilístico, se construyeron mapas temáticos de las regiones bajo una mayor amenaza climática para cada cultivo.



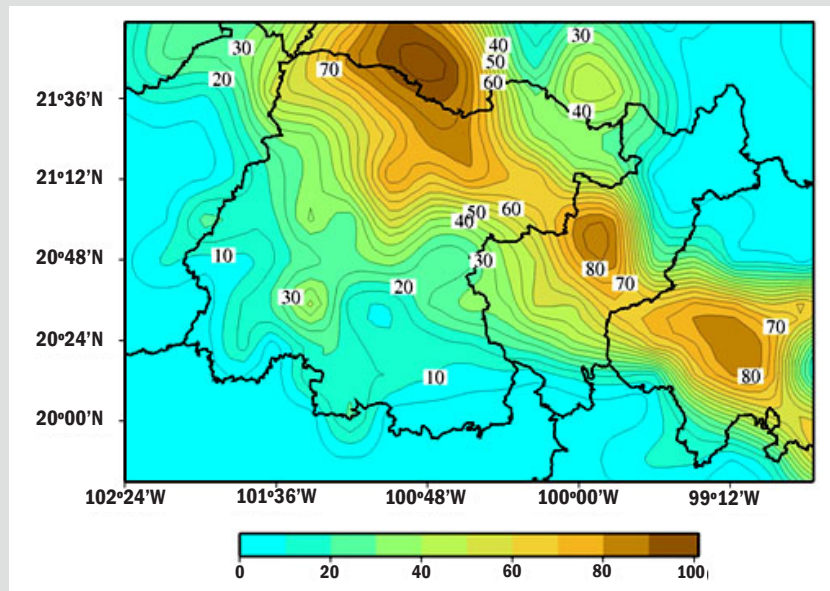


**Zonas de cultivo en Guanajuato y Querétaro. Sombreados azules corresponden a zonas de riego y sombreados grises a zonas de temporal.**

En primer lugar se estableció, a partir de datos diarios, en dónde se cuenta con buenas probabilidades de que se cumpla con los requerimientos hídricos del maíz, fríjol o sorgo. Posteriormente, bajo un análisis de relaciones de rendimientos bajos, se establecieron valores umbrales de precipitación, por debajo de los cuales se llega a pérdidas fuertes o totales (desastre). Por ejemplo, para el cultivo del maíz, el umbral de precipitación por debajo del cual los rendimientos en Querétaro y Guanajuato fueron definitivamente bajos o de grandes pérdidas fue de 325 mm en el ciclo primavera verano. Las probabilidades de que se presente esta condición en las zonas de cultivo de temporal fueron relativamente bajas, menores del 20% en las zonas sur y suroeste del Bajío. Sin embargo, existen zonas del norte de Guanajuato donde la probabilidad de déficit hídrico, aun en condiciones normales, es alta.



Foto: Grupo de Meteorología Tropical, CCA, UNAM



**Probabilidad (a partir de datos históricos) de que se presenten lluvias menores a 325 mm entre junio y octubre en Guanajuato y Querétaro.**

Con base en los cálculos de probabilidades de ocurrencia de lluvias insuficientes, se estimó la probabilidad de siniestro por causa de la amenaza, quedando implícita la vulnerabilidad a la amenaza de déficit de lluvia. De forma similar se estableció la probabilidad de que las temperaturas máximas o mínimas no correspondan a las necesarias para el éxito de un cultivo. Así, se dispone de una primera estimación de riesgo conocido para quienes cultivan maíz de temporal. Sin embargo, los productores saben del riesgo que normalmente esperan, sin que eso sea una causa para no desarrollar su actividad. Ante tal condición, la alerta para el productor o para la compañía de seguros agrícolas, debe estar al momento de establecer las probabilidades de que no se cumpla con la condición climática umbral en una estación o periodo determinados. Dichas probabilidades pueden ser obtenidas de los pronósticos climáticos estacionales. Por ejemplo, si las probabilidades de que lluevan menos de 325 mm en el ciclo del cultivo, o si las probabilidades de que se exceda la temperatura umbral son mayores que las climáticas, se tiene una condición de riesgo intolerable, la cual deberá llevar a los tomadores de decisiones, sean productores o compañías de seguros, a redefinir su accionar para ese ciclo.

Las acciones por tomar dependerán de la confianza que se tenga en el pronóstico climático, y dicho nivel de confianza dependerá del esquema de pronóstico que se tenga, de la variable a pronosticar, del plazo de pronóstico y de la resolución espacial. En la actualidad se sabe que los esquemas de pronóstico funcionan mejor cuando se

presentan condiciones La Niña o El Niño, de preferencia intensas, como fue el caso en los años 1982 y 1997. Sin embargo, los avances en materia de pronóstico indican que incluso cuando tales condiciones no son tan fuertes, se puede tener un adecuado pronóstico estacional, como sucedió durante las lluvias de verano de 2005, cuando se presentó un retraso en el inicio de la temporada, que fue pronosticado desde abril.

Usando los pronósticos de lluvias y temperatura se puede, incluso, estimar cuál será el efecto en la humedad del suelo y por tanto en la salud de la vegetación, principalmente en zonas donde se ubican cultivos de temporal. Por ejemplo, en años El Niño, como en 1982, se presentó un retraso en las lluvias que originó que en junio ocurriera un verano de gran estrés hídrico con serios impactos para la agricultura.

Una primera aproximación de los costos del riesgo y del impacto climático en la agricultura se puede obtener al considerar el valor económico que tiene la producción de una tonelada de grano y los beneficios que se obtienen con tal producción. Por ejemplo, según datos de Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, para el año 2005, el retraso de un mes en las lluvias provocó una caída de alrededor del 13% en la producción agropecuaria nacional. En el caso de la producción de maíz grano de temporal en el ciclo primavera-verano en Guanajuato y Querétaro las pérdidas fueron de aproximadamente 211 millones de pesos; correspondientes a 153,000 toneladas que se dejaron de producir al siniestrarse alrededor de 163,000 hectáreas de las 271,000 sembradas, y sólo se tuvo una producción con valor de 140 millones de pesos. Si se compara con el año 2006, en que la superficie siniestrada sólo fue de 62,000 hectáreas con respecto de las 285,000 sembradas, y se considera que el valor de la producción fue de 712 millones de pesos; la diferencia en valor de producción de maíz con respecto al 2005 fue de 572 millones de pesos. Si el mismo ejercicio se realiza con respecto del año 2004 la diferencia en valor de producción es de alrededor de 900 millones de pesos.

Actualmente, en el sector agropecuario la información climática no se limita a datos de estaciones meteorológicas y estadísticas básicas de la precipitación, la temperatura y su variabilidad. La disponibilidad de sensores remotos y de modelos avanzados de diagnóstico y pronóstico climático debieran llevar a integrar verdaderos sistemas de información climática para la toma de decisiones.

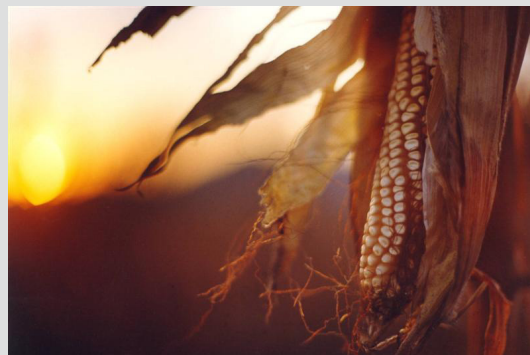


Foto: Fernando Briones



## Capítulo 2

# Vulnerabilidad del país al cambio climático

---

### 2.1 Vulnerabilidad frente a eventos hidrometeorológicos extremos

---

Los eventos hidrometeorológicos extremos constituyen amenazas o peligros que pueden convertirse en factores desencadenantes de un desastre. El riesgo de que efectivamente se produzca un desastre está determinado también por la concurrencia de diversos factores de exposición y vulnerabilidad<sup>6</sup>, todos ellos de índole social y por ende susceptibles de modificarse mediante políticas públicas, en un sentido de mitigación o agravamiento. Estos factores de exposición y de vulnerabilidad son los que determinan que un mismo evento peligroso pueda ocurrir sin generar prácticamente daños o bien desencadenar un desastre de grandes proporciones.

En América Latina y el Caribe los daños totales por desastres de diverso origen ascendieron a 8,523 millones de dólares americanos entre 1972 y 1980, a 17,821 millones entre 1980 y 1990, y a 23,755 millones en el periodo de 1990 al 2000 (CEPAL-BID, 2000). México parece ser muy representativo de esta tendencia regional.

La situación geográfica del país, las condiciones climáticas, orográficas e hidrológicas, entre otros factores, contribuyen a que México esté expuesto, en mayor medida que muchos otros países del continente, a eventos hidrometeorológicos que pueden llegar a situaciones de desastre y cuyos efectos se verán exacerbados por el calentamiento global. Por ejemplo,

como se vió en el capítulo precedente, el fenómeno El Niño es responsable de gran parte de la variabilidad climática interaunal. El Niño se asocia con la ocurrencia de sequías severas en el norte y centro del país. Este fenómeno se presentó con mayor intensidad a partir de los años ochentas, en comparación con periodos anteriores. Si los efectos de El Niño se incrementaran, el país se vería expuesto con más frecuencia a eventos extremos como la sequía, en los que la extraordinaria combinación de condiciones climáticas e hidrológicas representaría riesgo intolerable y desastre (Magaña et al, 1998; Magaña, 1999; IPCC, 2001).

Condiciones extremas en el clima, como sucede durante el El Niño o La Niña, parecen provocar que la población afectada aumente dramáticamente. El Niño de 1997 produjo importantes cambios en la ocurrencia y la abundancia de las lluvias, y esto ocasionó pérdidas por más de 2,000 millones de dólares por afectaciones en la producción de granos básicos, daños materiales por inundación y estragos por incendios forestales, entre otras. La severidad de la sequía fue tal, que cerca de 2 millones de hectáreas sembradas con diversos granos básicos se vieron afectadas (Magaña, 1999).

Los huracanes que se presentan principalmente durante la temporada de lluvias, así como las marejadas y los fuertes vientos que

<sup>6</sup> La exposición está referida a la magnitud de la población, el valor de los bienes o la dimensión económica de los procesos productivos que pudieran verse afectados por el evento en cuestión; mientras que la vulnerabilidad consiste en la probabilidad de que, a raíz de su exposición a un peligro concreto, un sistema socioambiental padezca daño o desestructuración.

originan, se resienten, de manera fundamental, en las zonas costeras del océano Pacífico, del golfo de México y del mar Caribe; sin embargo, las lluvias intensas asociadas a estos fenómenos pueden causar inundaciones y deslaves, no sólo en las costas, sino también en el interior del territorio nacional. De los veinticinco ciclones que en promedio llegan cada año a los mares cercanos al país, cuatro o cinco pueden penetrar en el territorio y causar daños severos (Fig. 2.1).

En el cuadro 2.1 se aprecian algunos de los impactos registrados por eventos hidrometeorológicos presentados en México en los últimos años. Los registros recientes de estos eventos podrían ubicarse todavía en el límite de los rangos de probabilidad de ocurrencia determinados por la variabilidad natural del clima. Sin embargo, a mediano o largo plazo se espera que estos fenómenos experimenten un incremento paulatino en intensidad o frecuencia vinculado con los efectos del calentamiento global (IPCC, 2001; 2007).

En México, tanto los factores de exposición como los de vulnerabilidad frente a eventos hidrometeorológicos extremos se han incrementado durante las últimas tres o cuatro décadas. En los últimos cinco años del siglo XX, estas pérdidas resultaron ser cinco veces mayores que el promedio correspondiente a la primera mitad de la década de los años sesentas. La Secretaría de Gobernación (Segob) reconoce que mientras el número de desastres de origen geofísico ha permanecido constante, la ocurrencia de desastres por eventos hidrometeorológicos se ha más que duplicado. Durante la década de los noventa más del 90% de las personas que fallecieron por los efectos de fenómenos naturales perdieron la vida en sequías, tormentas e inundaciones (Segob, 2001). Aunado a lo anterior, hoy en día fenómenos como El Niño afectan a un mayor número de personas, ya que el aumento desordenado y la falta de planeación en la ocupación territorial han llevado a establecer asentamientos en zonas altamente vulnerables a los impactos de estos eventos naturales (Magaña, 1999).



**Figura 2.1 Principales huracanes que han impactado en México en el periodo 1980-2005.**  
Fuente: Carabias y Landa, 2005.

Evento	Fecha	Estados afectados	Impactos registrados	Costos
Huracán Gilberto	1988	Coahuila, Tamaulipas, Nuevo León, Quintana Roo, Yucatán y Campeche	225 muertes, 46 heridos y 9,739 viviendas afectadas. 88,000 personas evacuadas y 5,000 damnificados. 364,000 hectáreas dañadas. Daños a la navegación, comunicaciones, servicios urbanos e infraestructura. Causó 50% de las pérdidas agrícolas del país.	76 millones de dólares
Huracán Ismael	1995	Sonora, Sinaloa y Baja California Sur	Guasave fue una de las ciudades más afectadas, entre 150 y 200 personas muertas en Sinaloa, 24,111 damnificados en Sonora y 21,500 ha de cultivo dañadas.	
Huracán Paulina	1997	Costas de Guerrero y Oaxaca	En Oaxaca 400 víctimas, más de 5,000 damnificados, más de 120,000 ha de cultivos dañados y 80,000 ha de bosques y selvas perdidos, inundaciones y daños en la infraestructura carretera.	
Lluvias intensas	1998	Chiapas, Distrito Federal y Baja California	En Chiapas 417 muertos, 353 poblaciones afectadas y cerca de 30,000 damnificados. En el D.F. lluvia de 57 mm en 50 minutos, la precipitación más intensa en los últimos 60 años, caída de árboles y postes de energía eléctrica. En Baja California se desalojaron Tijuana y Rosarito, casi 1,000 damnificados y 584 personas refugiadas, 14 muertos y más de 50 colonias inundadas.	
Bajas temperaturas	1998	Todos	241 muertos y numerosos casos de infecciones respiratorias. En el norte del país se presentaron cuantiosos daños, en Sonora se perdieron 17,000 ha en los Valles del Yaqui y El Mayo.	
Huracán Isidoro	2002	Yucatán y Campeche	En Yucatán 500,000 damnificados, 53,000 casas destruidas o dañadas, 1.2 millones de ha de cultivos perdidas. Costosas pérdidas en el sector salinero, en las plantaciones de coco y en la actividad ecoturística.	8,877.56 millones de pesos
Huracán Kenna	2002	Jalisco y Nayarit		1,244.84 millones de pesos
Lluvias intensas	2002	San Luís Potosí y Zacatecas	Rompimiento de dos presas pequeñas que dejaron varios muertos y graves estragos a las localidades cercanas a las infraestructuras colapsadas.	197.66 millones de pesos
Sequía	2002	Sonora, Sinaloa, Tlaxcala, Veracruz y San Luís Potosí	Pérdida de 11,600 cabezas de ganado y afectación de 145,000 ha de cultivos.	
Lluvias e inundaciones	2003	Oaxaca, Chiapas, Michoacán, Jalisco, Guanajuato, Zacatecas, Nayarit y Veracruz.	614,000 personas afectadas, 83,463 viviendas y 200,000 ha agrícolas dañadas y daños en infraestructura.	3,637.5 millones de pesos
Lluvias e inundaciones	2004	Coahuila, Quintana Roo, Chihuahua, Durango	125,000 personas afectadas, 19,624 viviendas y 200,000 ha agrícolas dañadas y daños en infraestructura.	437.9 millones de pesos
Huracanes Stan y Wilma	2005	Chiapas, Veracruz, Quintana Roo, Yucatán, Campeche y Tabasco	El Huracán Stan ocasionó lluvias intensas que causaron deslaves y daños materiales importantes a los estados de Chiapas, Veracruz, Quintana Roo, y en menor medida en Yucatán, Campeche y Tabasco. El Huracán Wilma afectó el 80% de la infraestructura hotelera de Cancún, Cozumel, Isla Mujeres y Playa del Carmen.	30,000 millones de pesos
Lluvias intensas e inundaciones	2007	Chiapas y Tabasco	Las lluvias de más de 300 mm en un día ocasionaron graves inundaciones que cubrieron el 80% del territorio de Tabasco. 1,100,000 damnificados, 670 localidades afectadas, daños graves a la infraestructura urbana y carretera.	Entre 7,500 y 50,000 millones de pesos.

**Cuadro 2.1: Principales impactos de algunos eventos hidrometeorológicos extremos que se presentaron en México en las últimas dos décadas.**

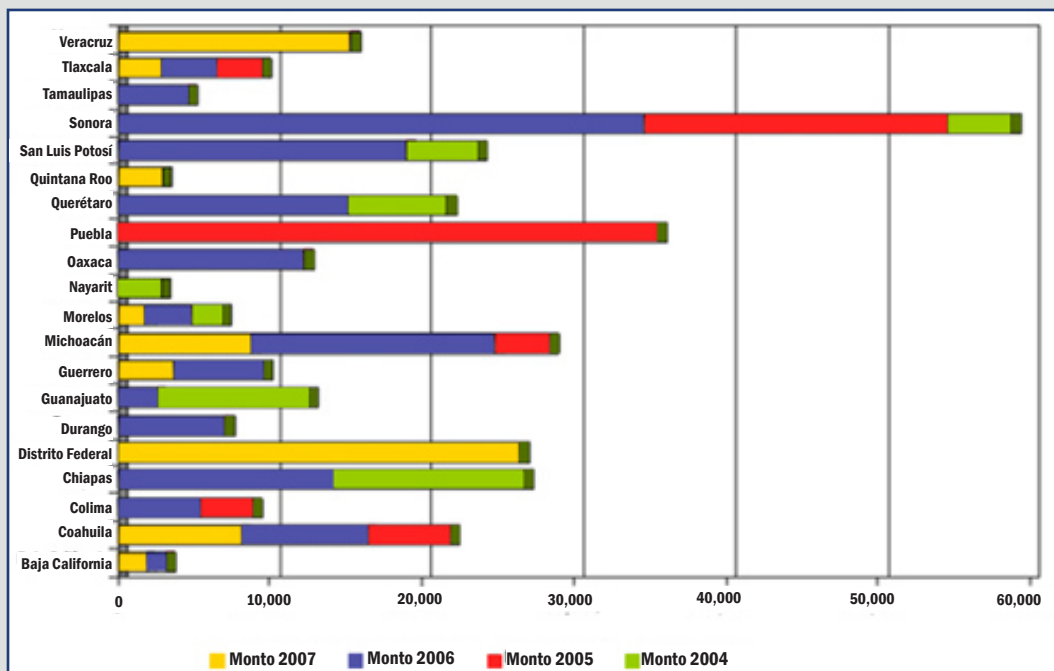
**Fuente: CENAPRED (2001, 2002, 2003, 2004, 2005), Carabias y Landa (2005), Economía (2005).**

## Características de los apoyos históricos proporcionados por el Fondo de Prevención de Desastres Naturales

El Fondo de Prevención de Desastres Naturales (Fopreden) tiene como finalidad proporcionar recursos, tanto a las Dependencias y Entidades de la Administración Pública Federal como a las Entidades Federativas, destinados a la realización de acciones y mecanismos tendientes a reducir riesgos, así como a evitar o disminuir los efectos de fenómenos naturales sobre la vida y los bienes de la población, los servicios públicos y el medio ambiente.

### Resumen de los apoyos históricos 2004-2007:

Con base en los expedientes que se encuentran bajo resguardo de la Secretaría Técnica del Consejo de Evaluación del Fopreden, se han aprobado un total de 46 proyectos, de los cuales 36 han sido solicitudes de entidades federativas y 10 de dependencias federales.



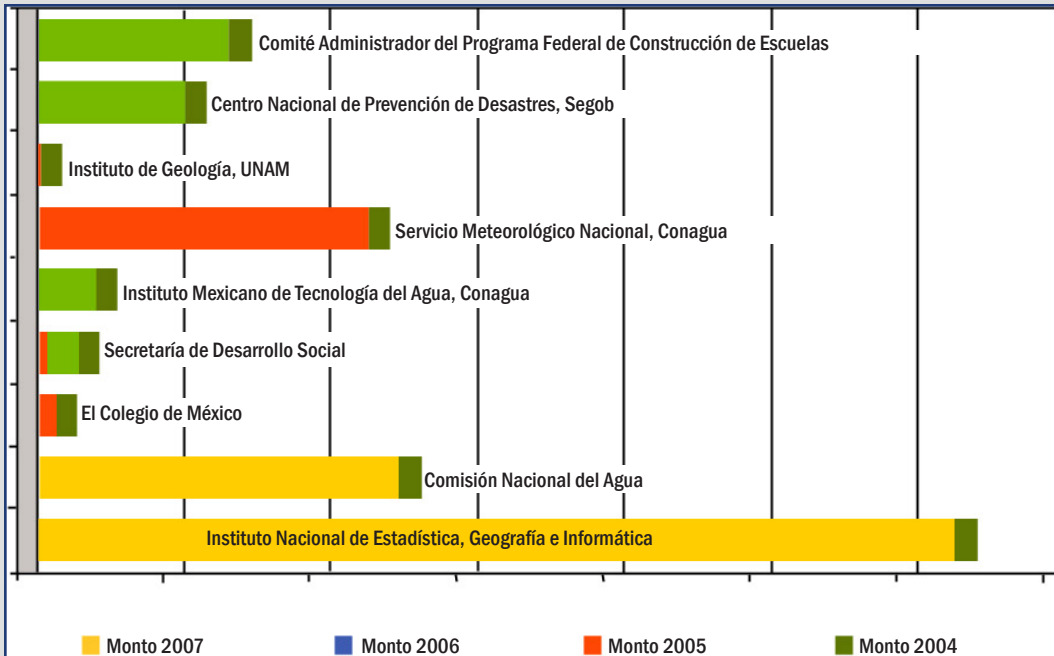


## Entidades Federativas

En lo que respecta a proyectos aprobados a entidades federativas durante el periodo que se reporta, se observa que 5 estados han obtenido acceso a los recursos del Fopreden en tres ejercicios fiscales, 7 estados en dos, 6 en una ocasión y 14 entidades federativas no han tenido acceso a los recursos de este Fondo.

## Entidades y Dependencias Federales

Respecto de las solicitudes aprobadas a dependencias federales, destacan el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), la Comisión Nacional del Agua (Conagua) y el Servicio Meteorológico Nacional (SMN).



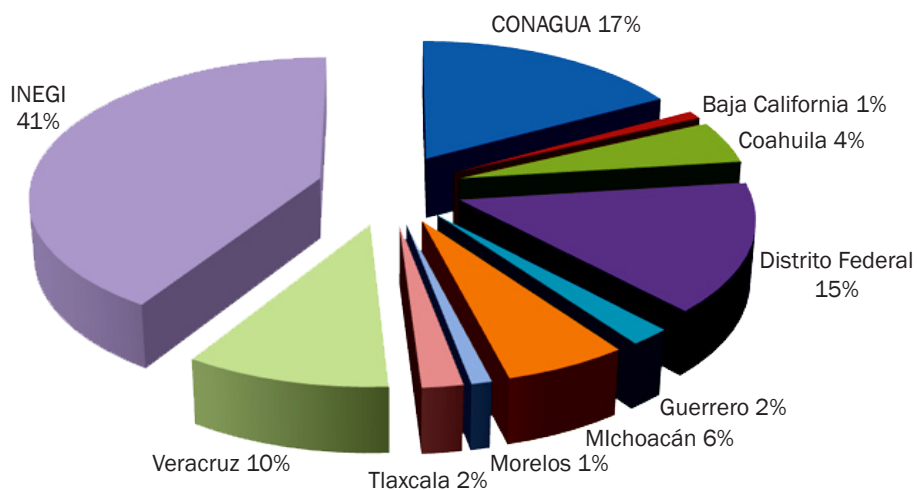
## Procedencia de proyectos 2007

### Ejercicio fiscal 2007

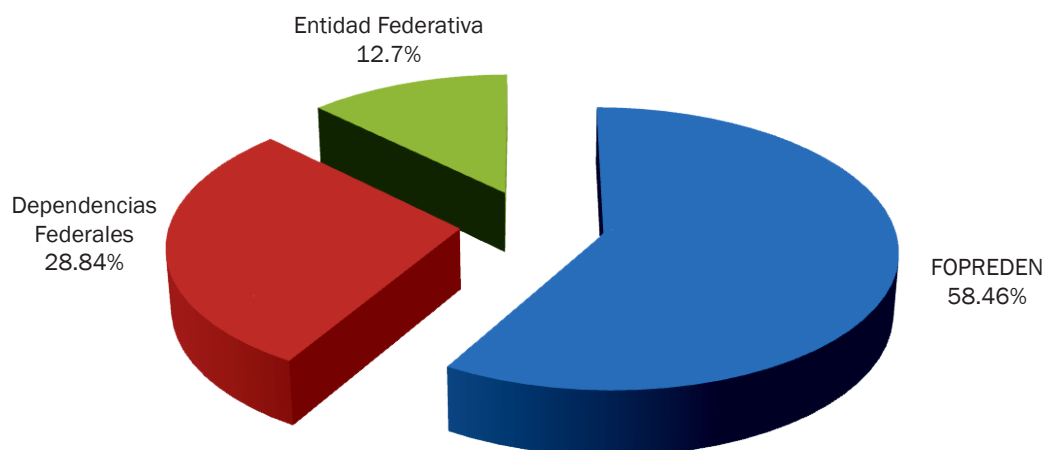
Solicitante	Nombre del Proyecto	Monto de Aportaciones		
		Total	FOPREDEN 70% o 50%	Coparticipación 30% o 50%
Baja California	Microzonificación de las áreas urbanas de Baja California	1,840,000.00	1,288,000.00	552,000.00
Coahuila	Sistema de monitoreo y alerta oportuna para zonas habitacionales	8,156,601.96	5,709,621.37	2,446,980.59
Comisión Nacional del Agua	Adquisición de un radar meteorológico Doppler para el monitoreo de eventos extremos en el estado de Chiapas	26,168,250.00	13,084,125.00	13,084,125.00
Gobierno del DF	Atlas de riesgos del Distrito Federal	23,212,344.00	16,248,640.80	6,963,703.20
Guerrero	Identificación geotécnica de laderas potencialmente inestables en las zonas urbanas de los municipios de Acapulco, Chilpancingo, Tlapa, Taxco y Zihuatanejo	3,714,800.00	2,600,360.00	1,114,440.00
Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática	Prevención de riesgos hidrometeorológicos en el territorio nacional, mediante tecnología Lidar	63,998,205.57	31,999,102.79	31,999,102.79
Michoacán	Sistema de Información de Riesgos (SIR) fase II	8,764,000.00	6,134,800.00	2,629,200.00
Morelos	Señalización y balización de las cinco rutas de evacuación de la zona de mayor riesgo del volcán Popocatepet en el estado de Morelos	1,825,748.76	1,278,024.13	547,724.63
Tlaxcala	Creación de un centro de capacitación teórico-práctico especializado en prevención de desastres y protección civil	3,317,901.79	2,322,531.25	995,370.54
Veracruz	Equipamiento y asesoría para la elaboración del atlas de peligros geológicos é hidrometeorológicos del estado de Veracruz	15,324,000.00	10,726,800.00	4,597,200.00
<b>Total General</b>		<b>156,321,852.08</b>	<b>91,392,005.34</b>	<b>64,929,846.74</b>

## Ejercicio fiscal 2007

TOTALES	\$156,321,852.08	100.00%
Participación Fopreden	\$91,392,005.34	58.46%
Participación Estatal	\$19,846,618.95	12.70%
Participación Federal	\$45,083,227.79	28.84%



### Solicitudes autorizadas 2007



### Aportaciones 2007

## 2.2 Escenarios en condiciones de cambio climático

La evidencia de los efectos del cambio climático en México es altamente consistente con el calentamiento observado en décadas recientes a nivel mundial. Los avances en la investigación sobre el calentamiento global han permitido caracterizar la vulnerabilidad a este proceso, en un amplio rango de sistemas ecológicos y humanos y a cambios de mayor magnitud proyectados para el siglo XXI. El cambio esperado en la frecuencia, la intensidad y la persistencia de extremos climáticos, así como el cambio en la variabilidad climática natural (ENOS), son elementos determinantes del impacto y de la vulnerabilidad de los países en el futuro (IPCC, 2001; 2007). Los estudios más recientes señalan que la vulnerabilidad de México frente a los efectos climáticos muestra signos de incremento.

De acuerdo con los resultados del Primer Estudio de País frente al Cambio Climático (Gay, 2000), en las zonas costeras de mayor vulnerabilidad, la influencia de aumento del nivel del mar se manifiesta hasta 40 ó 50 km tierra adentro. Es el caso del río Mezcalapa-Usumacinta y los humedales de Centla en Tabasco. Se concluyó que el complejo deltaico Grijalva-Mezcalapa-Usumacinta es una de las áreas costeras más susceptibles a hundimientos, erosión de la playa y retroceso de la línea de costa. Este mismo estudio proyecta impactos significativos sobre los ecosistemas forestales, los recursos hidrológicos, la industria, la agricultura y los asentamientos humanos (Gay, 2000; Ortiz y Méndez, 2000).

En la agricultura las regiones más vulnerables son el norte y el centro del país; se proyecta una disminución de la producción para numerosos cultivos, aun con la implementación de medidas tecnológicas y de adaptación a tal cambio. Se espera que un incremento en la temperatura reduzca el ciclo productivo de los cultivos. Los

estudios de vulnerabilidad de la producción de maíz basados en escenarios de aptitud y rendimiento, muestran que la superficie no apta para el cultivo de maíz pasará de 60 a 75% del territorio nacional, la superficie medianamente apta para este cultivo se reducirá del 33% a entre 8 y 22% de la superficie del país.

De los diversos sectores sociales que se verían afectados por la intensificación de los efectos de la variabilidad climática, es sin duda el sector rural de subsistencia localizado en condiciones climáticas adversas, el más desprotegido (Landa y Neri, 2007). Se tendrá que considerar la adaptación como estrategia que permita a este sector hacerlo más viable. Algunas propuestas en este sentido han sido exploradas recientemente (INE-UNAM, 2006).



Foto: Brenda Ávila

Respecto a la desertificación<sup>7</sup>, el estudio de país muestra que prácticamente todo el territorio será vulnerable en grados bajo y alto. Las áreas de alta vulnerabilidad corresponden a las zonas áridas, semiáridas y secas subhúmedas, así como a diversos lugares del centro del país en donde se concentran gran cantidad de población y de actividades económicas. A nivel estatal, Baja California, Coahuila, Jalisco, Nayarit, Querétaro, Guanajuato, Michoacán, Sonora e Hidalgo tendrían más del 68% de su superficie con un alto grado de vulnerabilidad a la desertificación.

De acuerdo con los modelos predictivos más del 70% de la superficie nacional presentaría valores de vulnerabilidad a la sequía meteorológica en grados muy alto y alto, siendo más afectado el norte y prolongándose los efectos por toda la costa del Pacífico y el centro del país. Los estados más vulnerables a la sequía meteorológica serán: Sinaloa, Jalisco, Michoacán, Guerrero y Oaxaca, afectados en casi 90% de su territorio; Campeche y Chiapas en el 75% y Quintana Roo en gran parte de su superficie.



Foto: Archivo Semarnat

## 2.3 Factores que incrementan la vulnerabilidad

Las posibilidades de adaptación al cambio climático varían considerablemente entre regiones, países y grupos socioeconómicos. Los países con recursos económicos limitados, bajos niveles tecnológicos, poca información, poca infraestructura, inestabilidad institucional, e inequidad en el acceso a los recursos tienen poca capacidad adaptativa y son altamente vulnerables (IPCC, 2001). Los impactos que se manifiestan por un evento extremo están en relación directa con lo que hace o deja de hacer la sociedad para enfrentarlos, dichos eventos hidrometeorológicos son sólo procesos naturales que forman parte de la dinámica del sistema

climático. Los fenómenos hidrometeorológicos no se pueden evitar ni modificar, pero sus impactos, pueden ser aminorados mediante medidas de adaptación.

Destacan como factores que incrementan la vulnerabilidad frente a los impactos de eventos extremos vinculados al clima, ciertas características de la dinámica y la distribución poblacional, las actividades económicas, así como las dificultades para lograr el manejo integral de riesgos en el marco de la gestión de los recursos hídricos en particular, y de la gestión ambiental en general.

<sup>7</sup> Entendida como la degradación de la tierra en zonas áridas, semiáridas y secas subhúmedas resultado de un impacto humano adverso.

## Algunas condiciones poblacionales que influyen en la vulnerabilidad del país

La vulnerabilidad frente a la variabilidad natural del clima y a los efectos del cambio climático está relacionada con factores como el crecimiento poblacional, la pobreza, las condiciones de salud pública, la proliferación de asentamientos en lugares de alto riesgo, la intensificación industrial, el deterioro y las carencias de infraestructura o equipamiento territorial; así como por los efectos locales acumulados por los procesos de deterioro ambiental (Semarnap, 2000; Tudela, 2004; Carabias y Landa, 2005).

### Población en riesgo

El grado de exposición poblacional frente a los impactos de eventos extremos en México queda evidenciado con las siguientes cifras :

- 560 municipios rurales de las costas y próximos a éstas, con una población cercana a 7.7 millones de habitantes, se ven afectados por la ocurrencia de ciclones de diversa magnitud. Las zonas con mayor exposición a ciclones de gran intensidad son la península de Yucatán, la costa de Tamaulipas y el norte de Veracruz; también se ven afectadas las costas de Sinaloa, Jalisco, Colima, Michoacán y Guerrero, así como la península de Baja California. Un total de 1.4 millones de personas con diversas carencias económicas son las más vulnerables a los impactos de huracanes.
- Cerca de 5.6 millones de pobladores rurales residen en municipios con incidencia de inundaciones, situados principalmente en el noroeste, Sinaloa, Durango, Nayarit y Jalisco, en el noreste, Tamaulipas y norte de Veracruz, así como en el sur-sureste, costas de Guerrero, Oaxaca, Chiapas y Tabasco. Un total de 3.7 millones de habitantes rurales presentan mayor vulnerabilidad ante situaciones de inundación.
- En las zonas susceptibles a sequías del norte y centro del país, donde la escasez de agua afecta las actividades humanas y productivas, habitan 7.6 millones de personas, de las cuales 4.6 millones se encuentran en condiciones de alta y muy alta marginación.
- De los 879 municipios ubicados en zonas de heladas, 49.6 por ciento son municipios rurales. En los últimos tres lustros se incrementó la población ubicada en zonas con presencia de heladas, el número de habitantes pasó de 39 millones en 1990 a 49.8 millones en 2005, de los cuales 5.8 millones (11.6%) residen en localidades rurales del centro y norte del país.

**Población total y tasa de crecimiento de la población ubicada en distintas zonas de riesgo,  
1990 - 2005**

	1990	1995	2000	2005	Incremento ab. 1990-2005	TCMA (%) 1990-2005
<b>En zona sísmica</b>						
<b>Total</b>	69 656 247	78 094 979	83 516 846	87 757 034	18 100 787	1.49
Rurales	16 649 767	17 591 9886	18 518 382	18 365 268	1 715 501	0.63
Semiurbanos	6 524 982	7 391 479	7 930 599	8 282 708	1 757 726	1.54
Urbanos	46 481 498	53 111 512	57 067 865	61 109 058	14 627 560	1.77
<b>En zonas de ciclones tropicales</b>						
<b>Total</b>	27 413 155	31 016 021	33 282 887	35 462 987	8 049 832	1.66
Rurales	6 980 919	7 396 042	7 710 678	7 705 298	724 379	0.63
Semiurbanos	2 468 498	2 785 627	2 903 515	3 048 399	579 901	1.36
Urbanos	17 963 738	20 834 352	22 668 694	24 709 290	6 745 552	2.06
<b>En zonas de inundación</b>						
<b>Total</b>	29 108 673	31 914 261	33 683 158	34 921 773	5 813 100	1.17
Rurales	5 137 910	5 417 195	5 612 531	5 526 400	388 490	0.47
Semiurbanos	1 543 254	1 721 758	1 808 647	1 889 492	346 238	1.31
Urbanos	22 427 509	24 775 308	26 261 980	27 505 881	5 078 372	1.32
<b>En zonas de sequía</b>						
<b>Total</b>	31 810 146	36 205 044	39 073 325	42 130 688	10 320 542	1.82
Rurales	7 120 514	7 425 386	7 613 468	7 527 990	407 476	0.36
Semiurbanos	2 812 157	3 203 693	3 395 392	3 579 914	767 757	1.56
Urbanos	21 877 475	25 575 965	28 064 465	31 022 784	9 145 309	2.26
<b>En zonas con presencia de heladas</b>						
<b>Total</b>	39 015 762	43 942 580	47 131 539	49 806 037	10 790 275	1.58
Rurales	5 347 487	5 694 317	5 915 320	5 813 735	466 248	0.54
Semiurbanos	3 458 258	4 014 495	4 379 568	4 672 396	466 248	1.95
Urbanos	30 210 017	34 233 768	36 836 651	39 319 906	9 109 889	1.70

Fuente: CONAPO, 2006. Estimación a partir del INEGI, censos de población 1990-2000, conteos de población 1995-2005 y Dirección General de Protección Civil.

Adicionalmente durante el siglo XX, la población del país creció siete veces, pasando de 13.6 a 103 millones de habitantes, en este caso el simple crecimiento demográfico amplía la magnitud de la población expuesta a peligros asociados a las condiciones climáticas. Los efectos de este crecimiento se suman a los derivados de la consolidación de ciudades en las costas del país.

## Estados más vulnerables y marginados

Los mexicanos que viven bajo condiciones de pobreza son particularmente susceptibles ante los efectos de eventos hidrometeorológicos extremos\*. Esta condición aumenta la vulnerabilidad en mayor proporción que el crecimiento poblacional, lo que obedece a varios factores, entre los que destacan:

- Los asentamientos precarios tienden a ubicarse en lugares de mayor exposición a eventos peligrosos y bajo condiciones de mayor fragilidad natural.
- La infraestructura de sectores con menos posibilidades económicas suele ser de mala calidad.
- La cobertura de servicios en dichos asentamientos es inadecuada y en muchos casos inexistente. Muchos de estos servicios, de funcionar correctamente, podrían haber mitigado los impactos de un evento climático extremo.
- Los bajos niveles de ingresos se afectan más por una merma temporal derivada de un desastre. Las economías familiares se desestabilizan.

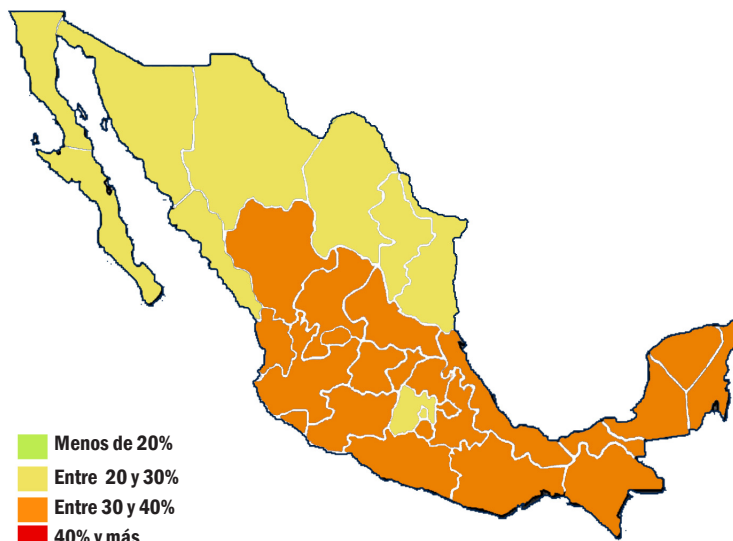
Las proyecciones de los índices de marginación en México apuntan hacia su agravamiento relativo en estados como Guerrero, Veracruz, Oaxaca y Chiapas (Conapo, 2003; 2006). La concentración de la pobreza en estos estados y las tendencias esperadas en el nivel de marginación para los próximos años, incrementarán la vulnerabilidad de sus habitantes ante los efectos previsibles del cambio climático.



Foto: Carolina Neri

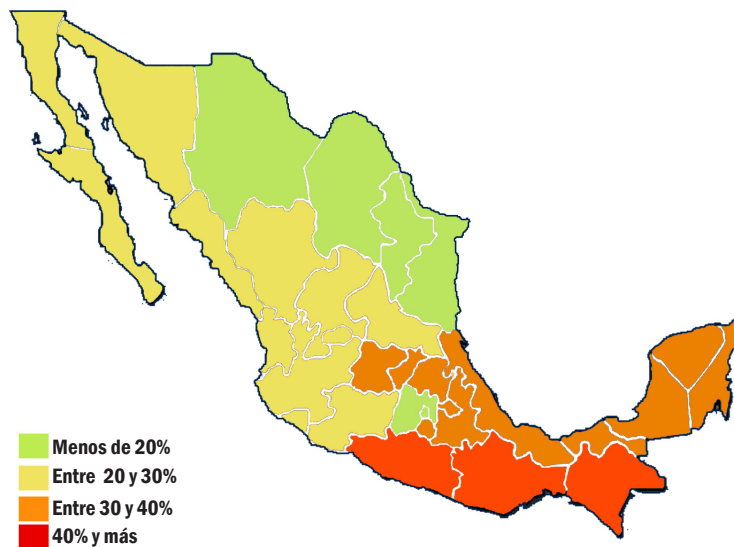
\* A nivel global, en 1998 el 95% de las muertes por desastres de origen diverso tuvieron lugar en países en desarrollo, (CEPAL-BID, 2000).





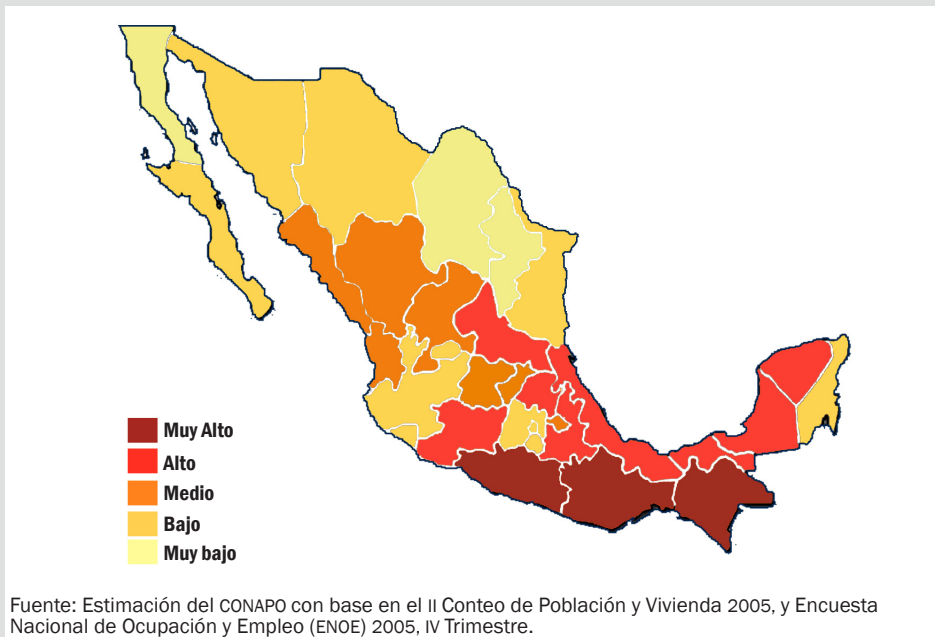
Fuente: Hernández, 2000.

Porcentaje de la población en situación de pobreza extrema en 1996.



Fuente: Hernández, 2000.

Porcentaje de la población en situación de pobreza extrema proyectada al 2015.



**Grado de marginación por entidad federativa, 2005.**

## Ciudades y vulnerabilidad hídrica

Ciertas características de la actividad económica también incrementan la vulnerabilidad del país frente a los efectos de fenómenos hidrometeorológicos. Tanto la población como algunas actividades productivas tienden a concentrarse en las zonas áridas y semiáridas del centro y norte del país, donde la explotación de los recursos hídricos excede los límites de la sustentabilidad. Más de 70% de la población, un tercio de la superficie irrigada, y más de 60% de la industria dependen del uso de aguas subterráneas cuyas reservas disminuyen a una tasa aproximada de 6 km<sup>3</sup>/año, lo que ha llevado a registrar para 2006, 104 de los 653 acuíferos como sobreexplotados (Conagua, 2007). Esta situación cobra importancia frente a la ocurrencia de sequías, o a la disminución o retraso de las lluvias en diversas zonas del país.

Frente a un aumento en la temperatura, es de esperar que se agudicen las tendencias en la disminución de la disponibilidad natural de agua por habitante. Particularmente crítica es la disponibilidad en las zonas urbanas de las regiones centro, centro-norte, noreste y noroeste del país. Algunos escenarios de incremento en la demanda de agua al 2030 han sido desarrollados por la UNAM y por la Conagua. La disponibilidad disminuirá y la demanda crecerá sustancialmente.

Número de ciudades y población urbana por región, según disponibilidad natural de agua *per capita*, 2005

Región	Total	Muy baja	Baja	Media	Alta y muy alta
<b>Total urbano</b>					
Ciudades	363	110	108	82	63
Población	72 718 690	41 395 171	1 6 689 218	8 934 902	5 699 399
Porcentaje	100.0	56.9	23.0	12.3	7.8
<b>I Noroeste</b>					
Ciudades	37	7	18	12	---
Población	6 197 705	2 641 495	2 068 505	1 487 705	---
Porcentaje	100.0	42.6	33.4	24.0	---
<b>II Norte</b>					
Ciudades	29	20	6	3	---
Población	5 813 046	4 055 910	1 256 363	500 773	---
Porcentaje	100.0	69.8	21.6	8.6	---
<b>III Noreste</b>					
Ciudades	17	13	2	---	2
Población	6 610 490	5 417 289	885 080	---	308 121
Porcentaje	100.0	81.9	13.4	---	4.7
<b>IV Occidente</b>					
Ciudades	61	21	23	17	---
Población	8 594 925	1 922 643	5 601 877	1 070 405	---
Porcentaje	100.0	22.4	65.2	12.5	---
<b>V Centro Norte</b>					
Ciudades	47	31	15	1	---
Población	7 033 234	5 489 426	1 524 455	19 353	---
Porcentaje	100.0	78.0	21.7	0.3	---
<b>VI Centro</b>					
Ciudades	58	18	32	6	2
Población	27 163 449	21 868 408	4 790 596	225 017	279 428
Porcentaje	100.0	80.5	17.6	0.8	1.0
<b>VII Sur</b>					
Ciudades	52	---	11	8	33
Población	3 903 003	---	534 187	983 562	2 385 254
Porcentaje	100.0	---	13.7	25.2	61.1
<b>VIII Golfo</b>					
Ciudades	42	---	1	15	26
Población	4 889 218	---	28 155	2 134 467	2 726 596
Porcentaje	100.0	---	0.6	43.7	55.8
<b>IX Península de Yucatán</b>					
Ciudades	20	---	---	20	---
Población	2 513 620	---	---	2 513 620	---
Porcentaje	100.0	---	---	100.0	---

Fuente: Cálculos del CONAPO con base en el II Censo de Población y Vivienda 2005, y Estadísticas del agua en México, 2006.

Aun si los parámetros poblacionales permanecieran constantes, la expansión económica es otro factor que expone a la acción de los eventos destructivos a un número creciente de procesos productivos, cada vez más complejos e interconectados.

Se estima que cada año en México son dragados aproximadamente 300 millones de metros cúbicos en ríos y puertos, se pierden 1.1 billones de metros cúbicos de capacidad en los embalses; se producen pérdidas por 270 millones de dólares con la erosión de las márgenes de los ríos; y los daños generados por fenómenos hidrometeorológicos en el periodo 1980-1999 ascendieron a 4,560 millones de dólares

y 2,800 decesos (Segob, 2001; CICC, 2007). El huracán Wilma que se presentó en octubre del 2005 en el Caribe mexicano hizo evidente la vulnerabilidad de una región en la que el 90% de los ingresos se derivan del turismo. Esta región quedó paralizada tras el paso del meteoro. El impacto económico de Stan y Wilma se calculó en poco más de 30,000 millones de pesos (Economía, 2005).

---

## 2.4 Marco institucional y el tema de cambio climático

---

El panorama de la administración y la gestión del agua en México tiene ciertas particularidades otorgadas por las diferencias climáticas, la distribución de la población y las actividades productivas. Las mayores demandas de agua existen en las zonas de menor disponibilidad y paradójicamente hay zonas con una gran riqueza de recursos que no se aprovechan plenamente (CNA, 2000; 2001; Castelán 2000; Carabias y Landa, 2005; Martínez, 2007). Dicha situación determina, en principio, problemas en la planeación para enfrentar la variabilidad climática.

Algunas de las acciones más importantes que se han puesto en marcha en México para la prevención de desastres de origen hidrometeorológico son las enfocadas al monitoreo de los fenómenos naturales, en cuyo caso participa el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), dependiente de la Comisión Nacional del Agua. El SMN es la instancia gubernamental encargada de generar información meteorológica y climática, y de mantener informado al Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC) de las condiciones meteorológicas que puedan afectar a la población. El SMN ha desarrollado sus propios métodos de análisis y generación de información meteorológica.

En 1990 se creó el Consejo Nacional de Protección Civil como órgano consultivo de coordinación de acciones y de participación social en la planeación de la protección civil. Mientras que en mayo del año 2000 se promulgó la Ley General de Protección Civil (DOF, 2000) que estableció las bases de coordinación entre la federación, los estados y los municipios en materia de protección civil.

El Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana se publicó en 2001, apoyado en el Sistema de Información Geográfica para la Identificación de Riesgos (SIGIR), el cuál fue realizado por Dirección General de Protección Civil de la Segob en colaboración con la UNAM. Entre 2004 y 2005 se elaboraron diversos Atlas de Peligros Naturales para hacer compatible la información urbana entre las dependencias de la Administración Pública Federal.

Cabe destacar que en el año 2000 la Coordinación General de Protección Civil de la Secretaría de Gobernación creó el Sistema de Alerta Temprana (SIAT)<sup>8</sup> frente a huracanes. Académicos del Centro de Ciencias de la Atmósfera, y de la UNAM en general, en combinación con autoridades gubernamentales diseñaron el Sistema.

<sup>8</sup> El SIAT surge en el 2000 y se actualiza en el 2003 como una herramienta de coordinación en el alertamiento a la población y en la acción institucional, ante la amenaza ciclónica, que se sustenta en la interacción de los principales actores del Sistema Nacional de Protección Civil: la sociedad civil y sus organizaciones; las instituciones de investigación de los fenómenos hidrometeorológicos, los medios de comunicación y la estructura gubernamental del mismo sistema. Fuente: <http://www.empalme.gob.mx/siat.pdf>

Los resultados hasta la fecha han mostrado que el SIAT ha salvado cientos o quizá miles de vidas humanas (véase Cuadro 2.1).

Adicionalmente la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa) en colaboración con gobiernos estatales, inició en 2005 la instalación de Estaciones Agroclimáticas. En tanto que para 2006 la Secretaría de Desarrollo Social (Sedesol) creó el Programa de Prevención de Riesgos y Mejoramiento Ambiental (PROPRyMA), y avanzó significativamente en la elaboración de Atlas de Riesgos.

**Algunos elementos jurídicos y de planeación en el sector ambiental.** En cuanto a los documentos de planeación, que brindan bases para la gestión de riesgos en México, destaca El Programa Nacional Hidráulico del periodo 1995-2000 el cual contemplaba diferentes aspectos relacionados con la administración del agua y el uso de la información climática para el manejo de riesgos. Incluía aspectos de medición de precipitación y monitoreo de huracanes y sequías, a fin de acotar los criterios para el alertamiento temprano en situaciones de emergencia.

## Estructura institucional y atención a emergencias de origen hidrometeorológico

Ante la ocurrencia de un fenómeno hidrometeorológico, la Secretaría de Gobernación, por medio del Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC), como instancia de coordinación, es la encargada de salvaguardar a la población, a sus bienes y a su entorno.

El SINAPROC fue creado en 1986 como un conjunto orgánico y articulado de estructuras, relaciones funcionales, métodos y procedimientos que establecen las dependencias y las entidades del sector público entre sí; con las organizaciones de los diversos grupos sociales y privados y con las autoridades de los estados y municipios, a fin de efectuar acciones de común acuerdo destinadas a la protección de los ciudadanos contra peligros y riesgos que se presentan en la eventualidad de un desastre.

Con el apoyo del gobierno de Japón y de la UNAM se creó en 1988 El **Centro Nacional de Prevención de Desastres** (CENAPRED) como órgano administrativo desconcentrado, jerárquicamente subordinado a la Secretaría de Gobernación, quién provee los recursos para su operación. La responsabilidad principal del CENAPRED consiste en dotar al SINAPROC de los requerimientos técnicos que su operación demande. El objetivo del Centro es: “Promover la aplicación de las tecnologías para la prevención y mitigación de desastres, impartir capacitación profesional y técnica sobre la materia y difundir medidas de preparación y autoprotección entre la sociedad mexicana expuesta a la contingencia de un desastre”.

## Acciones de auxilio a la población ante una situación de emergencia:

- La primera autoridad que toma conocimiento de la situación de emergencia presta ayuda inmediata a la población e informa a las instancias especializadas de protección civil.
- La autoridad municipal o delegacional de protección civil (primera instancia de actuación especializada) auxilia a la población de acuerdo con su plan de emergencia.
- Si la autoridad municipal o delegacional de protección civil ve superada su capacidad de respuesta, pide apoyo a la instancia estatal o al gobierno del Distrito Federal, según corresponda.
- Las instancias estatales o del gobierno del Distrito Federal apoyan a la instancia municipal o delegacional en el auxilio a la población de acuerdo con sus planes de emergencia.
- Si la instancia estatal o del gobierno del Distrito Federal ve superada su capacidad de respuesta pide apoyo a la instancia federal.
- La instancia federal apoya a las entidades federativas, municipios o delegaciones en el auxilio a la población, de acuerdo con los programas y planes de emergencia establecidos para tal efecto.



Fuente: <http://www.segob.gob.mx>

De acuerdo al artículo 14 de la Ley General de Protección Civil (DOF, 12 de mayo 2000) el Presidente de la República, de forma directa o por intermedio de la Secretaría de Gobernación podrá emitir un llamado de ayuda internacional, a través de la Secretaría de Relaciones Exteriores o de medios de comunicación.

Corresponde al Consejo Nacional de Protección, por conducto de la Secretaría de Relaciones Exteriores, determinar los criterios para el cumplimiento de los acuerdos internacionales en materia de protección civil, así como las modalidades de cooperación.



En el Programa Nacional de Protección Civil 2001-2006 (Segob, 2001) y en el Programa Especial de Prevención y Mitigación del Riesgo de Desastres 2001-2006 (CENAPRED-SINAPROC, 2001), se reconocía la urgencia de enfrentar la variabilidad climática y sus efectos exacerbados por el calentamiento global; sin embargo todavía el tema se trataba sectorialmente y sin la claridad requerida como para vincular el incremento de la vulnerabilidad frente al cambio climático con las políticas de desarrollo económico y regional.

- El **Programa Nacional de Protección Civil 2001-2006** (Segob, 2001) pretendía mejorar el conocimiento de las amenazas y los riesgos, así como promover la reducción de la vulnerabilidad física y desarrollar o mejorar la tecnología para la mitigación.
- El **Programa Especial de Prevención y Mitigación del Riesgo de Desastres 2001-2006** contenía los principales proyectos de investigación, desarrollo tecnológico, difusión y capacitación que se consideraban necesarios para contribuir a la reducción del efecto de desastres sobre la población y su entorno (CENAPRED-SINAPROC, 2001). En lo relacionado con los efectos de eventos climáticos extremos, destacaban como objetivos estratégicos el desarrollo de mapas de riesgos de inundación, el desarrollo de investigación y tecnología, así como el establecimiento y la operación de sistemas de alerta hidrometeorológica en veinte ciudades.

Por otra parte, la atención a los efectos derivados de los fenómenos hidrometeorológicos extremos, como los huracanes, las sequías y las precipitaciones severas, constituye una línea de acción estratégica del sector hídrico. La Comisión Nacional del Agua (Conagua) tiene entre sus funciones impulsar acciones que permitan reducir los riesgos que éstos provocan, y atender sus efectos, disminuyendo las afectaciones en vidas humanas, bienes materiales y pérdidas económicas (CNA, 2001).

La Conagua, por medio del Servicio Meteorológico Nacional, reporta información meteorológica, climatológica e hidrométrica para prever sobre posibles amenazas a la población y se vincula con el SINAPROC para profundizar en el conocimiento del sistema hidrológico, la planeación y la administración del agua, así como para dar servicios de apoyo a la población.

No obstante las mejoras en la organización gubernamental y la comunicación en materia de cambio climático, las experiencias recientes han demostrado que los desastres han aumentado en los últimos años (Macías, 1999; Carabias y Landa, 2005; Provencio, 2006), lo que podría estar vinculado con la creciente complejidad del tema objeto de este libro, la que rebasa a la actual estructura institucional.

El Programa Nacional Hidráulico 2001-2006 (CNA, 2001) fue el instrumento rector de la política hidráulica en México hasta noviembre del 2006. Este Programa marcaba estrategias para la disminución de los riesgos y la atención a los efectos de inundaciones y sequías a través de: el desarrollo de medidas organizativas en la población, el uso de sistemas de información y alerta, la reubicación de población asentada en zonas de riesgo, el diseño de planes para el manejo de sequías; y la construcción de in-

fraestructura para el control de avenidas, almacenamiento o captación. Pese a que el tema climático no estaba claramente expreso en este Programa, si detallaba algunas estrategias ampliamente vinculadas con el mismo (Cuadro 2.2). Se planteaban diferentes acciones relacionadas con la prevención de los efectos de eventos extremos, generalmente más reactivas que preventivas, pero que marcaron un paso importante en el diseño y la implementación de medidas frente a cambios en el clima.

### **Consolidar los sistemas de información y alerta de fenómenos hidrometeorológicos**

Para el desarrollo de esta función, las acciones por realizar incluían: instalar y consolidar los sistemas de monitoreo con base en las redes de observación y un sistema de información geográfica; contar con equipo suficiente y moderno en las redes hidrométricas, meteorológicas y climatológicas para elaborar modelos de predicción hidrológica y meteorológica; así como difundir a tiempo mediante la red de telecomunicaciones los pronósticos del estado del tiempo y el pronóstico a mediano y largo plazo.

En lo que concierne a los **Sistemas de Alerta Hidrometeorológica** se trabajaría en diferentes etapas en diecinueve sistemas, de los cuales cinco (Acapulco, Guerrero, Tijuana, Baja California, Motozintla y Tapachula, Chiapas; y Monterrey, Nuevo León) ya contaban con el equipo para recepción y procesamiento de datos. Se proyectó instalar redes de radiocomunicación nacional, para la obtención de información oportuna de estaciones hidroclimatológicas, coadyuvar con la seguridad física de las instalaciones hidráulicas, alertar a la población civil en caso de avenidas extraordinarias y atender situaciones de emergencia.

### **Apoyar la implementación de planes de prevención y atención de inundaciones a nivel de cuenca hidrológica**

Se proyectó avanzar en la elaboración de planes para prevención y atención de emergencias hidroecológicas, documentando los eventos y desarrollando estadísticas que fueran la base para el desarrollo de nuevas medidas de prevención. Estos planes se integrarían con los gobiernos estatales y municipales para proceder a su puesta en marcha.

En lo sucesivo se promovería la participación de los Consejos de Cuenca en la identificación de áreas productivas y centros de población susceptibles de inundación para establecer prioridades en la formulación de planes en coordinación con los gobiernos estatales. En las acciones de tipo social se trabajaría con la población en riesgo y las autoridades de Protección Civil para organizar y planear las acciones por realizar antes y después de la emergencia.

Se apoyaría el desarrollo de Centros Regionales para Atención de Emergencias (CRAE), integrados por personal capacitado, maquinaria y equipo para la atención inmediata de inundaciones.



Foto: Mario Hernández



### **Coadyuvar con otras instancias de gobierno en la protección de los habitantes en zonas de alto riesgo de inundación**

Las acciones estarían dirigidas a acordar con los municipios aspectos sobre administración, custodia, conservación y mantenimiento de cauces y zonas federales, así como a evitar los asentamientos humanos en esas zonas; promover la reubicación de población e instalar sistemas de alerta.

### **Implantar políticas de uso racional del agua que permitan enfrentar en mejores condiciones los periodos de sequía**

Se elaborarían planes de preparación para afrontar sequías que se operarían desde los Consejos de Cuenca.

#### **Cuadro 2.2 Estrategias programáticas para prevenir los riesgos y atender los efectos de inundaciones y sequías del Programa Nacional Hidráulico 2001-2006 (CNA, 2001).**

Es importante destacar en este punto algunas referencias en la *Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente* (LGEEPA; DOF 1988; 2003a) sobre el tema de cambio climático, dado que es el sustento jurídico de la política ambiental y de las acciones que se podrían vincular con la gestión de riesgos frente a eventos hidrometeorológicos. El sector ambiental tiene amplias atribuciones jurídicas para diseñar planes y acciones frente a la variabilidad climática. En la LGEEPA se considera que las situaciones de riesgo derivadas de fenómenos naturales, pueden ser catalogadas como contingencias ambientales o emergencias ecológicas, por lo que la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) tiene facultades legales para actuar en consecuencia. En el capítulo II de esta ley, referido a distribución de competencias y coordinación se reafirman, en el artículo 14, las atribuciones de coordinación de la Secretaría para realizar acciones conducentes cuando exista peligro como consecuencia de desastres producidos por fenómenos naturales, y por caso fortuito o de fuerza mayor.

El aspecto jurídico de mayor relevancia en términos de posibilidades de implementar estrategias de adaptación frente al cambio climático, es la incorporación de la política ambiental y del ordenamiento ecológico en la planeación del desarrollo (Artículo 17), así como la formulación misma del Ordenamiento Ecológico Ge-

neral del Territorio (OEGT) en el que se deberán considerar los “desequilibrios existentes por efecto de ... fenómenos naturales” (Artículo 19, LGEEPA; DOF 1988; 2003a).

Cuando en dicha ley se trata la regulación ambiental de los asentamientos humanos, se menciona que los planes o programas de desarrollo urbano deberán tomar en cuenta los lineamientos y estrategias contenidas en los Programas de Ordenamiento Ecológico (Artículo 23). Respecto a la determinación de áreas para actividades altamente riesgosas, se precisa que se establecerán zonas intermedias de salvaguarda en las que no se permitirán los usos habitacionales u otros que pongan en riesgo a la población.

Quizá estos elementos no parezcan tan relevantes a simple vista para el tema en cuestión, pero en términos jurídicos la LGEEPA obliga a que el sector ambiental incorpore en el OEGT criterios de riesgos frente a eventos hidrometeorológicos. Aunque tratado incipientemente el tema climático, esta ley otorga atribuciones de gran valor frente al desarrollo de capacidades para la adaptación al cambio climático; al expedirse el Reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en Materia de Ordenamiento Ecológico (DOF, 2003b) se detallan y fortalecen dichas atribuciones.

Así, el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Ordenamiento Ecológico (DOF, 2003b) es sin duda el documento regulatorio que toca con más claridad los aspectos relacionados con la variabilidad del clima, y también del que más oportunidades se tienen para implementar medidas de adaptación frente al cambio climático. Las numerosas menciones a los efectos del cambio climático hacen de este documento un respaldo importante para que la implementación de estrategias tenga carácter obligatorio. En el artículo 12 de este reglamento se determinan los lineamientos y estrategias ecológicas aplicables al programa de Ordenamiento Ecológico, los cuales deberán considerar al cambio climático y a los “desastres naturales”. En el artículo 23 se estipula que las áreas de atención prioritaria se identificarán tomando en cuenta aquellas regiones en las que existan, al menos potencialmente, conflictos ambientales o limitaciones a las actividades humanas generadas por la susceptibilidad a “desastres naturales” y por los posibles efectos negativos del cambio climático.

Una vez decretado el Programa del OEGT, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales tiene que iniciar la etapa de ejecución mediante la realización de diversas acciones, entre las que se encuentran aquellas orientadas a en-

frentar los efectos negativos del cambio climático (Artículo 31, DOF, 2003b). Este aspecto es de gran importancia ya que por mandato jurídico la implementación de medidas de adaptación y mitigación frente a la variabilidad del clima y el cambio climático adopta un carácter obligatorio (Artículo 19, DOF, 2003b).

En cuanto al Ordenamiento Ecológico Regional tratado en el capítulo cuarto del reglamento, se resalta la importancia de que en los estudios técnicos se tomen en cuenta de manera enunciativa, más no limitativa, los efectos del cambio climático en la etapa de pronóstico (Artículo 44, DOF, 2003b). En dicha etapa se examina la evolución de los conflictos ambientales a partir de la previsión de las variables naturales, sociales y económicas.

Por otra parte, en el documento sobre Política Ambiental Nacional para el Desarrollo Sustentable de Océanos y Costas de México (Semarnat, 2006) se reconoce la importancia de la conservación de los ecosistemas costeros, así como la vulnerabilidad a fenómenos extremos y la necesidad de generar información para el análisis de riesgos en el ámbito costero. Para reducir la vulnerabilidad se recomienda incorporar una visión de largo plazo para planear el desarrollo de océanos y costas.



Foto: Archivo Semarnat

En cuanto a los compromisos de México adquiridos ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, que entró en vigor en 1994, destaca la elaboración de Comunicaciones Nacionales. A finales del año 2006 se concluyó la Tercera Comunicación (INE, 2006), la cual pretende reforzar las capacidades institucionales y técnicas del país para impulsar la inclusión de temas concernientes al cambio climático en las prioridades nacionales y sectoriales de desarrollo<sup>9</sup>.

Otro avance reciente de México fue la elaboración de la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENACC), publicada por la Comisión Intersecretarial de Cambio climático en mayo del 2007 (CICC, 2007). Este documento precisa po-

sibilidades y rangos de reducción de emisiones de GEI, propone los estudios necesarios para definir metas más precisas de mitigación, identifica las fortalezas y esboza las necesidades del país para avanzar en la construcción de capacidades de adaptación. Los planteamientos de este documento en materia de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático son únicos en su tipo y se encuentran diseñados para las condiciones nacionales. La ENACC contribuye así a la consolidación de una política nacional en materia de cambio climático, propone líneas de acción y estrategias que servirán de base para diseñar un Programa Especial de Cambio Climático que se publicará durante 2008 y se impulsará por el Ejecutivo Federal.

## Elementos para la adaptación contenidos en la Estrategia Nacional de Cambio Climático

### Retos de gestión

- Preservar y fortalecer las funciones de amortiguamiento que existen en las cuencas.
- Reforzar el conocimiento y la implementación de los sistemas de información y alerta temprana
- Ajustar las técnicas de tratamiento de agua a las nuevas condiciones climáticas.
- Fortalecer y revisar la implementación de instrumentos de gestión como la veda temporal, las áreas naturales protegidas (ANP) marinas y costeras y el pago por servicios hidrológicos, para adecuarlos a las nuevas necesidades que impone el cambio climático.
- Establecer corredores biológicos y evaluar la modificación de los actuales límites geográficos de algunas ANP y Regiones Prioritarias para la Conservación, para apoyar la capacidad de ajuste de los ecosistemas y especies.
- Revalorar la experiencia adquirida por grupos vulnerables frente a la variabilidad climática, para su aplicación en el planteamiento de políticas de adaptación al cambio climático.
- Conservar “in situ” la agrobiodiversidad mexicana.

<sup>9</sup> Para detalles sobre instrumentos de gestión internacional en materia de cambio climático y avances de México véase INE 2006 y CICC 2007.

- Desarrollar e implementar un sistema de información y monitoreo del clima especialmente diseñado para productores agropecuarios.
- Fortalecer los sistemas de vigilancia epidemiológica.  
Considerar una elevación del nivel medio del mar de 40 cm entre la actualidad y la última década del siglo, como línea base para la planeación y la construcción de infraestructura costera.
- Articular la política nacional para el desarrollo sustentable de océanos y costas con el fortalecimiento de capacidades nacionales frente al cambio climático.
- Fomentar sinergias entre el sector turístico, pesquero, hídrico y el SINAPROC.
- Inducir criterios de diseño ambiental en todos los ámbitos de planeación del desarrollo urbano.
- Incorporar el enfoque de manejo de cuencas hidrográficas en las acciones de protección y aprovechamiento de servicios ambientales de áreas periurbanas y rurales.
- Diseñar sistemas descentralizados de suministro de energía a nivel local.

### Líneas de acción para la adaptación

- 1) Revisar la estructura institucional enfocada a la gestión del riesgo frente a amenazas hidrometeorológicas, para potenciar las capacidades instaladas.
- 2) Posicionar la actual capacidad de respuesta ante los impactos de la variabilidad climática, como plataforma para el desarrollo de capacidades de adaptación frente a los efectos del cambio climático.
- 3) Diseñar e implementar un Programa de Modelación del Clima como parte de un Sistema Nacional de Información Climática.
- 4) Potenciar los Ordenamientos Ecológico y Territorial como instrumentos preventivos frente a los impactos previsibles del cambio climático.
- 5) Promover acciones de reducción de la vulnerabilidad, disminución del riesgo y generación de estrategias de adaptación en los planes de desarrollo regional, estatal y municipal.
- 6) Promover el uso de seguros como instrumentos de disminución de la vulnerabilidad en diferentes sectores.
- 7) Diseñar una estrategia de comunicación y educación que difunda los resultados de las investigaciones, involucre a la sociedad y consolide su participación en el diseño de acciones preventivas y correctivas.
- 8) Promover la formación de recursos humanos en meteorología operativa y pronósticos.

## Líneas prioritarias de investigación para la adaptación

### Gestión de riesgos hidrometeorológicos y manejo de recursos hídricos

- Usos de la información climática para la toma de decisiones.
- Elaboración de pronósticos climáticos estacionales y desarrollo de escenarios regionales.
- Caracterización de la vulnerabilidad por tipo de amenaza y sector social.
- Evaluación de efectos del cambio climático en las distintas fases del ciclo hidrológico.
- Diseño de arquitectura bioclimática.

### Biodiversidad y servicios ambientales

- Sistematización de información sobre afectaciones en los ecosistemas y sus componentes.
- Análisis de la capacidad de respuesta de especies clave en el funcionamiento de los ecosistemas.
- Evaluación de los efectos del cambio climático sobre especies en alguna categoría de riesgo.
- Desarrollo y aplicación de modelos de crecimiento forestal bajo distintos escenarios climáticos.
- Funcionamiento de corredores biológicos y delimitación de nuevas rutas para su establecimiento.
- Restauración ecológica en diferentes sistemas.
- Distribución potencial de áreas de refugio de los sistemas más vulnerables.
- Valoración económica de los servicios ambientales relacionados con la prevención de inundaciones y la mitigación de impactos en la zona costera y en las grandes urbes.

### Agricultura y ganadería

- Afectaciones por zona agroclimática bajo distintos escenarios de cambio climático.
- Comportamiento de agentes patógenos respecto a cambios en el clima.
- Posibilidades de reconversión productiva adecuada a cada escenario de cambio climático.
- Evaluación de las demandas de riego frente a distintos escenarios climáticos.
- Evaluación de opciones de adaptación al cambio climático en el sector ganadero.

## Zona costera

- Cartografía de riesgos y vulnerabilidad costero-marina frente al ascenso del nivel medio del mar.
- Modelación de distribución y abundancia de especies marinas y costeras bajo diferentes escenarios climáticos.
- Modelación de afectaciones a las pesquerías.
- Valoración económica de medidas preventivas y de impactos derivados de eventos extremos.
- Rehabilitación posdesastre en ecosistemas costeros.

## Asentamientos humanos

- Diseño de ciudades sustentables bajo diferentes escenarios de cambio climático.
- Identificación de reservas territoriales para el crecimiento urbano.
- Evaluación del potencial de desarrollo de localidades pequeñas bajo criterios de sustentabilidad, autosuficiencia, cogeneración, cooperación en redes y otras opciones que aumenten la capacidad adaptativa de distintos grupos sociales.
- Movilidad urbana sustentable.

## Generación y uso de energía

- Afectaciones a la infraestructura del sector energético.
- Potencial para el aprovechamiento de energías renovables en distintos escenarios climáticos
- Impactos de cambios en el clima sobre la generación hidroeléctrica.
- Impactos en la demanda energética por incremento en extracción y transporte de recursos hídricos.
- Impactos en la demanda de energía eléctrica en casas habitación y edificios en relación con el inicio temprano y el final tardío de la época de calor.

## Salud humana

- Evaluación de los efectos de cambios en el clima sobre la salud de distintos grupos sociales.
- Fortalecimiento de los planes de actuación en salud pública a partir de sistemas de alerta temprana.
- Fortalecimiento de los programas de vigilancia y control de enfermedades de transmisión vectorial.

FUENTE: CICC, 2007

El Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012 coloca a la sustentabilidad ambiental como uno de los ejes transversales de las políticas públicas en México. En este documento destacan dos objetivos relacionados con la mitigación de emisiones de GEI y la adaptación a los efectos previsibles del cambio climático (Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos, Presidencia de la República, 2007). De igual forma, el Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2007-2012 incorpora al cambio climático como tema prioritario en la agenda de transversalidad que la Semarnat lleva a cabo con otras instancias de la Administración Pública Federal. Se plantean metas concretas vinculadas con la instrumentación de la ENACC, la realización de acciones para el desarrollo de capacidades de adaptación a distintas escalas y la prevención de riesgos de origen hidrometeorológico (Semarnat, 2007). Estos compromisos se refuerzan con los planteamientos del Programa Nacional Hídrico 2007-2012 (Conagua, 2008).

La plataforma programática desarrollada para el presente periodo administrativo marca fuertes diferencias con el pasado reciente en cuanto al tratamiento y la jerarquía del tema de cambio climático, y definitivamente lo coloca como un eje de acción de la mayor relevancia nacional. El momento institucional y político por el que atraviesa el país brinda oportunidades claras para incidir fuertemente en la construcción de capacidades para la adaptación.

**Instrumentos de gestión ambiental frente a la variabilidad climática.** El incremento en la vulnerabilidad está frecuentemente determinado por la indebida ubicación de asentamientos o sistemas productivos en zonas con particular exposición a amenazas. Como se mencionó, el instrumento que puede prevenir este tipo de problemas es el Ordenamiento Ecológico General del Territorio (OEGT, promulgado, y de

carácter obligatorio, desde las últimas modificaciones a la LGEEPA en 1997). Esta herramienta esencial de planeación y gestión ambiental, posibilita orientar la ubicación de asentamientos y procesos productivos en función de las características de cada zona, incluyendo su exposición a eventos peligrosos; por lo que sería fundamental revalorarla en su aplicación para la prevención de impactos frente a cambio climático. Adicionalmente al OEGT, existen los ordenamientos ecológicos regionales, locales y marinos, los cuales son complementarios y se han diseñado para diferentes escalas.



Foto: Mario Hernández

De cumplirse con las disposiciones que marcan los ordenamientos se esperaría que se reubicaran asentamientos, que no se realizaran construcciones en zonas de cauces de ríos, vertientes, alrededores de antiguos cuerpos de agua, o bien, en partes bajas de cuencas en las que se han desviado corrientes al construir infraestructura hidráulica. Igualmente, de respetarse plenamente las declaratorias de áreas naturales protegidas (ANP) y el uso de suelo que se define en cada caso, o de cumplirse en su totalidad con la aplicación de acciones de mitigación recomendadas en los estudios de impacto ambiental, se podrían prevenir desastres ocurridos en buena parte por la deforestación, que a su vez da origen a la erosión, los deslizamientos, los azolves y el aumento de la escorrenría.

Condiciones de imposibilidad en la aplicación de instrumentos de gestión ambiental, podrían estar asociadas con desastres como los ocurridos en diversas localidades del sureste mexicano a consecuencia del huracán Stan, que en octubre del 2005 ocasionó lluvias intensas, deslaves y daños materiales importantes en los estados de Chiapas, Veracruz, Quintana Roo, y en menor medida en Yucatán, Campeche y Tabasco. Varios días después el huracán Wilma provocó lluvias intensas; en 12 horas 1,082 mm de precipitación en Isla Mujeres, Quintana Roo (INEGI, 2005) y afectó el 80% de la infraestructura hotelera de Cancún, Cozumel, Isla Mujeres y Playa del Carmen (Economía, 2005).

Las inundaciones de octubre del 2007 en el estado de Tabasco provocadas por lluvias intensas son, sin duda, un augurio de lo que se espera bajo condiciones de cambio climático y una manifestación de la falta de preparación ante eventos extremos (véase apartado 3.6 sobre inundaciones en Tabasco).

En otros casos, algunas obras de infraestructura hidráulica permiten disminuir la vulnera-

bilidad ante eventos extremos, regulando el caudal de un río o evitando que precipitaciones intensas en la cuenca alta provoquen inundaciones en la cuenca baja. En el caso de las sequías, aún no funciona un programa institucional que prevenga o enfrente los impactos sistemáticamente; se declaran estados de emergencia y generalmente se actúa ante efectos inminentes. El cambio de uso del suelo en discordancia con las características del medio natural, ha alterado la recarga de acuíferos muy importantes para el abastecimiento de centros de población y para la producción de alimentos en el centro del país, en que la mayoría de los acuíferos se registran como sobreexplotados (CONAGUA, 2005; 2007).

Además de la urgente necesidad de articular instrumentos de la gestión ambiental para prevenir desastres, otro gran reto es indudablemente el de incorporar a la sociedad en la planeación de la prevención, la atención y la recuperación luego de un desastre. Aunque hay mecanismos enfocados en este sentido, como es el Sistema de Alerta Temprana ante ciclones tropicales, aún no existe una estructura para organizar a las comunidades frente a los impactos. La población regularmente no participa en el diseño de los sistemas de alerta y no tiene confianza en las instituciones, lo que se suma al hecho de que no existen mecanismos para asimilar la experiencia de desastres que permitan preservar la conciencia colectiva y fortalecer la acción social frente a posibles recurrencias.



Foto: Archivo Semarnat



---

## 2.5 Algunas limitantes en la gestión del riesgo

---

Aunque la estructura institucional y los instrumentos de gestión que se han descrito brevemente en este apartado, representan avances para la adaptación al cambio climático, en México aún existen serias limitantes para enfrentar la gestión de riesgos de origen hidrometeorológico con una visión integral.

Faltan acuerdos conceptuales y prácticos en los términos de vulnerabilidad, desastre, riesgo, prevención, mitigación y adaptación, entre otros. Los desacuerdos conceptuales se traducen en el insuficiente uso de la información climática y en la falta de confianza de parte de autoridades respecto a la precisión de los pronósticos del tiempo; lo que lleva a que se tomen decisiones poco informadas.

En cuanto al conocimiento climático, se tienen aún serias limitaciones para producir información de calidad. Muchas de las herramientas de predicción del tiempo y clima que se emplean en la toma de decisiones carecen de elementos científicamente sustentados. Ante ello, no se ha generado un terreno de trabajo que se base en el conocimiento del nivel de confianza que se puede tener en los pronósticos del SMN.

La falta de una visión unificada que permita actuar coordinada y preventivamente frente a un evento extremo desarticula a las instituciones, dificulta la distribución y el manejo de la información, así como el tratamiento y la solución de problemas complejos como son los efectos de eventos climáticos que terminan en desastres. Se debe entender que la vulnerabilidad es un proceso dinámico que va más allá de los impactos y no existe cultura suficiente para la prevención de los mismos.

El Sistema Nacional de Protección Civil ha

mostrado notables mejorías en las etapas de alerta ante emergencias, en la reacción y en los programas de apoyo económico para la rehabilitación posdesastre (Provencio, 2006), pero faltan aún avances en la planeación preventiva y en la articulación entre el ordenamiento ecológico y territorial con la protección civil.

Al parecer, los cambios institucionales y jurídicos necesarios para enfrentar impactos derivados de eventos extremos, no van a la par con las alteraciones observadas en el sistema climático asociadas al calentamiento global. La evolución que han tenido en las últimas dos décadas el diseño y la implementación de acciones e iniciativas en materia de protección civil y cambio climático en el país (Fig. 2.2) muestran que los avances no se han dado con la velocidad requerida. Se precisan profundos arreglos sociales e institucionales para articular acciones dispersas y acelerar la transición de esquemas reactivos a preventivos en la gestión de riesgos hidrometeorológicos.

Los efectos derivados de las insuficientes acciones preventivas frente a los impactos de extremos climáticos, se suman a los ocasionados por un confuso escenario normativo, a la inadecuación institucional y a ciertas condiciones sociodemográficas de la población que la colocan en desventaja frente a la variabilidad climática. Otras de las limitantes de las instancias gubernamentales encargadas de la gestión de riesgos hidrometeorológicos son la falta de permanencia del personal, la insuficiente modernización de la infraestructura, y la escasa formación de personal especializado.

La vulnerabilidad de las regiones rurales en particular, y del país en general, frente a la ocurrencia de eventos extremos está ampliamente relacionada con los procesos actuales de

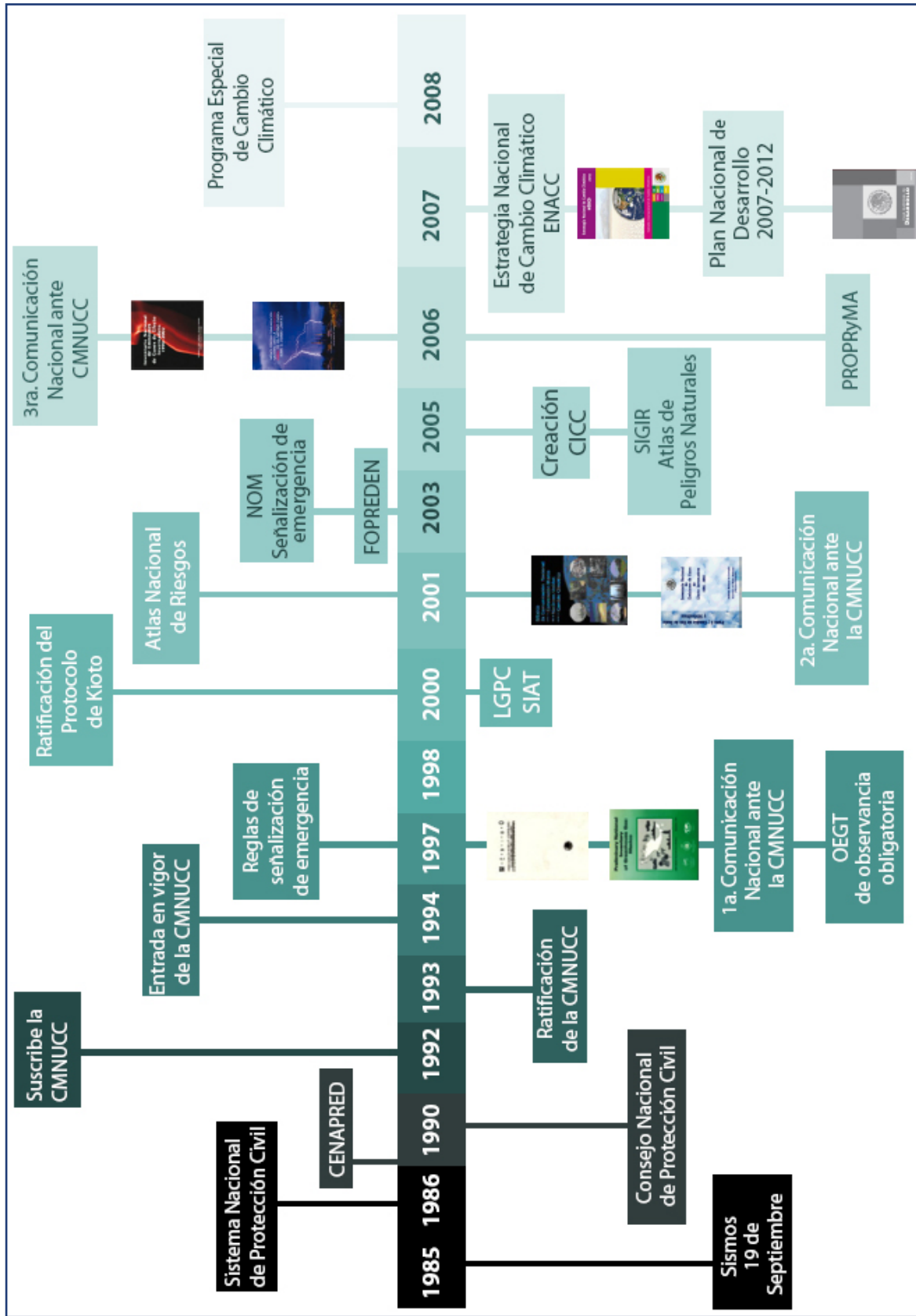


Figura 2.2. Evolución de acciones e iniciativas en materia de protección civil y cambio climático en México.

SIAT: Sistema de Alerta temprana; CMNUCC: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático; CENAPRED: Centro Nacional de Prevención de Desastres; OEGT: Ordenamiento Ecológico General del Territorio; LGPC: Ley General de Protección Civil; SIGIR: Sistema de Información Geográfica para la identificación de riesgos; CICC: Comisión Intersecretarial de Cambio Climático; PROPRyMA: Programa de prevención de riesgos y mejoramiento ambiental; FOPREDEN: Fondo para la prevención de desastres naturales; NOM: Norma Oficial Mexicana; PECC: Programa Especial de Cambio Climático.

deterioro de sus recursos naturales -no sólo los del agua-. Esta condición puede agravarse de no integrar la política ambiental con una visión estratégica para la gestión de riesgos ante cambio climático. La pérdida y la fragmentación de las superficies de vegetación primaria y la disminución de las zonas de recarga de los acuíferos, en combinación con cambios en las lluvias; han hecho de la deforestación y del cambio de uso del suelo, dos de los factores mayormente determinantes del aumento de la vulnerabilidad del país ante los impactos previsibles del cambio climático. Es necesario incrementar los alcances del sector ambiental a partir de su transversalidad en los diferentes órdenes de gobierno.

El tema de los riesgos hidrometeorológicos y su gestión se debe elevar aún más en la agenda

política y darle la prioridad que amerita a que el país cuente con estrategias preventivas adoptadas conjuntamente entre sociedad y gobierno. Lo anterior permitiría transitar al desarrollo de una sociedad mejor preparada a las condiciones variantes del clima.

La gestión integral de riesgos frente a la variabilidad y el cambio climático y su vinculación con el manejo de los recursos hídricos, como tema de seguridad del país, no se debe quedar en el discurso. El atinado ajuste del tema de riesgos asociados al clima en el sector ambiental, podría contribuir significativamente a modificar las condiciones de vulnerabilidad del país frente a eventos hidrometeorológicos extremos.



Foto: Archivo Semarnat



## Capítulo 3

### Lecciones por aprender ante el cambio climático

Los cambios en la disponibilidad y en la calidad del agua, independientemente de su origen, se acentuarán bajo condiciones de cambio climático. Estas transformaciones provocarán problemas socioambientales que afectarán dramáticamente la calidad de vida de la población. Los impactos derivados del uso ineficiente de los recursos hídricos se agudizarán por el incremento poblacional y por la acción combinada de procesos biofísicos, sociales, económicos, culturales, políticos y tecnológicos; de ahí que se trate de problemas complejos que requieren para su análisis de una perspectiva sistémica.

Al respecto, es importante reflexionar sobre lo que aportan algunas experiencias vinculadas con el uso de la información climática y con acciones llevadas a cabo frente a distintas amenazas y bajo diferentes escenarios de vulnerabilidad social. Las lecciones derivadas de los casos que a continuación se presentan pueden apoyar la construcción de capacidades de adaptación; ya sea desde el punto de vista del análisis sistémico, o bien, del papel de la organización social frente a cambios en la disponibilidad de agua.

Se revisan la organización social para el manejo del agua en el río Nexapa en Puebla, la historia productiva en La Comarca Lagunera entre los estados de Coahuila y Durango (García, 1987), un proyecto sobre adaptación realizado en el marco de las negociaciones de la CMNUCC en Hermosillo Sonora (INE, 2004), los resultados de un proyecto sobre vulnerabilidad y adaptación en zonas rurales de México financiado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología; las aportaciones de un estudio sobre capacidades de adaptación realizado en Tlaxcala entre la Universidad Nacional Autónoma de México, el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo y el Instituto Nacional de Ecología (INE-UNAM, 2006). Se repasa también la experiencia de las inundaciones ocurridas en Tabasco en octubre del 2007, en términos de las condiciones de vulnerabilidad regional, la magnitud de la amenaza y el uso de la información climática. Los casos muestran la complejidad inherente en la dinámica social al enfrentar cambios ambientales, en la evaluación de la vulnerabilidad y en la definición de estrategias de adaptación frente al cambio climático.

---

#### 3.1 Comité de vigilancia de los ríos Atoyac y Nexapa, Puebla

---

El caso del Comité de Vigilancia de los ríos Atoyac y Nexapa representa un ejemplo de administración autogestiva que nace en gran medida promovida por la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH), sin embargo, posteriormente se le niega reconocimiento por las instancias oficiales (Rodríguez J., 1988; Rodríguez, M., 2000). El río Nexapa forma parte de la cuenca alta del río Balsas ubicada entre los estados de Tlaxcala y Puebla, sus principales afluentes son los ríos Atoyac, afluente del Zahuapan, y el Nexapa (Cuadro 3.1).

La historia de la comunidad de regantes del suroeste de Puebla comienza con la concesión que Juan González de Peñafiel, otorga en 1635 a propietarios de haciendas de la zona y a vecinos de barrios indígenas. A partir de la segunda mitad del siglo XIX se creó un dinámico mercado de tierras que incorporó a inmigrantes españoles, comerciantes, profesionistas y agricultores. Los problemas surgieron cuando los nuevos dueños reclamaron los volúmenes de agua para irrigarlas, ya que las tierras se vendían sin derechos de agua.

### **Microcuenca del Alto Atoyac**

Extensión de 4,000 km<sup>2</sup> comprende el valle Tlaxcalteca–Poblano y descarga en la presa Manuel Ávila Camacho “Valsequillo”. Su área de captación inicia en la parte oriente del volcán Iztaccíhuatl donde nace el río Atoyac en Puebla, y en la sierra de Tlaxco donde nace el río Zahuapan en Tlaxcala. Después de la presa, el río Atoyac continúa hacia el sur y surponiente, recibiendo la corriente del río Nexapa en Puebla.

La presa derivadora Echeverría tiene la concesión de un gasto base de 4 m<sup>3</sup>/s para desviarlo hacia la microcuenca del río Nexapa, el excedente abastece a la presa Valsequillo.

Las fuentes de la microcuenca abastecen a 2.3 millones de personas de municipios como Tlahuapan, Huejotzingo, Texmelucan y Tlaxcala. Año con año se incrementa la demanda de agua potable e industrial, se explotan los acuíferos y se disminuye el gasto base en el río Atoyac.

Foto: Carolina Neri



### **Microcuenca del Nexapa**

Extensión de 4,468 km<sup>2</sup> comprende los valles de Atlixco–Izúcar de Matamoros, Chietla–Atencingo y la serranía de Huehuetlán-Chiautla de Tapia; descarga en el río Atoyac. El Nexapa nace en la parte oriente del volcán Popocatepetl y recibe aportaciones del río Cantarranas, en Chietla recibe la corriente formada desde Huaquechula y Tlapanala, y posteriormente en Axochiapa recibe la corriente río Grande.

Las fuentes de agua se utilizan para riego de hortalizas y flores en Nealtican, Atlixco, Coyula, Tochimilco, manantiales de Tlapanala y Tochimilzingo.

Aguas derivadas de descargas de las ciudades, que el río Nexapa se encuentra en su trayectoria, son utilizadas en Izúcar de Matamoros, Chietla y Atencingo, para el riego de caña de azúcar. El río Nexapa prácticamente se seca a la altura de Lagunillas y Tlancualpican.

**Cuadro 3.1. Características de las microcuencas de los ríos Atoyac y Nexapa.**

Al término de la Revolución Mexicana se constituyó un complejo agroindustrial para la fabricación de azúcar y se transfirió la totalidad del agua hacia el ingenio de Atencingo y a la zona cañera, ambos localizados en las inmediaciones de Izúcar de Matamoros, Puebla. Para 1938 se expropió el complejo y se constituyó en ejido colectivo (Ronfeldt, 1975; citado en Gómez, 2004).

La mayoría de las disputas entre los hacendados y los habitantes de los poblados seguían siendo por el agua a principios de los años veintes. A dicha situación se agregó la confrontación entre los ejidos que se fueron creando con la reforma agraria y que tenían tierras de riego, ya que se crearon nuevos derechos de agua que debían cubrirse con el caudal de un río ya rebasado por la demanda.

A principios de la década de los sesentas y como resultado de la construcción aguas arriba de la presa de almacenamiento San José Atlanga, sobre el río Zahuapan, se fundó el Comité de vigilancia de los ríos Atoyac y Nexapa, que surgió para supervisar que se respetaran las concesiones de agua de cada pueblo. La construcción de la presa disminuyó el caudal para trasvase de las aguas del río Atoyac al Nexapa y limitó la disponibilidad de las aguas del Nexapa entre los regantes localizados aguas abajo. El Comité agrupó a más de cuarenta pueblos, cada uno representado por sus propios comités locales. En su primera década de vida fue dirigido por el ejido de Atencingo, creado en el gobierno del presidente Lázaro Cárdenas (1934-1940).

### Estructuración del Comité de vigilancia

La organización de los regantes se encargó de las tareas de distribución, mantenimiento, resolución de conflictos y monitoreo de las aguas. El Comité conjuntaba doce presas derivadoras situadas a lo largo del río Nexapa, entre los

municipios de Atlixco e Izúcar de Matamoros. Manejaba más de 6,000 litros por segundo de las aguas de los ríos Atoyac y Nexapa, con las cuales se regaban 8,100 hectáreas pertenecientes a más de 5,000 productores ejidales, comunales y privados. Contar con el agua durante todo el año permitió a los regantes de las partes alta y media, pasar de ser maiceros a ser legumbreros, mientras que los de la parte baja continuaron su vocación de cañeros.

La organización contaba con varios niveles organizativos (Fig. 3.1), el más alto era el del mismo Comité. Los representantes de los regantes discutían la distribución del agua entre las presas derivadoras, tomaban acuerdos sobre fechas de aforos (coordinados con la Comisión Nacional del Agua), fijaban cuotas y calendariaban las tareas de mantenimiento. Un segundo nivel organizativo estaba constituido por las *Juntas de agua*. En este espacio se trataban los problemas de las tomas del canal general, se refrendaban los tramos de limpieza, y se designaban a los canaleros. Un tercer nivel incluía al *Juez de aguas* y *Comisionados comunales* como los responsables de distribuir el agua y de representar a la comunidad ante las Juntas de agua. También eran encargados de implementar los acuerdos tomados en el primer y segundo nivel organizativo.



Figura 3.1 Esquema de niveles organizativos del Comité de vigilancia de los ríos Atoyac y Nexapa.

Desde su nacimiento, el Comité de vigilancia fue visto de forma contradictoria por las agencias federales encargadas de administrar el agua, por un lado celebraban sus gestiones, mientras que por otro, cuestionaban sus funciones por carecer de reconocimiento oficial (Rodríguez, 2000; Gómez, 2004).

Las transformaciones ocurridas en las formas de administración del agua a partir de los años setentas tuvieron efectos directos en la organización. En 1992 la Comisión Nacional del Agua anuló todas las concesiones de agua que fueron otorgadas por el Estado durante la década de los años treinta. Además, desestimó la existencia de organizaciones internas para el manejo del recurso, aunque dejó a esas asociaciones el papel de mediadores entre la institución y los usuarios.

El Comité actuó como mediador de conflictos, observaba los trabajos de los aforadores y trataba de resolver problemas suscitados entre comunidades vecinas. No obstante, se atribuía como causal de la poca agua que llegaba para el riego a diversos factores, a saber: la integración de más pueblos al sistema de riego del Nexapa, la expropiación de terrenos para construir una autopista a cambio de conceder derechos de agua y el envejecimiento de la infraestructura hidráulica en general, y del túnel en particular; que servía para conectar el río Atoyac con el Nexapa y que provocaba filtraciones excesivas.

A raíz de estos problemas, el Comité propuso su transformación a un distrito de riego para vincularse ventajosamente en el proceso de descentralización del manejo de los recursos hidráulicos propuesto por el gobierno; lo que favorecería la creación de proyectos para mejorar la infraestructura de cada comunidad, la reparación del túnel y la obtención de asesoría técnica y financiera. La creación del distrito significaría ver a los regantes como ac-

tores económicos plenos, asumiendo los retos y las responsabilidades del libre mercado. Los gobiernos federal y estatal, se comprometieron a pagar la mitad del costo total de la reparación del túnel y a apoyar en otras obras. Así y pese a que no existía un consenso absoluto sobre la pertinencia de crear el distrito de riego entre las más de cuarenta comunidades con derechos reconocidos de agua, el distrito fue creado el 22 de abril de 2004.

## Reflexiones

Si bien es cierto que la creación del distrito de riego, ante el dilema de aceptar los cambios o perder toda posibilidad de apoyo financiero, ha resuelto aspectos cruciales para la reorganización y la supervivencia del sistema hidráulico regional, su formación ha minado las formas de organización colectiva. El Estado dotó de aguas a ejidos y comunidades y prestó el servicio de un aforador para medir en las tomas de las derivadoras y en los partidores de los canales generales, pero no ha permitido la inserción adecuada de los regantes en los Consejos de Cuenca. Es necesario crear un espacio que les permita a los regantes su plena expresión y que logre modificar las prácticas de uso del agua, bajo la dirección de convenciones locales.



Foto: Carolina Neri



### 3.2 Producción agropecuaria y deterioro ambiental en La Comarca Lagunera

La Comarca Lagunera se ubica en el centro-norte de México y se conforma por 16 municipios, 11 de Durango y 5 de Coahuila. Debe su nombre a los cuerpos de agua que se formaban de los ríos Nazas y Aguanaval, hasta antes de la construcción de las presas Lázaro Cárdenas y Francisco Zarco, que en la actualidad regulan sus afluentes (Fig. 3.2). El análisis de este caso fue documental y se basó en la investigación coordinada por Rolando García sobre el deterioro ambiental y su vinculación con la pobreza y los sistemas productivos en La Comarca Lagunera<sup>9</sup> (García, 1987).

En la década de los setentas el sector ejidal llegó a tener el 90% de la superficie cultivada de algodón. La producción de algodón se realizó

con la más avanzada tecnología y con fuertes inversiones del Estado, logrando los más altos rendimientos de toda la historia algodонера del país. Sin embargo, allí tuvieron lugar procesos de deterioro del medio físico que acabaron con la producción agrícola y provocaron el éxodo rural y el empobrecimiento de los productores agrícolas generadores de riqueza (García, 1987).

La Reforma Agraria llega tardíamente a La Comarca, debido a que no era posible la aplicación de las leyes agrarias por las cuantiosas inversiones que exigía el algodón para su explotación. Para la década de los años treinta, los conflictos desatados por las demandas laborales de las organizaciones que agrupaban a los peones

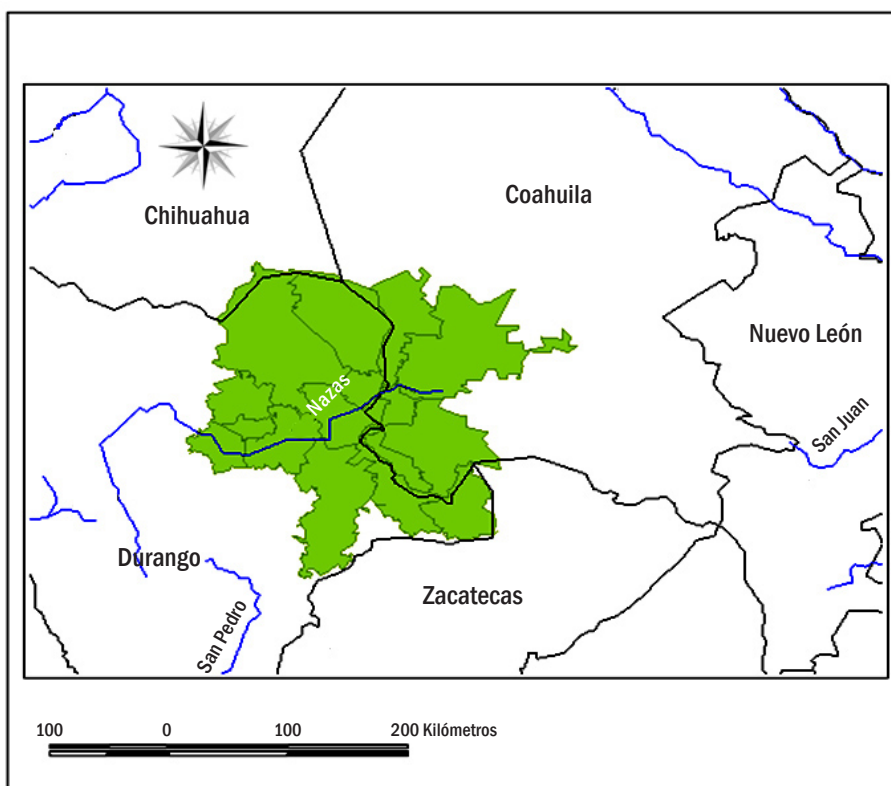


Figura 3.2 La Comarca Lagunera. Fuente: García, 1987.

<sup>9</sup> Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. 1987. "Deterioro ambiental y pobreza en la abundancia productiva: el caso de la Comarca Lagunera". IPN, IFIAS, UNRISD.

agrícolas, creaban una problemática social que se sumaba a las luchas campesinas. Se reparcieron cerca de 130,000 hectáreas al sector ejidal con 34,000 beneficiarios, mientras que la llamada “pequeña propiedad” quedó en manos de 2,000 propietarios con 80,000 hectáreas de riego. Otras 12,900 hectáreas se destinaron a colonos y veteranos de guerra.

Los nuevos ejidos colectivos gozaron de derechos preferenciales sobre el uso de agua de riego por gravedad y lograron mantener un promedio de cuatro hectáreas regadas por ejidatario. Sin embargo, dicha extensión no era adecuada para sustentar el ingreso de una familia. Esta situación fue compensada por el Estado con la implementación de formas cooperativas para la producción y el apoyo del Banco Nacional de Crédito. Se estableció como sujeto preferencial de crédito a las “Sociedades Locales Colectivas de Crédito”, las cuales tenían atribuciones para dictar sus propios reglamentos, elegir y revocar a sus autoridades e intervenir en las operaciones agrícolas. Tomaban parte en las asambleas de la institución bancaria, controlaban parte de sus acciones, supervisaban las compras de maquinaria y vigilaban el funcionamiento de las despepitadoras.

Las Sociedades Colectivas fueron complementadas por los Comités Ejecutivos de Ejidatarios y por las Sociedades de Interés Colectivo Agrícola (SICAS). Los Comités trabajaban para lograr una mejor organización y elevar las condiciones de vida de los involucrados. Los SICAS por su parte, realizaban las tareas orientadas a una mayor recuperación de la producción agrícola, tales como el manejo y el control de las despepitadoras y de la maquinaria pesada. La organización cooperativa para la producción, la disponibilidad de créditos y el abastecimiento de agua para riego permitió que, explotadas colectivamente, las parcelas de cuatro hectáreas se potenciaran. El crédito obtenido permitió

construir viviendas, escuelas, bodegas y pozos para obtener agua para consumo humano y para riego.

Esta primera etapa de desarrollo productivo en la región culmina a fines de 1946, cuando inicia la presidencia de Miguel Alemán, dando paso a un nuevo periodo de máxima rentabilidad de la producción algodonera, pero también de un descenso en la superficie sembrada y en la producción.

En 1951 por disposición de una nueva Ley de Aguas, la superficie dotada de agua fue reducida legalmente a una hectárea por ejidatario en lugar de las cuatro previamente asignadas, mientras el sector privado recibía agua para regar como mínimo 22.5 hectáreas por propiedad. Además, el Estado introdujo un paquete tecnológico de alto costo, que se justificaba por la alta rentabilidad del producto, lo cual abrió una brecha en materia de mecanización.

La reducción drástica de la capacidad productiva de los ejidatarios fue acompañada por la disolución de las Sociedades Colectivas de Crédito. La forma de producción varió sustancialmente, se perdieron las ventajas del uso colectivo de la maquinaria, del suelo y del agua y además el crédito se otorgó a menos de la mitad de los ejidatarios que habían integrado la cartera del Banco en 1938. La superficie cosechada con créditos de la Banca pasó del 70% de la superficie total de la región, al 38% en la década siguiente. A medida que se desataba a nivel internacional la fiebre del algodón, el sector ejidal vio reducida su participación en el proceso productivo.

A mediados de la década de los cincuentas, el precio del algodón en el mercado internacional sufrió una caída significativa, pero al Estado le interesaba mantenerlo porque era un producto que, generaba importantes divisas al país

desde 1949. Era necesario agotar los medios para mantener primero, y luego incrementar, los volúmenes constantes de producción de algodón, ya que este producto sostenía además, a una industria textil que no se podía abandonar. La única solución que apareció como viable fue la compensación de la disminución de superficie con la elevación de los rendimientos de las cosechas. Sólo el Estado contaba con los recursos para aplicar alta tecnología e incrementar considerablemente los rendimientos del algodón, independientemente de los costos de la infraestructura y de los insumos; y por otra parte mantener al sector ejidal en la producción del algodón, independientemente de la poca rentabilidad que se derivara de su cultivo.

Posteriormente se inicia la actividad lechera en la región, la cual aseguraba alta rentabilidad al sector privado y ofrecía una nueva fuente de recursos. Ante ello, el cultivo de algodón quedó en manos del sector ejidal que operaba por medio de los créditos y la distribución del agua de gravedad.

En quince años la producción de leche superó el millón y medio de litros diarios. Parte de los campos de cultivo, abundantemente provistos de agua, se convirtieron en zonas forrajeras. Pese a esto, no se pudo evitar la escasez de alimento para el ganado, por lo que se tuvo que recurrir al sector ejidal. El Banco de Crédito Agrícola destinó grandes cantidades de dinero para mejoras en el sistema de bombeo y fomento del cultivo de alfalfa, y dio asistencia técnica a los agricultores por intermedio de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Para 1962 la producción lechera había rebasado la demanda regional, al tiempo que las inversiones realizadas prometían su duplicación. El Estado garantizó el abasto de los forrajes, dio facilidades fiscales para la importación de ganado y la compra de maquinaria para la modernización de plantas pasteurizadoras.



Foto: Brenda Ávila

A principios de los setentas, la actividad lechera se impulsó a pesar de la limitación del recurso hídrico, de manera consecuente, se levantó parcialmente la veda para la apertura de pozos decretada en años anteriores. A los lecheros privados se les otorgaron créditos baratos para la construcción de norias y la instalación de maquinaria de riego, y se les subsidió la energía eléctrica. Pero los aumentos constantes en los costos de la producción, la devaluación del peso, así como la introducción de controles sobre el precio de la leche, disminuyeron considerablemente los márgenes de ganancia en el sector privado; por lo que dicha actividad dejó de ser rentable. Una vez más el sector ejidal con ayuda del Estado, cubrió la producción de leche.

A partir de aquí el sistema se estabilizó, aunque algunos propietarios se dedicaron a la producción cárnica. A fin de mantener los volúmenes de producción requeridos por la agroindustria, el sector ejidal se integró a las distintas fases de la producción lechera. Hacia 1982 los ejidos pasaron a ser los principales productores de alfalfa y contribuyeron con el 40% de los insumos destinados al complejo industrial LALA, que absorbía el 90% de la producción lechera de la zona.

La región parecía haber llegado en esa fecha a un equilibrio. Las metas productivas se habían logrado gracias a la utilización de alta tecnología y a la distribución de la producción entre los sectores. El sector privado redujo al mínimo su participación en la producción de algodón, disminuyó las superficies destinadas a la alfalfa y las reemplazó por sorgo y avena, cultivos que utilizaban menos agua y eran más rentables; y diversificó el uso de su área cultivable con vid, hortalizas y frutales. Mientras tanto, el sector ejidal se encargó casi totalmente de la producción de algodón y alfalfa, con la mejor tecnología disponible y logrando los más altos rendimientos registrados en el país.

Sin embargo, esta estabilidad productiva cambió cuando se consideraron otros factores. A finales de los años ochentas, los efectos del modelo de producción sobre el medio físico fueron evidentes. La expulsión de población y el bajo nivel de vida del sector campesino, surgen como consecuencias inevitables; el costo social de un sistema productivo impuesto contra las condiciones naturales. La región pasó por una serie de crisis atribuidas a las sequías y el sistema productivo llegó a su fin por sobreexplotación de los recursos hídricos.

### **Influencia de la escasez de agua en la producción agropecuaria**

Cuando se habilitó la presa Lázaro Cárdenas (1936-1946), se utilizaba anualmente toda el agua disponible, con lo cual se anuló la función reguladora para la cual fue construida. Los años de sequía obligaron a reducir drásticamente la superficie cosechada. El Estado creaba trabajos remunerados (tales como la reparación y limpieza de canales) para compensar parcialmente el deterioro económico que sufrían los campesinos por la falta de producción agrícola.

Como parte del Plan de Rehabilitación Económica de La Comarca Lagunera se construyó la presa Francisco Zarco (1965-1968) para el control de las aguas que llegaban al sistema lagunero. Las crisis provocadas por las sequías se podrían entonces mitigar, pero se acentuó la irracionalidad del sistema y se utilizaron al máximo los recursos hídricos. Esta situación se sumó al agotamiento de los suelos y a la demanda de rendimientos cada vez más elevados, lo que sólo podría sobrellevarse con la aplicación de paquetes tecnológicos cada vez más costosos. La sobreexplotación de los acuíferos para el riego agrícola, en combinación con otros factores, llevó al colapso del sistema.

## Reflexiones

Los elementos determinantes de la estructura y la dinámica del sistema productivo en la región, más que el acceso a la tierra, fueron el acceso al agua y a los créditos. El sector privado remontó la producción primero de algodón y luego de leche. Promovió modificaciones a las leyes que le permitieron avanzar sobre los derechos de los ejidatarios, particularmente en lo que concierne al uso de agua para riego de superficie, le permitieron también explotar al máximo los recursos hídricos del subsuelo. Esta situación trajo serios detrimentos del sector ejidal. En el apogeo de la tecnología y de la productividad, el sector ejidal es marginado de

los beneficios y no solamente no logra superar sus bajos niveles de vida, sino que en algunos periodos aumenta su empobrecimiento.

El análisis de este caso brindó elementos para entender la dinámica socioambiental de una región, los efectos de la sobreexplotación de los recursos naturales, en particular de las fuentes de agua, y sus consecuencias socioeconómicas sobre los sectores más desprotegidos. El caso es fundamental para entender la aplicación del análisis sistémico en la caracterización de la vulnerabilidad.

---

### 3.3 Adaptación al cambio climático en la ciudad de Hermosillo, Sonora

---

Este estudio resulta de gran importancia, ya que es la primera iniciativa formal en México, en materia de adaptación al cambio climático. El estudio se insertó en las actividades hacia la Segunda Comunicación Nacional de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, trabajo coordinado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, por medio del Instituto Nacional de Ecología y con la colaboración del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM (Eakin et al., 2007; INE, 2004).

Las metas de este estudio fueron: identificar y evaluar las posibilidades de adaptación a los impactos que el cambio climático pudiera tener sobre los recursos hídricos en el norte de México, consultar entre los principales actores clave de la región para identificar, analizar y establecer prioridades entre las adaptaciones posibles, para enfrentar la variabilidad y el cambio climático.

La ciudad de Hermosillo tiene problemas de disponibilidad de agua y una señal clara

de cambio climático. En la primera etapa del proyecto se realizó una evaluación preliminar de la problemática del agua en la ciudad. En la segunda etapa se desarrollaron talleres con actores clave, quienes identificaron como medidas de adaptación a la promoción de una cultura de agua, al mejoramiento de la eficiencia en el consumo de agua y energía en viviendas urbanas, y al mejor manejo de eventos extremos de lluvia. Una vez definidas las opciones de adaptación al cambio climático se procedió a evaluar la viabilidad de cada una de ellas.



Foto: Brenda Ávila

## Propuesta de una nueva cultura del agua en Hermosillo

Se planteó con base en los resultados del Programa de Cultura del Agua, ejecutado por la Comisión Nacional del Agua en la ciudad de Hermosillo. A este programa se le ha atribuido la disminución del consumo de agua en la ciudad, que pasó de 470 a 375 litros por habitante al día en el periodo 1996-2002. Lo cierto es que esta disminución es el resultado de los programas de racionamiento del líquido implementados desde 1998, en la época de verano.

Los estudios llevaron a plantear la instalación de aparatos ahorradores de agua en los hogares, a reducir el consumo de agua por habitante, y a involucrar a la sociedad en tareas de protección del ambiente. Lo anterior se sustentó en investigaciones que muestran un alto consumo de agua en los baños de los hogares, la gran disposición de la mayoría de la población a participar en un programa de ahorro de agua, la importancia que le brinda el organismo opera-

dor al cambio en los patrones de consumo, el bajo costo económico que tiene esta propuesta en comparación con otras basadas en el aumento de la oferta, los beneficios económicos directos para el usuario, la ejecución relativamente sencilla y sin confrontaciones entre sectores y el efecto multiplicador en la creación de conciencia ambiental.

La ejecución de este programa involucró a los actores principales, entre ellos, al organismo operador y su consejo consultivo, asociaciones de vecinos, cámaras de comercio y hoteles, centros e instituciones de educación, dependencias gubernamentales, empresas y promotoras inmobiliarias, colegios de arquitectos e ingenieros, asociaciones de ferreteras, casas de materiales y a organizaciones no gubernamentales. El programa aglutinó los esfuerzos de distintos sectores con beneficios económicos y ecológicos tangibles, que podrían medirse y evaluarse de manera periódica, y reproducirse en otras ciudades del estado.



Fotos: Brenda Ávila



## Programa de construcciones adecuadas al clima

Se realizó un análisis del patrón de crecimiento de la ciudad de Hermosillo y de las principales formas de construcción. Se conoció que el modelo de urbanización experimentado en la ciudad ha pasado por alto las restricciones ambientales del entorno, generando una oferta habitacional que exacerba la demanda de energía y el gasto de agua. Los materiales predominantes en la construcción son el ladrillo y el block, los que lejos de cubrir las necesidades térmicas bajo un clima extremo, son materiales que incrementan notablemente la demanda de energía y el gasto de agua en los hogares.

Los desarrolladores de vivienda social en Sonora han mostrado poco interés en el tema del confort básico de los espacios habitacionales destinados a la gente de escasos recursos económicos. La industria constructora depende de materiales comerciales, que a lo largo de los años, han demostrado ser ambientalmente inadecuados para la región desértica, degradantes de los recursos naturales y factores de riesgo de la salud de la población. La ciudad de Hermosillo no cuenta con ningún código oficial para el uso de materiales locales alternativos -como adobe, paja, tierra, arena, materiales reciclables- en la construcción de casas y edificios. Las políticas de fomento tecnológico e impulso a la capacidad instalada para desarrollar modelos de construcción de carácter sustentable son aún limitadas, o bien, las acciones son dispersas y están fuera de las posibilidades económicas de la población que las requiere.

Se estimó en qué medida construcciones más acordes con el clima de la región podrían representar ahorros en la demanda de agua y energía, y se aplicaron distintas herramientas bioclimáticas sobre tres tipos de construcción.

En el primer caso se construyó una Casa Ecológica, en la que se instaló un sencillo sistema de filtrado y rebombeo de agua mediante energía solar, para la recuperación de las aguas grises provenientes de la ducha, el lavamanos y el lavadero de la casa; lo que permitió reciclar un volumen promedio de 2,000 litros de agua al mes, que fue utilizado en el riego de las áreas verdes. El ahorro por concepto de uso de agua en esta casa demostrativa ascendió a alrededor del 65% del consumo de una casa promedio en Hermosillo. La demanda de climatización interna es mínima, por la masa térmica de las paredes exteriores, sólo se utiliza un pequeño *cooler* portátil y un abanico; con lo que se evita el gasto de agua que requieren los grandes aparatos evaporadores utilizados en casas de las mismas dimensiones.

El segundo ejemplo de adaptación a las condiciones climáticas de la región, orientado a reducir el consumo de energía en una casa-habitación, fue la adecuación de un “escudo térmico” en una vivienda media ubicada en el área central de la ciudad. Se colocó una cochera construida a base de madera, carrizo y tierra que proyectaba sombra durante las horas de la tarde y se levantó una pared a base de pacas de paja de trigo, sobrepuesta al muro de ladrillo preexistente. Se analizó el comportamiento del consumo registrado en la casa tanto en kw/hr como en el costo de la energía. La pared que recibió la sombra que proyectaba la cochera, observó el comportamiento más homogéneo. Destacó el desempeño del muro de ladrillo protegido con pacas, el cual registró en horas extremas un diferencial de temperaturas de hasta 20°C entre el exterior y el interior. Por su parte, el muro testigo mostró un ineficiente comportamiento térmico, lo cual resulta típico en las paredes de la mayoría de las casas de la ciudad y explica las altas demandas de energía para la climatización que requieren las viviendas construidas en Hermosillo.

Adicionalmente se realizó una comparación virtual de optimización energética en tres distintos modelos de casa. El primer caso se trató de una vivienda tradicional de los años setentas, construida bajo los parámetros que guiaron la edificación de viviendas de interés social de esa época. Las otras dos casas fueron virtuales y constituyeron propuestas arquitectónicas guiadas por criterios bioclimáticos para la optimización energética; una de ellas fue diseñada con materiales biodegradables (pacas de trigo, barro, madera y carrizo) y en la otra se utilizaron materiales comerciales con propiedades de termicidad adecuadas a las condiciones extremas del clima local. Se denominaron Casa Tradicional a la primera, Casa Natural a la segunda y Casa Eficiente a la tercera.

La casa tradicional mostró una tendencia a perder una mayor cantidad de calor durante el invierno e, inversamente, a ganar mayores niveles de temperatura durante el verano. Por el contrario, tanto la casa natural como la eficiente mostraron un comportamiento moderado, esto se explica por la menor demanda de energía requerida, tanto para calentar como para enfriar este tipo de viviendas.

Si bien es cierto que, la industria de la construcción ha aumentado considerablemente, las demandas de los sectores de bajos ingresos (población más vulnerable) no han sido del todo atendidas. Esto obedece a varias razones, entre las que destacan: intereses económicos de las empresas constructoras, vacíos legales, falta de códigos de construcción para la ciudad y el rechazo social a los cambios drásticos.

Resultaría de mayor relevancia establecer esquemas de colaboración entre las instituciones académicas, las instancias de gobierno, las asociaciones gremiales y las empresas constructoras y proveedoras de materiales; con el objetivo de diseñar, validar e instrumentar pro-

gramas piloto de construcción de viviendas y otro tipo de edificaciones; que estén enfocadas a optimizar el uso del agua y la energía en las mismas. Igualmente importante sería crear un organismo certificador que determine de manera confiable la eficiencia (o ineficiencia) térmica de una amplia tipología de casas y edificios, así como la valoración adecuada de las distintas propiedades que ofrecen los materiales de construcción; tanto aquellos que actualmente existen en el mercado, como los que empiezan a desarrollarse de manera alternativa. Esto permitiría, tanto a las empresas de la construcción, como a las compañías inmobiliarias, contar con información adecuada para establecer criterios de diseño más acordes con las condiciones climáticas presentes.

La interpretación de los resultados de este estudio apuntan hacia la promoción de diseños de construcción bioclimáticos que contribuyan de manera significativa en la reducción del consumo de energía y ahorro del agua en los hogares, que reduzcan y optimicen el uso de aparatos de ventilación y refrigeración, y que contribuyan a atenuar los niveles de contaminación directa e indirecta que este tipo de componentes suponen.

### **Programa de captura de agua**

Dentro del programa de captura de agua para Sonora, se propusieron obras para cosecha del agua, recarga de acuíferos y control de inundaciones. Entre las limitantes para la aplicación de estas medidas se encontraron restricciones de presupuesto, poca accesibilidad a los materiales y dificultad para la autoconstrucción, entre otros.

El fin práctico del proyecto fue que la comunidad, simultáneamente, controlara la inundación de predios y poblados, almacenara agua en estanques superficiales de abrevadero o en





Foto Brenda Ávila

el subsuelo, y recuperara el nivel somero de sus pozos. Estas tres propuestas de adaptación se mostraron a los actores clave para definir prioridades. El proyecto concluyó que cada una de las opciones tiene sus ventajas y limitantes, y cada una puede facilitar un camino sostenible para el desarrollo de la ciudad de Hermosillo. El reto que quedó es poner a prueba, de forma extensiva, las opciones desarrolladas en el proyecto.

### **Reflexiones**

El proyecto demuestra que es posible y deseable involucrar a los actores clave en la consideración y en el análisis de opciones para adaptarse a cambios ambientales. Las principales limitantes para la implementación de las propuestas de adaptación han sido los múltiples

cambios de autoridades a nivel estatal y municipal; tres autoridades distintas en menos de tres años. Bajo estas condiciones fue complicado implementar las propuestas. El Estado tiene interés en resolver los problemas del agua asociados con cambios en el clima, pero el tema no está colocado entre las autoridades de mayor rango, ni hay interés en la implementación de acciones que reporten beneficios a largo plazo.

La adaptación no sólo se trata de resolver problemas inmediatos, sino también de considerar los retos que el clima plantea a largo plazo. Esto no es fácil de concebir, aunque los actores clave planean o responden a las situaciones inmediatas, no tienen claro qué es cambio climático y por lo mismo les es difícil definir mecanismos de adaptación.

### 3.4 Cambio climático y vulnerabilidad hídrica en regiones rurales de México

A partir del conocimiento sobre la vulnerabilidad actual a condiciones anómalas del clima y disponiendo de escenarios del clima futuro y sus impactos, es posible proponer algunas estrategias para enfrentar situaciones climáticas adversas. Los mecanismos que se puedan plantear para enfrentar la variabilidad climática interanual conforman valiosos elementos para desarrollar estrategias de adaptación a cambios futuros.

El proyecto “Adaptación y vulnerabilidad frente a la variabilidad del clima y el cambio climático en la gestión del agua en algunas zonas rurales de México”, contó con el apoyo de los fondos sectoriales Semarnat- Conacyt y fue parte de las actividades de investigación del

Programa Agua, Medio Ambiente y Sociedad, del Programa de Investigadores Asociados de El Colegio de México, A.C. (PAMAS-COLMEX). El PAMAS fue financiado por la Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P. y se desarrolló en colaboración con la Universidad Nacional Autónoma de México.

Los resultados de la presente investigación constituyen un acercamiento al entendimiento de la relación entre la escasez o la abundancia de agua, la variabilidad del clima, los efectos del cambio climático y la manera en que las sociedades se organizan y enfrentan ante los cambios ambientales. Se partió de que el análisis de la relación agua-clima se puede nutrir de estudios de caso regionales que permitan iden-



Foto Mario Hernández

tificar medidas potenciales de adaptación, y brindar elementos para el diseño de política pública enfocada a la construcción de capacidades adaptativas a nivel nacional.

Se eligieron regiones ubicadas en la franja semiárida del centro-norte del país, un área particularmente susceptible a los efectos de la variabilidad natural del clima. La primera de ellas se localiza en la parte septentrional de la Mixteca en los límites de Puebla y Oaxaca (Tehuacán-Cuicatlán). La otra región se ubica en el Alto Mezquital en Hidalgo y el centro-oeste de Querétaro. Ambas regiones tienen en común un clima semiárido, el que más del 40% de sus pobladores viven en condiciones de marginación, y problemas para conciliar el desarrollo con la conservación de los recursos naturales (Fig. 3.3).

En las regiones se asientan importantes núcleos de población indígena y se registran graves condiciones de marginación. La introducción

del riego agrícola en las zonas bajas modificó la dinámica socioambiental en los sistemas aledaños y generó conflictos relacionados con la falta de terrenos aptos para el cultivo temporalero y con la escasez de agua para el riego. Estas zonas son importantes referencias de la problemática rural de nuestro país, tanto por sus características poblacionales como ambientales.

Se recopiló información sobre el medio biofísico y el ámbito socioeconómico de cada región. Como parte del diagnóstico se dio énfasis en la caracterización climática, se describió la dinámica socioambiental y la vulnerabilidad del sector agrícola frente a los cambios en la disponibilidad del agua y la ocurrencia de eventos climáticos extremos. Mediante ejercicios de consulta en campo, que incorporaron a diferentes actores sociales, se identificaron la influencia de acciones institucionales en la construcción de capacidades frente a cambios en el clima y las prácticas de algunos grupos sociales para enfrentar dicha variabilidad.

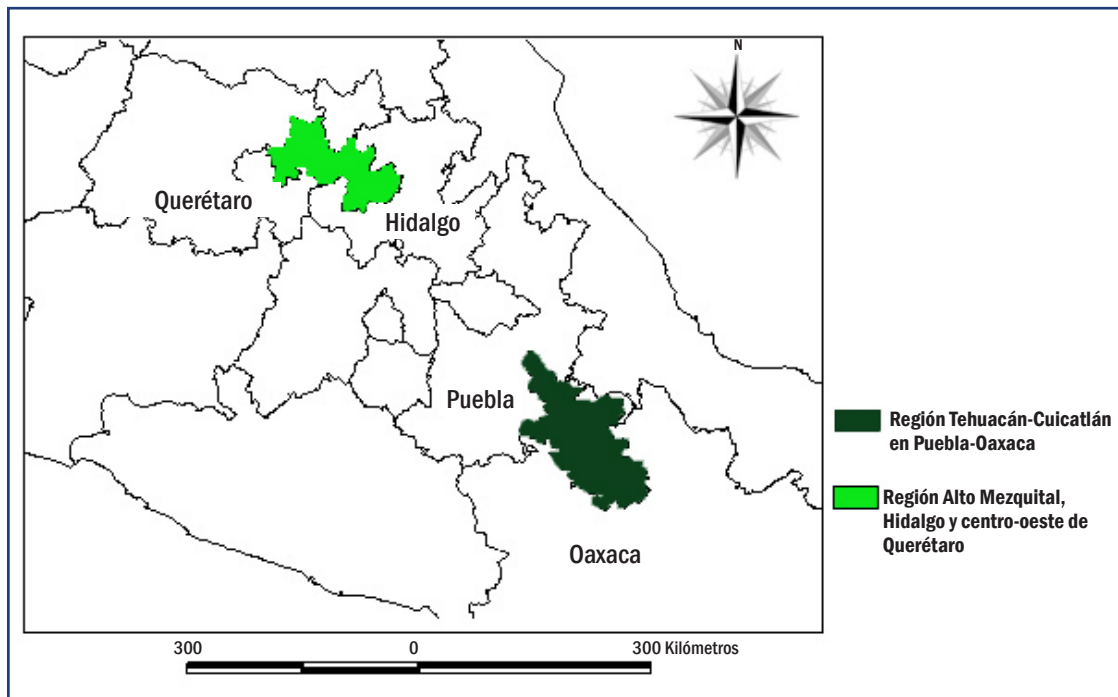


Figura 3.3 Regiones de estudio.

Se determinó la distribución climática y se analizó el comportamiento de la precipitación y la temperatura. Se caracterizaron los principales eventos extremos y las condiciones de vulnerabilidad tomando en cuenta las prácticas agrícolas predominantes, la historia productiva y ambiental de cada región y el uso de sus recursos naturales.

Los principales resultados del proyecto fueron el diagnóstico del riesgo y la caracterización de la vulnerabilidad regional a partir del análisis socioambiental. Se obtuvieron importantes reflexiones sobre la percepción social frente a cambios en el clima y el manejo del agua. El estudio se desarrolló con la colaboración de un comité asesor y la participación de diversas organizaciones gubernamentales y civiles en el periodo de noviembre del 2003 a marzo del 2006.

### **El riesgo climático**

El diagnóstico climático, que consideró datos de los últimos cuarenta años, permitió caracterizar los principales eventos peligrosos, tales como heladas e inundaciones. De acuerdo al patrón de precipitación, anualmente se definen dos periodos, la temporada seca y la húmeda. La primera ocurre de noviembre a abril, en donde las precipitaciones son escasas, representando el 10% de las lluvias anuales. La temporada húmeda ocurre de mayo a octubre; entre estos meses llueve aproximadamente el 90% de las lluvias anuales.

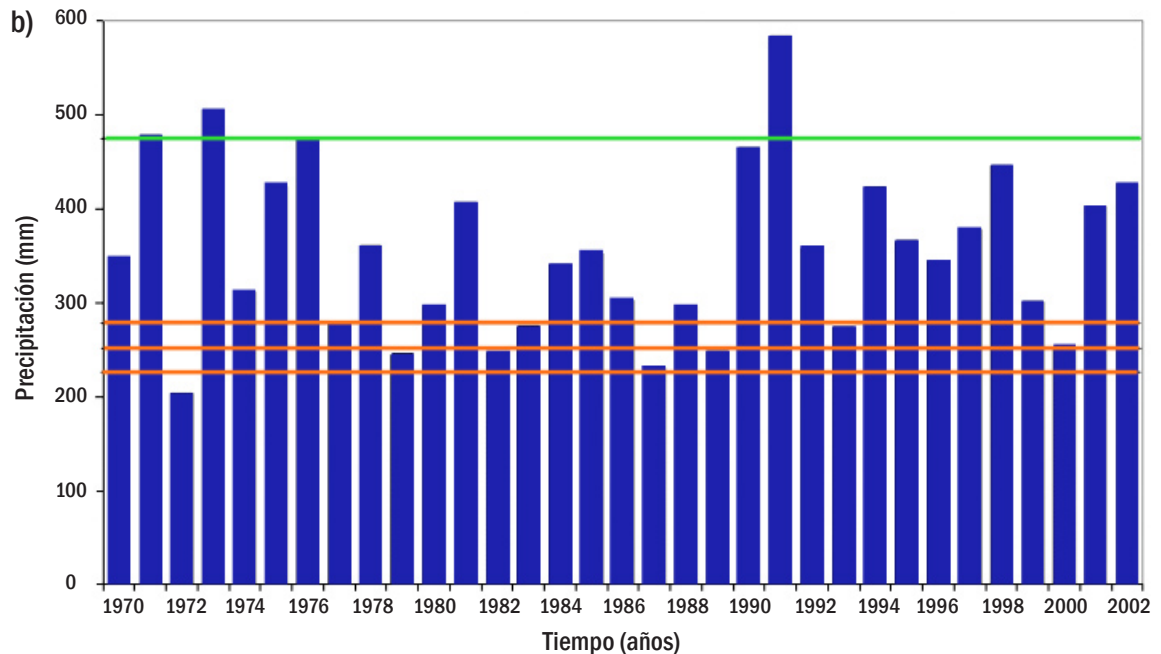
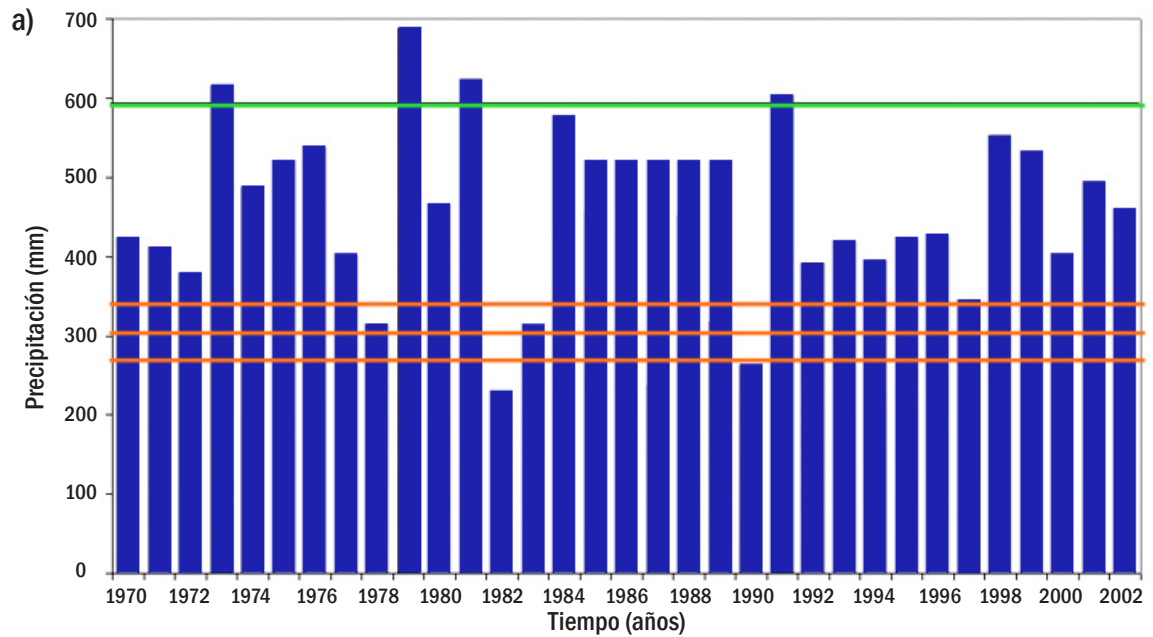
Destacó la tendencia al aumento en la ocurrencia de eventos de lluvia extrema, aunque es posible que se presenten también sequías severas, o bien más prolongadas de lo normal (con una duración de 90-120 días) y con mayor frecuencia. La lluvia extrema se consideró cuando la precipitación anual total de verano fue superior a los 591 mm en Tehuacán-Cuicatlán; o bien a los 470 mm en el caso de Hidalgo-Querétaro. Para la sequía extrema, la precipi-

tación debió estar por debajo de 269 mm en Tehuacán-Cuicatlán, y de los 222 mm para la región de Hidalgo-Querétaro (Fig. 3.4).

Para la región Tehuacán-Cuicatlán el evento extremo que se presentó con mayor regularidad fue la lluvia extrema; en tanto que para la región Hidalgo-Querétaro fue la sequía moderada. Algunas ciudades como Tehuacán, Tecamachalco, Cadereyta y Tolimán, en donde se concentra un gran número de habitantes y de actividades económicas, están ubicadas en zonas de alto riesgo (Fig. 3.5). Frente a cambios en el clima, los asentamientos humanos serán más vulnerables por sus requerimientos de agua, comida, y consumo energético.

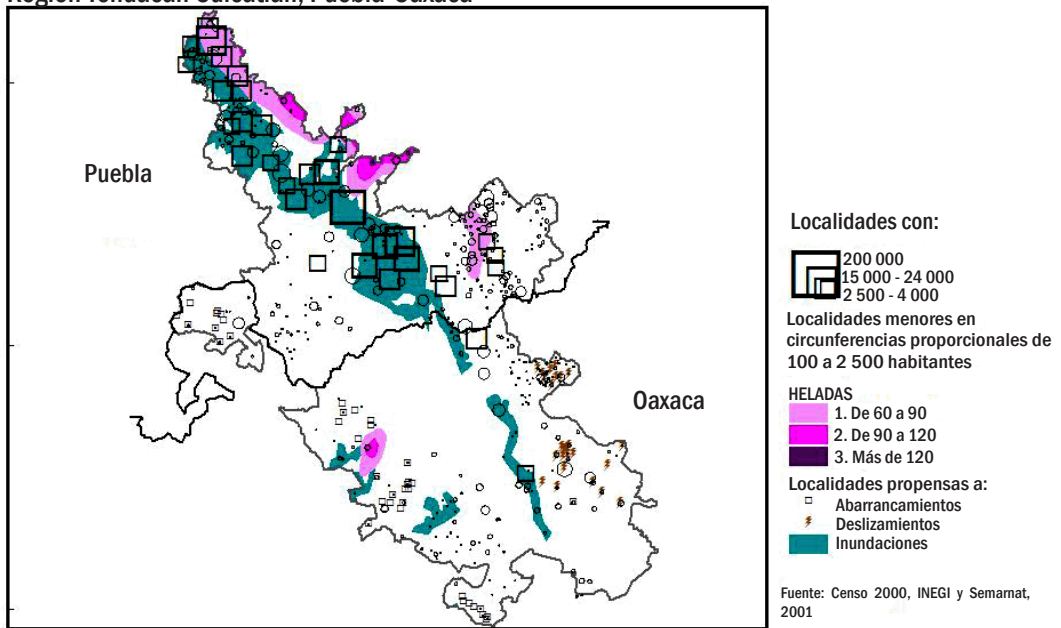
Predomina la agricultura de temporal, aunque también existen importantes áreas irrigadas. Se cultiva alfalfa, maíz, chile, cebada, frijol y jitomate, entre otros. Lo accidentado de los suelos y las condiciones socioeconómicas hacen particularmente vulnerable al sector agrícola frente a los cambios en el clima. Los principales fenómenos que impactan a los cultivos son la falta o el exceso de lluvias, así como la presencia de nevadas o granizo. Se estimó que las heladas pueden tornarse más prolongadas, hasta de 120 días, en comparación con el comportamiento observado de entre 50 y 100 días.

Se encontró también que el estado actual de los recursos naturales y la gestión de las áreas naturales protegidas juegan un papel central en la condición de vulnerabilidad regional (Landa y Neri, 2007). Dichos factores, que son comunes en ambas regiones, las hacen sumamente susceptibles frente a los posibles impactos del cambio climático y merman drásticamente las posibilidades de atenuar sus efectos. La descripción a detalle de tal situación está fuera de los alcances del presente libro, pero se debe notar la relevancia que tienen las estrategias de conservación en la disminución de impactos derivados de eventos extremos del clima.



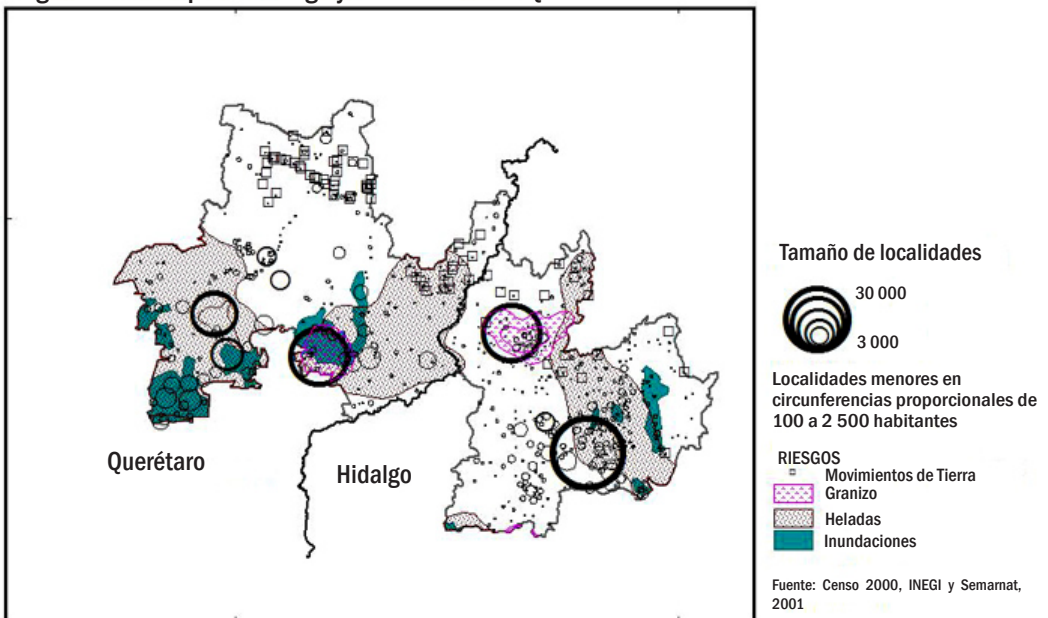
**Figura 3.4** Distribución en el tiempo de eventos extremos de precipitación a) región Tehuacán-Cuicatlán; b) región semiárida del Alto Mezquital, Hidalgo y centro-oeste de Querétaro. Las líneas naranja indican, de abajo hacia arriba, los límites en la precipitación para determinar sequía extrema, severa y moderada, respectivamente. La línea verde indica el límite para la definición de lluvia extrema.

Región Tehuacán Cuicatlán, Puebla-Oaxaca



60 0 60 120 kilómetros

Región Alto Mezquital Hidalgo y centro-oeste de Querétaro



40 0 40 80 kilómetros

Figura 3.5 Distribución espacial de los riesgos y la población en las regiones de estudio.

## Estrategias de conservación y Áreas Naturales Protegidas en el Alto Mezquital en Hidalgo y el centro-oeste de Querétaro

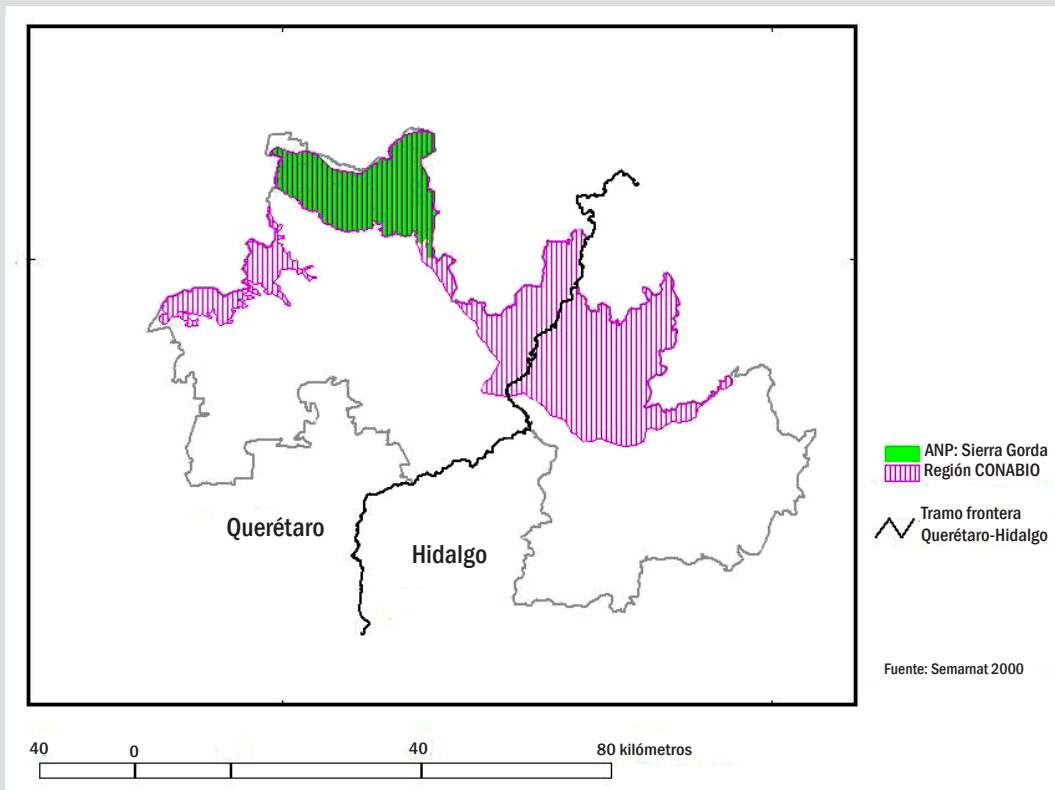
La región del Alto Mezquital en Hidalgo y el centro-oeste de Querétaro está rodeada o incluye dentro de su superficie importantes porciones de ecosistemas bajo alguna categoría de protección. El municipio Cardonal colinda hacia el este con la Reserva de la Biosfera Barranca de Meztitlán en Hidalgo; aunque propiamente esta ANP no se encuentra dentro del área de estudio, si brinda servicios ambientales para el mantenimiento de los ecosistemas en los municipios hidalguenses de la región. Esta ANP protege fundamentalmente a comunidades vegetales de matorral submontano y xerófilo.

La zona de estudio incluye así mismo dos regiones prioritarias terrestres delimitadas por la CONABIO, se trata de la región 102 “Bosques Mesófilos de la Sierra Madre Oriental” que abarca casi la totalidad del municipio de Zimapán y parte de Cadereyta. Además, en la porción queretana se localiza la región 101 “Sierra Gorda Moctezuma”. En estas áreas se realiza aprovechamiento forestal principalmente de pino, encino y oyamel, aunque también hay producción de no maderables como hongo blanco, heno, musgo y palma camedora.



Foto: Mario Hernández

Dentro de la región prioritaria 102 de la CONABIO, en el municipio de Zimapán se localiza una parte del Parque Nacional “Los Mármoles”, el cual fue decretado en 1936 con una superficie de 23,150 ha. Se ubica al noroeste de Hidalgo, entre las coordenadas 99° 08' 57" y 99° 18' 39" de longitud oeste y 20° 45' 39" y 20° 58' 22" de latitud norte, incluye también parte de los municipios Jacala de Ledesma, Nicolás Flores, y Pacula (<http://www.coedehgo.gob.mx/ANP/Marmoles.pdf>). Al igual que los ecosistemas protegidos en la Sierra Gorda de Querétaro, éste parque brinda importantes servicios ambientales, lo que contrasta con las condiciones de vida en las localidades ubicadas dentro del mismo, y que son aún más precarias que en la Sierra Gorda. Sus habitantes dependen en buena medida de la extracción ocasional de carbón, mármol y otros materiales, no existe información suficiente sobre las posibilidades de diversificación productiva ni sobre cómo los habitantes podrían favorecerse de, y favorecer la existencia de este parque.



**Regiones prioritarias para la biodiversidad en el Alto Mezquital, Hidalgo y centro-oeste de Querétaro.**

El municipio Peñamiller es el único de la región de estudio que, en el estado de Querétaro, está incluido en el área de la “Reserva de la Biosfera Sierra Gorda”, la cual se localiza en el norte del estado de Querétaro entre los 20° 50’ y 21° 51’ de latitud norte y los 98° 50’ y 100° 10’ de longitud oeste. La formación del Grupo Ecológico Sierra Gorda en 1987 con el propósito de fomentar el desarrollo sustentable, la educación ambiental, la reforestación con especies nativas, la implementación de técnicas ecológicas para disminuir el consumo de leña y mejorar condiciones de saneamiento; culminó en 1997 con el decreto de la reserva que abarca una extensión cercana a las 384,000 hectáreas.

Es muy conocido el papel que ha jugado esta reserva en la conservación de la biodiversidad en México, en ella se encuentran un gran número de ecosistemas y especies endémicas. Es notorio el gran esfuerzo hecho por la conservación de los recursos bióticos, lo que se manifiesta en el alto grado de conservación de miles de hectáreas con vegetación de distintos tipos, que tienen un gran valor paisajístico y estético, así como en la prestación de servicios ambientales. La heterogeneidad natural de esta región, las condiciones del relieve y el estado de sus cuerpos de agua permiten la conservación de múltiples hábitats para la vida silvestre.



Contrasta la riqueza de los recursos naturales protegidos en esta reserva con la marginación de sus habitantes. No se han promovido suficientes alternativas productivas y algunas de las acciones de conservación dejan de lado los intereses de las comunidades humanas. El ecoturismo se ha fomentado de manera importante pero no se ha incorporado del todo a la población en ésta actividad. Destaca por otra parte el grado de organización para el cuidado de la integridad de los ecosistemas que tienen algunas localidades como Chuveje, Escanela y el Municipio Landa de Matamoros; aunque sus acciones no son siempre incorporadas en las estrategias de acción de la ANP. Los habitantes de la actual reserva no han tenido más opción que integrarse a la dinámica de migración temporal o continuar practicando la explotación de recursos faunísticos y florísticos como parte de su estrategia de supervivencia. Aún queda mucho por hacer para lograr conciliar desarrollo y conservación en esta área protegida.

La compleja problemática de las estrategias de conservación instrumentadas en la actualidad en esta región, está relacionada con diversos factores: la dificultad por detener el cambio de uso de suelo, la insuficiencia de estudios sobre los recursos naturales, el uso inadecuado y los patrones no sustentables de producción. Se han ocasionado problemas de erosión hídrica y compactación del suelo, fragmentación de ecosistemas, extracción de flora y fauna, introducción de especies exóticas, actividades de ocupación irregulares y migración de habitantes (<http://www.coedehgo.gob.mx/ANP/Metztitlan.pdf>). Los habitantes no tienen suficiente claridad sobre la importancia de las áreas naturales protegidas ya que –entre otros factores- la conservación se ha orientado mayormente con elementos prohibitivos, más que incluyentes.



Foto: Mario Hernández

Fuente: Landa y Neri, 2007

## El agua y la percepción del riesgo

Se encontró que el problema no es de disponibilidad, sino de administración del recurso, lo que ha originado graves conflictos por su acceso en las dos regiones, tiene agua quién puede pagar por ella. Existe una fuerte presión sobre el agua subterránea y se desconocen las reservas. El sector agrícola demanda cerca de 80% del agua, mientras que es crítica la situación en el suministro de agua potable en zonas aisladas.

El grado de presión sobre los recursos hídricos regionales, aumenta la vulnerabilidad actual y futura en términos de disponibilidad del agua para los diferentes sectores de usuarios. El principal problema de los cuerpos de agua superficiales, además del grado de contaminación como el que presenta el río Tula, es el azolve de las principales presas. En condiciones de incremento de la temperatura o escasez de agua, estas fuentes superficiales no funcionarían como reservorios de agua de seguir con la tendencia actual de manejo del recurso. De incrementarse la precipitación de manera significativa, o de presentarse lluvias torrenciales, algunas de las presas tampoco actuarían como buenos receptores de agua dado el grado de azolvamiento que presentan, tal es el caso de Endhó, El Durazno, Rojo Gómez y Golondrinas; situación que implica graves riesgos de desbordamiento e inundaciones.

En ambas regiones existen plantas de tratamiento, pero su funcionamiento está desarticulado de una estrategia efectiva para el reuso del agua. De incrementarse la temperatura por la variabilidad climática, es de esperarse que los tratamientos convencionales para la desinfección del agua no sean del todo eficientes, lo que disminuiría la disponibilidad de agua con calidad adecuada para diferentes usos.

Mediante la aplicación de diversos instru-

mentos para conocer la percepción social sobre el clima, se consultó a tomadores de decisiones, académicos, usuarios y pobladores locales. El 90% de los agentes coincidió en que ha disminuido la lluvia en los últimos años, pero que estos cambios en el clima no son la causa principal de los problemas en sus regiones. El desempleo y la marginación son los factores que más afectan su bienestar. Se encontró que diferentes localidades (hasta el 96% de las estudiadas) cuentan con algunas prácticas ante la eventualidad climática, tales como la construcción y rehabilitación de galerías filtrantes y jagüeyes, entre muchas otras.



Foto: Mario Hernández

## Reflexiones

Con los resultados obtenidos por este estudio se aprende que la variabilidad del clima no es la causa principal de los problemas socioambientales que se viven en ciertas regiones rurales. Por otra parte, aunque los problemas derivados de la escasez de agua en época de estiaje son relevantes, se estima que el recurso hídrico sería suficiente para el desarrollo de las distintas actividades de cada región, si se logra un manejo integral de mismo y se garantizara el acceso a los sectores desprotegidos. En las regiones existe un valioso potencial de organización comunitaria para el manejo del agua,

y sus pobladores han desarrollado estrategias frente a condiciones de escasez; lo que puede ser útil para el diseño de acciones enfocadas a la adaptación.

El cambio climático no preocupa de manera importante a los tomadores de decisiones, el manejo de riesgos aún es parcial y sectorial, lo que no permite articular niveles de decisión y por tanto atenuar o prevenir desastres. En los planes de desarrollo regional es deseable incorporar el tema de los efectos del cambio climático y rescatar las estrategias ya adecuadas por los pobladores ante las condiciones variantes del clima.

---

## 3.5 Adaptación al cambio climático en Tlaxcala

---

Este proyecto multilateral y multianual inició en 2003 con el apoyo financiero del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés), a través del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). El proyecto fue un primer acercamiento a la generación de capacidades para la adaptación en diversas regiones y sectores socioeconómicos de países Mesoamericanos y de Cuba. Con su ejecución se ratificó la voluntad del Gobierno de México en contribuir al cumplimiento de sus compromisos ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, para facilitar la adaptación al cambio climático y hacer frente a los impactos que se podrían generar en sectores clave para el país; como son el hídrico, el agrícola y el forestal.

El proyecto consistió en desarrollar estudios de caso para probar metodologías, esquemas de trabajos interdisciplinarios e interinstitucionales, así como diseñar estrategias de comunicación e información que pudieran resultar en propuestas de reducción de vulnerabilidad en los sectores hídrico, forestal y agrícola. En el caso de México, se desarrolló un estudio de

estrategias de adaptación en el estado de Tlaxcala, en colaboración entre el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México y diversas entidades de la administración federal, estatal y local. El equipo fue coordinado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, a través del Instituto Nacional de Ecología (INE-UNAM, 2006).

Se buscaba: favorecer que los actores clave en la toma de decisiones de cada sector, comprendieran la condición de vulnerabilidad ante la variabilidad del clima e incluyeran esquemas para gestionar el riesgo ante cambio climático en sus planes de desarrollo; generar una metodología para evaluar la factibilidad de diversas opciones de adaptación y diseñar acciones para poner en marcha proyectos piloto para la adaptación.

Aunque Tlaxcala representa el 0.2% del territorio nacional, se seleccionó como sitio de estudio por ser ilustrativo de la forma de apropiación y uso de los recursos naturales de la mayor parte del país y por ubicarse en una

zona semiárida particularmente susceptible a los efectos previsibles del cambio climático.

Se definieron estrategias de adaptación en todos los niveles, desde el individual al corporativo y colectivo, y desde lo local a lo estatal. Se instrumentaron en campo algunas medidas propuestas y su evaluación sirvió para comparar las ventajas y limitaciones de distintas medidas de adaptación. Contar con ejemplos donde se muestre la factibilidad de estrategias de adaptación, sus costos y sus efectividades, permitirá a otras regiones del país adecuar los ejemplos a condiciones propias.

La susceptibilidad del agua, la agricultura y los bosques del estado de Tlaxcala, a los efectos de cambio climático se determinó bajo escenarios elaborados con modelos y tendencias de los últimos años. El panorama del uso del agua y los bosques, y del manejo agrícola es poco alentador, ya que se arrastran prácticas que en poco han contribuido a hacer sostenible el manejo de los recursos naturales. La agricultura ha ido ganando terreno a los bosques, sin que ello la lleve a constituirse en un verdadero elemento de desarrollo para el estado. Por el contrario, la agricultura ha perdido importancia en la generación del producto interno bruto, incluso, la proporción de trabajadores dedicados al campo ha disminuido en comparación con los que se dedican a otras ramas de la producción.

Las tendencias sugieren que la falta de apoyos a la agricultura, el uso inadecuado de tierras y agua, el envejecimiento de los trabajadores, la migración y el empobrecimiento del sector agrícola, harán que éste produzca sólo para autoconsumo. Incluso las zonas productivas de riego se verán amenazadas con el abatimiento de los acuíferos, debido a su sobreexplotación y al crecimiento de la zona urbana, que demandará más agua. Al conside-

rarse el efecto del cambio climático, la situación se agravaría debido a la pérdida de humedad del suelo y a alteraciones en el inicio de la temporada de lluvias. El incremento potencial de algunos eventos extremos como lluvias torrenciales y granizadas, se volverá un peligro que aumentará el riesgo a las ya altas probabilidades de desastre en la agricultura de temporal.

Los bosques son sin duda uno de los elementos ambientales clave que permitirían amortiguar los impactos del cambio climático. Localmente, permiten regular el microclima y mantener el balance hídrico. En el sector bosques de Tlaxcala, las superficies forestales han disminuido substancialmente. Los efectos de los incendios y los cambios de uso de suelo con fines agropecuarios han llevado a que las pocas superficies remanentes estén amenazadas, pues aun manteniendo su carácter de áreas protegidas, no es posible conservarlas por la falta de planes adecuados de manejo. Como en otros casos, el sector requiere de apoyos que le ayuden a revertir las tendencias de pérdida del bosque. Dichos apoyos podrían ser en forma de pago por servicios ambientales por captura de carbono y recarga de acuíferos.

Las proyecciones indican que de no actuar-se desde ahora, en aproximadamente cincuenta años la superficie de bosques del estado se reducirá a sólo 20% de lo que tenía a finales del siglo XX. Sin embargo, un verdadero programa de recuperación podría ayudar a conservar una buena proporción de los recursos forestales de Tlaxcala. Para ello, los planes de reforestación deben tomar en cuenta que las condiciones climáticas en los próximos veinte o treinta años comenzarán a mostrar señales del cambio climático. Por tanto, las especies que se consideren en la reforestación, deberán ser resistentes a mayores temperaturas, a mayor incidencia de plagas y a mayor ocurrencia de periodos secos.

El recurso hídrico en Tlaxcala parece tener un futuro similar al que se observa en algunas regiones semiáridas del país, en donde la disponibilidad está por debajo de los mínimos sugeridos por los organismos internacionales para satisfacer las necesidades básicas de la población. Aunque en tres de los cuatro acuíferos de Tlaxcala no se registra aún sobreexplotación, la situación que experimentan parece acercarse rápidamente a tal condición. El tipo de manejo en la agricultura; los altos niveles de contaminación en los cuerpos de agua superficiales y en los acuíferos, producto de una creciente actividad industrial y un desarrollo urbano con poca planeación; así como la falta de respeto a las zonas de veda; harán que el problema del agua sea el más grave. Al considerarse el factor cambio climático, que podría llevar a la disminución en la humedad del suelo y a menor disponibilidad de agua por aumento de la evapotranspiración; sería primordial ejecutar acciones que, además de propiciar la participación social en el uso y la conservación del recurso hídrico, garanticen el abasto en cantidad y calidad adecuada a la población, a los procesos productivos y al gasto ecológico.

## Reflexiones

Es prioritario considerar en la planeación del desarrollo a la vulnerabilidad del país frente a las perturbaciones asociadas a fenómenos hidrometeorológicos extremos, también es necesario que el país evalúe las posibles consecuencias económicas del cambio climático, invierta en infraestructura de prevención para zonas densamente pobladas y expuestas a eventos extremos, e incentive la investigación y el desarrollo para aprovechar o crear tecnologías en los sectores energético, hídrico, agrícola, forestal y ganadero, entre otros.

La variabilidad del clima, que incluye eventos climáticos extremos como las sequías y

las inundaciones, ocasiona ya grandes pérdidas. Los esfuerzos para la adaptación a estos eventos podrían ayudar a reducir los daños a corto plazo, independientemente de cualquier cambio que pueda sufrir el clima a largo plazo. Las acciones y políticas encaminadas al mejor manejo de los recursos naturales y al desarrollo sustentable son esenciales para promover la adaptación.

El diseño de estrategias de adaptación para realidades concretas es una tarea complicada, en cierta forma debido a las incertidumbres. Todavía no es posible cuantificar con precisión los probables impactos futuros sobre un sistema en particular y en un lugar determinado. Esto se debe a que las proyecciones del cambio climático a nivel regional son inciertas, la comprensión que se tiene actualmente de los procesos naturales y socioeconómicos es limitada, y la mayor parte de los sistemas están sujetos a fuerzas diferentes que interactúan.

En los últimos años el conocimiento del sistema climático se ha incrementado enormemente, pero la investigación y el monitoreo aún son esenciales para lograr una mejor comprensión de los impactos potenciales asociados al cambio climático y de las estrategias de adaptación necesarias para abordarlos.



Foto: Grupo de Meteorología Tropical, CCA-UNAM.

### 3.6 Lluvias e inundaciones en Tabasco y Chiapas en octubre del 2007

El día 28 de octubre del 2007 se presentaron en Chiapas lluvias muy intensas de casi de 400 mm en un día, asociadas con el frente frío número cuatro de la temporada (Fig. 3.6), las que ocasionaron inundaciones con graves consecuencias para Tabasco en general, y para Villahermosa en particular. El problema llevó a cuestionar a diversas instancias ante la falta de medidas estructurales de reducción del riesgo. Las primeras declaraciones oficiales recurrieron al paradigma naturalista que explica el desastre en términos de la intensidad del fenómeno natural, sin hacer referencia a la vulnerabilidad que se ha construido en la región durante años. Mediante un análisis de los aspectos meteorológicos se encuentra que si bien, se trató de eventos hidrometeorológicos extremos, muy probablemente relacionados con el proceso de cambio climático global, el fondo del problema

estuvo en el manejo de la cuenca y en los efectos de un esquema de desarrollo regional no sustentable.

#### El fenómeno hidrometeorológico

Es necesario revisar la secuencia de eventos hidrometeorológicos y algunas de las condiciones físicas de la región afectada que influyeron en la ocurrencia del desastre. La zona sur de México, en particular las cuencas de los ríos Grijalva y Usumacinta, constituyen una región con altísimas precipitaciones todo el año. En promedio, se puede esperar que anualmente se registren lluvias de entre 3,000 y 4,000 mm, siendo los meses de septiembre y octubre los que registran las mayores precipitaciones (Fig. 3.7a), pudiendo ser éstas de más de 1,000 mm en un mes (Fig. 3.7b).

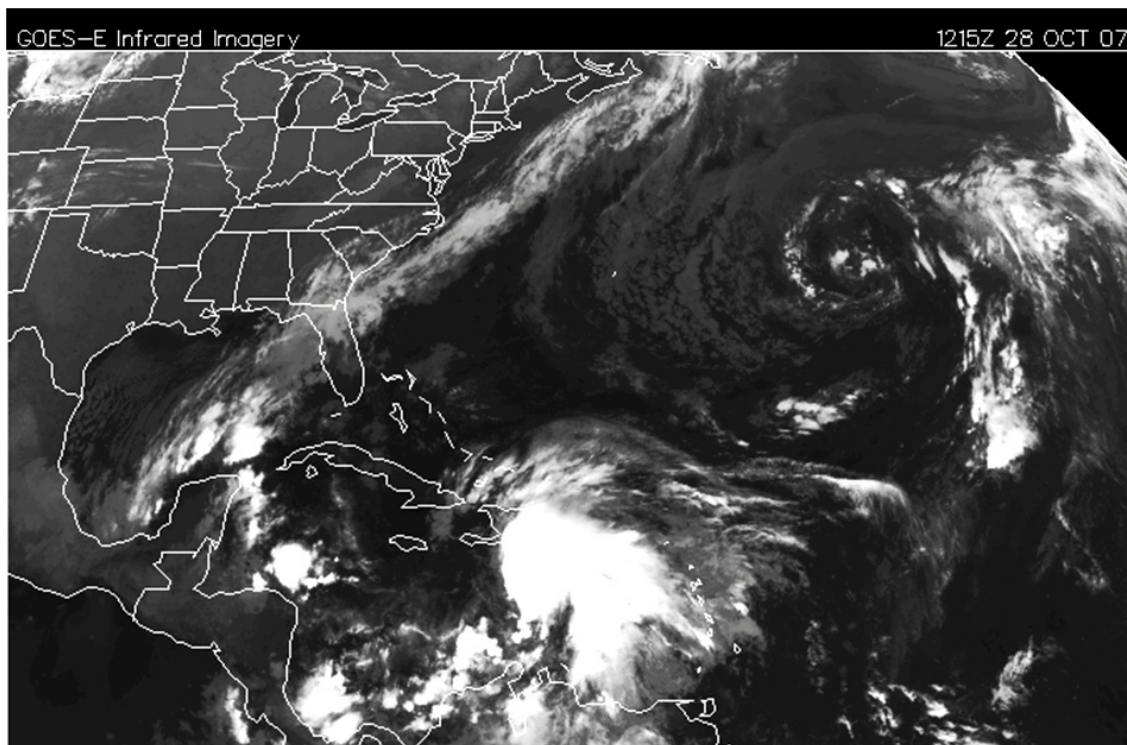
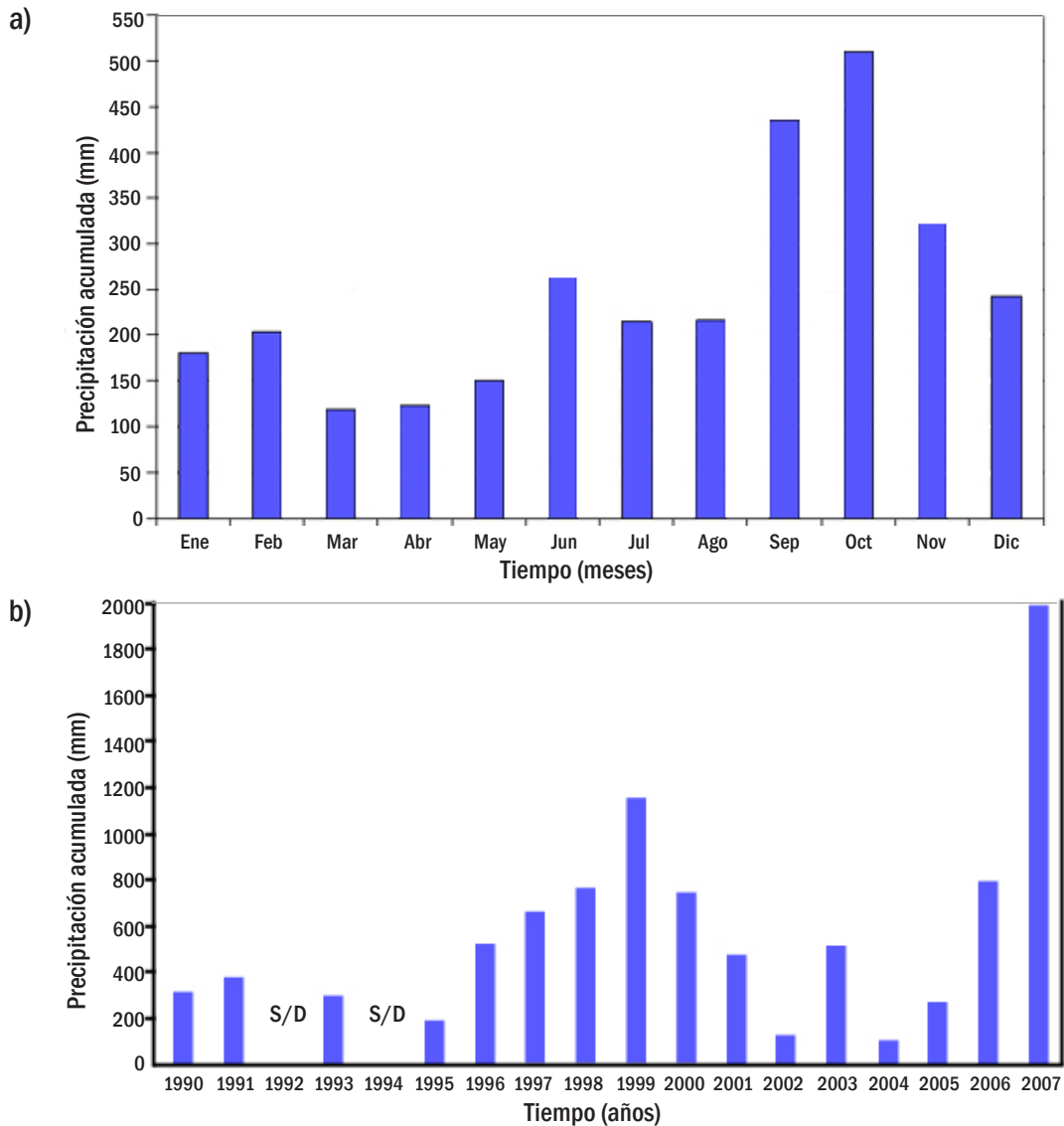


Figura 3.6. Imagen de satélite en canal visible, del 28 de octubre de 2007 que muestra en frente frío número 4 sobre el golfo de México y el huracán Noel en el mar Caribe.



**Figura 3.7 a) Ciclo anual de las lluvias en Ocotepéc, Chiapas, b) Valores de precipitación acumulada en Ocotepéc, Chiapas para el mes de octubre entre 1990 y 2007.**  
 Datos: CLICOM, 2007. Climate computing (WCP) [http://www.wmo.ch/pages/prog/wcp/wcdmp/wcdmp\\_home\\_en.html](http://www.wmo.ch/pages/prog/wcp/wcdmp/wcdmp_home_en.html)  
 S/D indica falta de datos.

Como en gran parte del planeta, las precipitaciones en el sur de México son moduladas por el efecto El Niño/Oscilación del Sur. En su fase La Niña, la región tiende a experimentar lluvias por encima de lo normal (Magaña, 1999) durante gran parte del verano y el otoño. Tal fue el caso de las inundaciones de octubre de 1999, cuando la ciudad de Villahermosa se vio afecta-

da por precipitaciones muy por encima de lo normal. Durante gran parte del 2007 se tuvieron condiciones La Niña. Los modelos climáticos usados para predicciones estacionales del clima indicaban, desde los meses de julio y agosto, que existían altas probabilidades de que las lluvias para septiembre, octubre y noviembre del 2007 estuvieran en el tercil superior de la

distribución de las lluvias históricas para ese periodo (Fig. 3.8), es decir entre las más altas de muchos años.

Sin embargo, en nuestro país, y entre los tomadores de decisiones, hay poca experiencia en qué hacer con un pronóstico climático. Los desastres relacionados con el clima en los años 1997, 1998, 2001, 2005, y 2007; son sólo algunos ejemplos de las insuficientes acciones preventivas ante un pronóstico estacional que indica condiciones de amenaza. Las lluvias en octubre del 2007 confirmaron los pronósticos hechos casi cinco meses antes (<http://iri.columbia.edu>),

presentándose como muy intensas, con un patrón similar al observado en octubre de 1999, es decir, de condiciones La Niña.

En la zona sur de México y en gran parte del país, el cambio climático comienza a manifestarse en forma de un aumento en la intensidad y el número de eventos hidrometeorológicos extremos, como son ondas de calor y tormentas severas (Aguilar et al., 2005). Bajo cambio climático, es muy probable que la intensidad de los aguaceros sea mayor (IPCC, 2007). Así, hasta hace algunas décadas las precipitaciones fuertes eran del orden de los 200 mm en un día en el

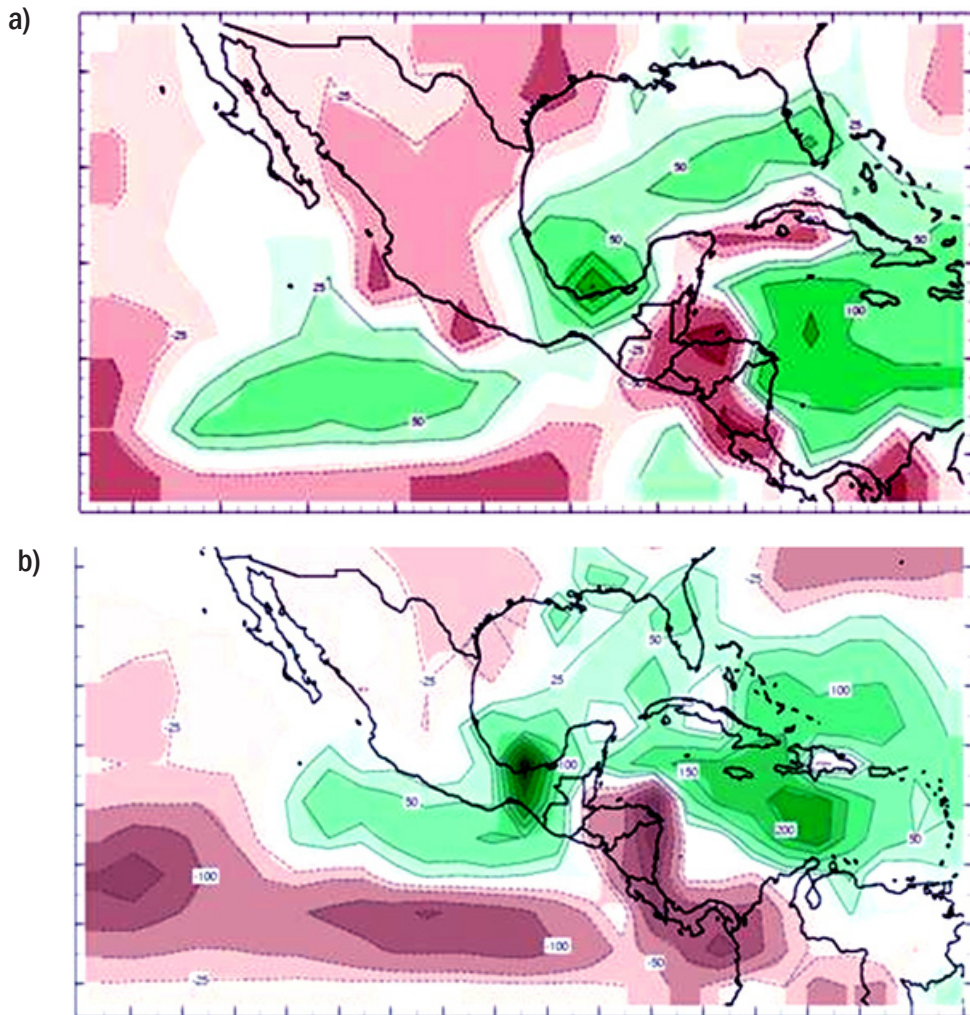


Figura 3.8 Anomalías de precipitación en México en el mes de octubre a) 1999 y b) 2007.



sur de México. Hacia finales del siglo pasado, la intensidad de tormentas severas llegaba alrededor de los 300 mm en un día. Entre el 28 y 30 de octubre del 2007 se presentaron aguaceros de intensidad de entre 300 y 400 mm por día en Ocoatepec, Chiapas, mostrando que los eventos intensos son cada vez más fuertes.

Las lluvias de octubre y noviembre estuvieron principalmente relacionadas con la actividad de Nortes en la zona del golfo de México. El frente frío número cuatro, combinado con flujo de humedad del ciclón tropical Noel, provocó precipitaciones muy intensas, las cuales fueron pronosticadas con precisión al menos tres días antes de ocurrir. Los tres días previos al 28 de octubre, habían transcurrido sin precipitaciones significativas en las cuencas Grijalva y Usumacinta. En otras palabras, tras un periodo seco de tres a cuatro días llegaron lluvias extremas que en teoría, podrían haber permitido un manejo de los flujos de agua en la cuenca, con al menos tres días de anticipación.

Algunos análisis simples de la relación entre lluvia y caudal en el río Grijalva, sugieren que en los meses de octubre las lluvias intensas se reflejan en cambios en el caudal del río, entre uno y dos días después. Por ejemplo, lluvias del orden de 300 mm en un día, se traducen en cambios de caudal del orden de 300 m<sup>3</sup>/s, tal como ocurrió en octubre de 1980. Esta relación lluvias-cambios en el flujo en el río Grijalva, no guarda congruencia con los 2,000 m<sup>3</sup>/s liberados de la presa Peñitas, y que se registraron durante la etapa más crítica de las lluvias intensas de octubre del 2007; lo que contribuyó a la inundación.

### **Un aspecto de la vulnerabilidad regional**

En todo desastre de los mal llamados “naturales”, existe una gran vulnerabilidad, producto de un mal modelo de desarrollo regional. En

las cuencas Grijalva y Usumacinta se han construido condiciones de alta vulnerabilidad a lluvias intensas. Es claro que la vulnerabilidad es multifactorial y por ello es difícil precisar un solo elemento para analizar la causa del desastre de finales de octubre del 2007 en Tabasco. Por principio de cuentas se pueden mencionar factores de tipo ambiental relacionados con el cambio de uso de suelo, que alteran el ciclo hidrológico. El sureste es quizá una de las regiones del país en donde el uso del suelo ha cambiado más dramáticamente en las últimas tres décadas (Fig. 3.9), al convertirse amplias áreas de selvas tropicales al uso agrícola y ganadero. La deforestación ha sido enorme y con ello se ha alterado el balance hídrico de la región, no sólo en términos de cantidad de lluvias, sino también en la relación escurrimiento-infiltración.

La deforestación aumenta la proporción de escurrimiento con respecto de la infiltración, principalmente bajo lluvias intensas, lo que hace que por ejemplo, las zonas bajas de Tabasco sean más proclives a la inundación. Dicho de otra forma, la deforestación en Chiapas genera vulnerabilidad en Tabasco. Adicionalmente, los azolves arrastrados por la lluvia en la zona deforestada, se acumulan con frecuencia en los cauces de los ríos y disminuyen su capacidad. Ante ello, las condiciones de la cuenca en años recientes son muy diferentes a las que existían en los años ochentas, por lo que aunque en octubre de 1980 se registraron lluvias acumuladas en tres días de más de 700 mm en la zona de Villahermosa, no se produjeron inundaciones de mayores proporciones.

Adicionalmente, el incremento de la agricultura de temporal, a costa de áreas de selva tropical en Chiapas, produce inestabilidad de laderas. Las imágenes de satélite de la localidad San Juan Grijalva muestran que, alrededor de la zona de deslave que provocó el bloqueo de la corriente del río Grijalva, entre las presas Malpaso

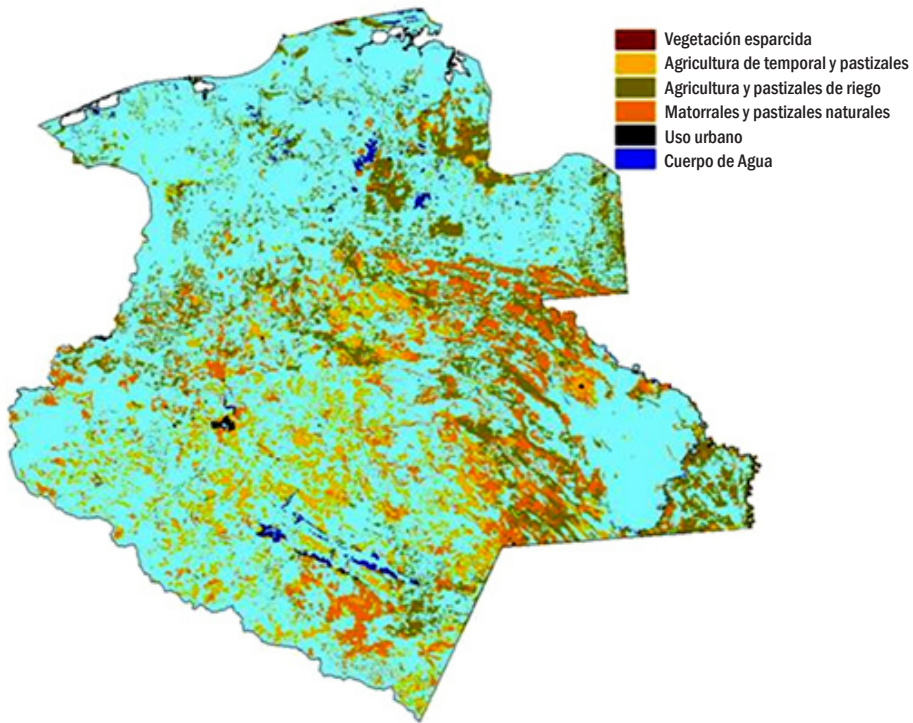


Figura 3.9 Áreas deforestadas entre 1976 y 2000 en la región Grijalva-Usumacinta. En azul claro las áreas sin cambios en el periodo. Los colores indican la expansión de áreas dedicadas al pastoreo extensivo y a la agricultura.



Figura 3.10 Imagen de satélite de la zona de San Juan Grijalva en Chiapas en noviembre de 2007.

y Peñitas, hay gran cantidad de pequeñas parcelas dedicadas a la agricultura (Fig. 3.10). Dicha condición aumenta la inestabilidad de las laderas y, ante la ocurrencia de lluvias intensas, son más susceptibles a procesos erosivos en masa. Este patrón de uso del suelo se manifiesta en toda la región sureste del país.

### Reflexiones

Las inundaciones de Tabasco en 2007 son un reflejo de la construcción de vulnerabilidad, que en combinación con un ciclo hidrológico más intenso, al parecer relacionado con el cambio climático, tiene un costo socioeconómico enorme. Así pues, los costos del desastre son de

gran magnitud tanto en lo económico, como en lo social y lo ambiental. Después del desastre, se comienzan a identificar los factores de vulnerabilidad no atendidos. La conclusión siempre es que, las acciones de prevención hubieran sido mucho menos costosas que las de enfrentar la emergencia y el proceso de recuperación. Lo ocurrido en esta zona no es privativo de México, en muchas otras partes del mundo la deforestación en bosques tropicales para convertirlos en zonas de agricultura y ganadería ha llevado al deterioro de los ecosistemas y de la dinámica ecológica; generando condiciones de alta vulnerabilidad frente a procesos como el de cambio climático.

---

## 3.7 Lecciones

---

A partir de los casos revisados se pueden retomar debilidades y fortalezas para diseñar medidas de adaptación en diferentes ámbitos, y en particular para el manejo de los recursos hídricos. El caso del Comité de vigilancia de los ríos Atoyac y Nexapa deja de manifiesto el evidente papel que puede jugar la organización local y el valor de la autogestión en el manejo del agua y en la implementación de posibles medidas de adaptación frente al cambio climático.

En el caso de La Comarca Lagunera, uno de los elementos más destacables en la dinámica fue la organización cooperativa y la conformación del sistema productivo. El análisis de este caso brinda elementos para la planeación hídrica con visión de largo plazo, sumamente importante en términos de cambio climático, ya que los efectos de los escenarios previstos se harán más evidentes dentro de veinte o treinta años. La incorporación de la visión sistémica y de una amplia escala temporal en la caracterización de la vulnerabilidad regional, garantizaría la permanencia y la evolución de

las medidas que se pudieran proponer en el presente para adaptarse al cambio climático.

Este caso ilustra lo que, en mayor o menor grado, ha sucedido desde mediados del siglo pasado y hasta nuestros días en diversas regiones rurales de extrema pobreza de nuestro país, cuya población además tiene un alto componente indígena. Se trata del grave deterioro de los recursos naturales para generar riqueza, acompañado del desplazamiento y empobrecimiento cultural, tecnológico y productivo de los sectores desprotegidos. Estas situaciones se pueden repetir pero sumamente agudizadas frente a los efectos del cambio climático.

En las distintas regiones y casos analizados el principal problema por enfrentar bajo cambio climático será la disponibilidad de agua. Las principales fuentes de este recurso son los acuíferos, sujetos a intensa explotación para irrigación en la agricultura. De los cuerpos subterráneos se cuenta con poca información sobre su nivel de abatimiento y reserva, y además ya existen en diferentes partes fuertes conflictos por este recurso entre sectores de usuarios.

Una diferencia notable entre las regiones del estudio sobre vulnerabilidad hídrica y cambio climático y el caso de Hermosillo, es el origen de las lluvias en cada región. Aunque la mayor parte de la precipitación ocurre en los meses de verano, la ocurrencia de lluvias en Sonora está asociada con el monzón mexicano, mientras que en la región de Tehuacán-Cuicatlán son originadas principalmente por los vientos alisios, ondas del este y ciclones tropicales. Sonora se ve afectada en invierno por algunos frentes fríos que llegan a producir lluvias y nevadas en las partes altas del estado, mientras que en la región Tehuacán-Cuicatlán el aire seco y frío proveniente de las latitudes medias origina bajas temperaturas y lluvias ligeras. En Tehuacán-Cuicatlán El Niño es un factor modulador esencial de las lluvias, cuando es año El Niño, el régimen de lluvias de verano presenta una disminución en la cantidad de precipitación, en contraparte cuando es año La Niña las lluvias de verano se intensifican. En ambas regiones la forma de llover ha variado, presentándose más lluvias intensas año tras año.

Aun considerando las diferencias en el origen de la precipitación y sus efectos en cada

región, se puede decir que las medidas de adaptación propuestas para Hermosillo parecen ser viables de aplicarse en Tehuacán-Cuicatlán y en la región semiárida del Alto Mezquital en Hidalgo y el centro-oeste de Querétaro. Las medidas están dirigidas a desarrollar un cambio en los hogares, a mejorar el aprovechamiento de las fuentes de energía y a racionar la distribución del agua entre sus distintos usos. Estas posibles opciones para planear la adaptación enfrentan, entre sus principales obstáculos, a las insuficientes políticas públicas enfocadas a alentar construcciones alternativas para la vivienda.

En el caso del uso de técnicas para retener el agua, tanto en Sonora como en las principales ciudades de las regiones de estudio, los habitantes están convencidos de que su única opción es aprovechar el exceso de agua de la temporada lluviosa, situación que favorece la implementación de medidas para la captación de agua de lluvia, de alternativas en la infraestructura sanitaria y de acciones para el uso racional del agua. Esto representaría en el mediano plazo ciertas ventajas adaptativas. El estudio en Hermosillo, Sonora brinda bases importantes para la adaptación en ciertos sistemas urbanos.

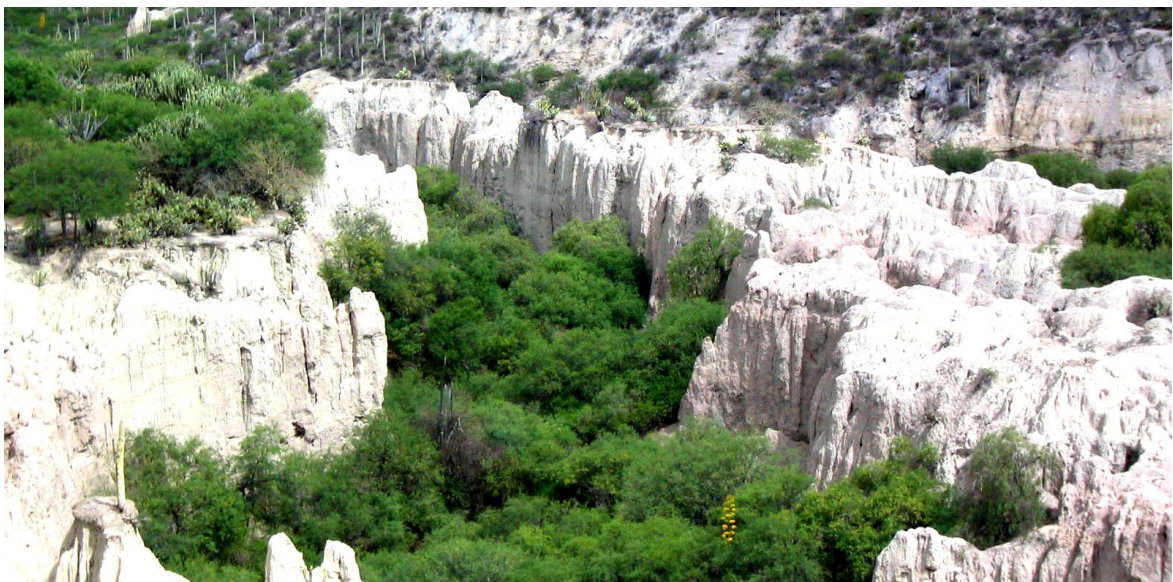


Foto: Mario Hernández



Foto: Carolina Neri

Las principales orientaciones derivadas del caso de vulnerabilidad hídrica regional en Puebla, Oaxaca, Hidalgo y Querétaro; así como los resultados del estudio realizado en Tlaxcala como parte del proyecto sobre fomento de capacidades para la adaptación al cambio climático; permiten contar con medidas de adaptación que pueden comenzar a instrumentarse. Ambos estudios tienen gran valor en términos de replicabilidad, propuesta metodológica y base conceptual relativamente sencilla de aplicar a otros estados del país, por lo que también representan un buen avance en la elaboración de Programas Estatales de Acción Climática.

El caso Tabasco muestra los efectos de la vulnerabilidad construida. Deja ver la importancia de la planeación de mediano y largo plazo en el manejo del recurso hídrico, la necesidad y la utilidad de la información que brinda el diagnóstico climático en el manejo de las presas, y la urgencia de aplicar el Ordenamiento Ecológico

General del Territorio y vigilar su cumplimiento con miras a proteger a los centros de población bajo esquemas preventivos.

De los probables escenarios de cambio climático previstos para el 2050, se esperaría ya sea más temperatura con menos lluvia, o bien más temperatura con un poco más de lluvia y aguaceros. Para ambos escenarios, la tendencia será de mayor evaporación debida a las altas temperaturas, menor humedad del suelo, menor disponibilidad de agua y aumento tanto en la extracción de agua de los acuíferos como en el consumo de energía (debido al uso de aparatos de aire acondicionado para mantener el confort). En el caso del segundo escenario, si bien es cierto que la precipitación aumentaría, el crecimiento en la demanda superaría por mucho el crecimiento en la oferta, es por ello que los asentamientos humanos serán altamente vulnerables en cuanto a la satisfacción de sus requerimientos de agua, y bajo cambio climático

requerirán un consumo mayor de energía para el control de la temperatura en casas e industrias, así como para la conservación de los alimentos.

La variabilidad climática reciente, expresada en sequías, inundaciones o en la ocurrencia de más huracanes intensos, requiere atención inmediata, ya que es a través de estos fenómenos que el cambio climático se va a manifestar. Es

muy probable que los mecanismos de adaptación que se propongan en la actualidad para enfrentar la variabilidad climática interanual constituyan las bases de lo que será la adaptación ante el cambio climático, por lo que trabajar en este campo resulta fundamental.

En el cuadro 3.2 se aprecia una comparación de los principales aspectos abordados en cada caso.

Estudio de caso	Problemática	Características de la dinámica	Aportaciones
<p><b>Comité de vigilancia de los ríos Atoyac y Nexapa, Puebla</b></p>	<p>Disputas por los derechos de agua de los ríos Atoyac y Nexapa; control de volúmenes de agua para uso agrícola.</p>	<p>El Comité de Vigilancia de los ríos Atoyac y Nexapa se funda para reglamentar y normar el riego a partir de la organización social de regantes.</p> <p>Transformaciones vinculadas con la creación del distrito de riego.</p> <p>Reorganización de la operación del sistema hidráulico, pero no se fortalece la participación social.</p>	<p>Importancia de la organización social y las prácticas autogestivas en el manejo de los recursos hídricos.</p>
<p><b>Producción agropecuaria y deterioro ambiental en La Comarca Lagunera</b></p>	<p>Región altamente productiva, pero sujeta a patrones de desarrollo insustentables.</p> <p>Confrontación entre los intereses del sector privado con los del sector ejidal.</p>	<p>Estructura del sistema determinada por el acceso al agua y a los créditos.</p> <p>Sector privado con acceso a agua, alta tecnología, sector ejidal marginado.</p> <p>Sistema colapsado tras los efectos del modelo de producción sobre el medio físico y el agotamiento de los recursos hídricos.</p>	<p>Análisis sistémico como herramienta para caracterizar y entender escenarios de vulnerabilidad, vinculados con el deterioro ambiental y la situación de los sectores desprotegidos.</p>
<p><b>Adaptación al cambio climático en Hermosillo, Sonora</b></p>	<p>Ante los problemas de disponibilidad de agua en el norte de México se evalúan posibilidades de adaptación a los impactos del cambio climático.</p>	<p>Alta vulnerabilidad del sistema urbano a cambios en el clima.</p> <p>Implementación de estrategias diseñadas bajo distintos escenarios de cambio climático, limitada por obstáculos administrativos y vacíos normativos.</p> <p>Desarrollo de opciones factibles para enfrentar los problemas actuales asociados a la variabilidad del clima, así como los esperados bajo cambio climático.</p>	<p>Desarrollo de alternativas tecnológicas para enfrentar problemas en viviendas ante cambios en la temperatura y en la disponibilidad de agua.</p> <p>Relevancia de involucrar a los actores clave en la consideración y análisis de opciones para adaptarse al estrés ambiental.</p>

Estudio de caso	Problemática	Características de la dinámica	Aportaciones
<p><b>Cambio climático y vulnerabilidad hídrica en regiones rurales</b></p>	<p>Regiones ubicadas en la franja centro-norte del país, altamente vulnerables a la variabilidad y al cambio climático.</p>	<p>Experiencias vinculadas con el manejo de la escasez de agua y el desarrollo de estrategias sociales frente a condiciones adversas del clima.</p> <p>Efectos de la variabilidad del clima poco determinantes sobre las condiciones de bienestar, en comparación con la disponibilidad de empleo y el acceso a bienes y servicios.</p>	<p>Aplicación del análisis socioambiental, en combinación con el diagnóstico climático, para identificar amenazas y caracterizar condiciones de vulnerabilidad en regiones rurales.</p> <p>Importancia de la organización comunitaria de manejo del agua y de la percepción social en el diseño y la implementación de estrategias de adaptación.</p> <p>Caracterización de la dinámica político-institucional para apoyar el diseño de estrategias preventivas.</p> <p>Metodología base para elaborar Programas Estatales de Acción Climática.</p>
<p><b>Capacidades para la adaptación al cambio climático en Tlaxcala</b></p>	<p>Necesidad de contar con un plan integral para la adaptación frente a cambio climático en los sectores forestal, hídrico y agrícola.</p>	<p>Tlaxcala es representativo de algunas condiciones biofísicas y socioeconómicas nacionales.</p> <p>Definición de estrategias de adaptación y estimación de su viabilidad en diferentes sectores.</p>	<p>Fundamentos para realizar diagnósticos de la vulnerabilidad por tipo de amenaza y sector social.</p> <p>Planeación de estrategias de adaptación a partir de capacidades locales.</p> <p>Modelo base para elaborar Programas Estatales de Acción Climática.</p>
<p><b>Lluvias e inundaciones en Tabasco y Chiapas en octubre 2007</b></p>	<p>Ocurrencia de lluvias extremas extraordinarias, las que en combinación con el uso ineficaz de la información hidroclimática y el cambio de uso del suelo provocan efectos devastadores.</p>	<p>Sistema colapsado ante los impactos socioambientales que rebasan su capacidad. Como elementos determinantes de la dinámica se identifican a las transformaciones de uso del suelo en las cuencas Grijalva y Usumacinta y al manejo hidráulico.</p> <p>Acciones desvinculadas del pronóstico meteorológico. Inundación con graves repercusiones para las personas y sus bienes.</p>	<p>Evidencia de la alta vulnerabilidad construida y de la escasa preparación ante lluvias intensas.</p> <p>Vulnerabilidad incrementada por el deterioro ambiental y el insuficiente manejo de la información.</p> <p>Importancia del uso oportuno de la información climática, para prevenir desastres.</p>

**Cuadro 3.2 Elementos para la adaptación derivados de las experiencias reseñadas sobre manejo de recursos hídricos ante la variabilidad del clima.**





## Capítulo 4

### Elementos para planear la adaptación al cambio climático

Construir capacidades para la adaptación equivale a desarrollar las habilidades de los distintos sectores sociales para ajustarse a la variabilidad, a los extremos climáticos y al cambio climático; a fin de aprovechar los efectos positivos y moderar los daños potenciales. La adaptación a la variabilidad natural del clima y al cambio climático ha sido objeto de investigación y acción de instancias y organizaciones durante la última década. Sobre este tema se han escrito ensayos con distintos alcances, desde los puramente científicos que incorporan -incluso- las posibilidades de adaptación de los sistemas naturales, hasta aquellos que versan sobre la construcción de políticas nacionales o globales. No obstante los estudios dedicados al planeamiento de acciones locales concretas, o aún regionales, son escasos.

Se debe aprovechar ampliamente la oportunidad que tiene el país de poner en marcha el Programa Especial de Cambio Climático, que actualmente se elabora a partir de los planeamientos de política pública plasmados en la Estrategia Nacional de Cambio Climático

(CICC, 2007). Se espera que dicho programa aborde decididamente, como uno de los ejes fundamentales de acción, la construcción de capacidades de adaptación frente al cambio climático, unifique la visión institucional y articule metas claras a desarrollarse por la Administración Pública Federal, por lo menos en un horizonte de tiempo al 2012. Aunque pareciera relativamente corto el lapso que le resta a la presente administración, es la gran oportunidad para sentar un punto de arranque sólido y con visión de largo plazo en la construcción de capacidades de adaptación del país. En la medida que se camine en este sentido, se puede reducir la vulnerabilidad de México y avanzar hacia la sustentabilidad de su desarrollo.

A continuación, se reflexiona sobre el papel que podrían jugar algunos elementos de la dinámica social en la adopción y la permanencia de medidas de adaptación al cambio climático, se esbozan estrategias para el sector hídrico y algunas orientaciones que pudieran tomarse en cuenta para planear la adaptación nacional al cambio climático.

---

#### 4.1 Algunos elementos sociales y su papel en la construcción de capacidades de adaptación

---

En los casos analizados en el apartado anterior se manifiestan condiciones de vulnerabilidad frente a cambios en el clima vinculadas con los recursos hídricos, que son similares a las que se pueden identificar a nivel nacional (Carabias y Landa, 2005). La distribución espacial y temporal de la lluvia es irregular, la mayor parte de la población y de las actividades económicas se concentra en dónde hay menor disponibilidad natural y jurídica del recurso, los problemas actuales no están directamente relacionados con

la disponibilidad, sino con la deficiente administración del recurso y destacan por su grado de vulnerabilidad hídrica frente a cambios en el clima los sectores doméstico y agrícola.

De los casos brevemente reseñados, se obtienen valiosas enseñanzas para la construcción de propuestas enfocadas a la adaptación en el manejo del agua en los niveles regional y nacional. Particularmente a partir de las experiencias de los actores que históricamente, además de

enfrentar cambios en el clima y en la disponibilidad del líquido, han vivido en condiciones de marginación. Destacan como elementos altamente determinantes en la construcción de capacidades de adaptación frente al cambio climático la organización y la percepción social sobre cambios en el clima, entre otros que se describen a continuación.

### **Organización social y adaptación al cambio climático**

La organización y la participación social juegan un papel trascendental en la definición de acciones relacionadas con el cuidado de los recursos hídricos y representan un valioso potencial para el diseño y la adopción de estrategias de adaptación frente a la variabilidad natural del clima y al cambio climático. En las regiones de los casos reseñados existen algunos espacios e instancias locales en los que se discuten aspectos fundamentales para el cuidado y la distribución del agua, tales como las asambleas, y las sociedades de agua y sus juntas auxiliares.

En el ámbito local la asamblea comunitaria es el máximo órgano en la toma de decisiones. En éste nivel se decide la estructura organizativa para el manejo del agua, se fijan cuotas a los servicios; se conforman comités de agua que organizan la distribución equitativa, la realización de obras de mantenimiento de la infraestructura y la vinculación con autoridades. Mediante estas instancias los pobladores deciden el grado de participación en los programas de manejo del agua de los gobiernos estatal o federal. Las Sociedades de agua funcionan para la distribución de agua de manantiales o de otras fuentes. Estas estructuras organizativas tienen su propio espacio de decisión donde se discuten las cuotas o la vinculación de las sociedades de aguas con las sociedades de los canales de riego. Algunas sociedades de agua llevan hasta un siglo en funcionamiento.

Cabe destacar el caso particular de la región Tehuacán-Cuicatlán, en la que se realizan reuniones de cuenca tributaria que son convocadas por la organización Alternativas y Procesos de Participación Social, A.C., la que trabaja en la regeneración de cuencas a través del programa “Agua Para Siempre” (Hernández y Herrerías, 2002; Toledo y Solís, 2001). En este espacio se discuten los problemas del agua y las posibles estrategias para enfrentarlos, se proponen proyectos de regeneración ecológica y se convoca a las autoridades y a los comités de la asamblea del pueblo para garantizar la continuidad de los trabajos. En estas reuniones de cuenca tributaria, se ha promovido la construcción de más de 1,500 proyectos de regeneración de cuencas en la región.



Foto: Carolina Neri

## Acciones de Alternativas y Procesos de Participación Social, A.C.

Alternativas y Procesos de Participación Social, A.C. es una organización civil sin fines de lucro, cuya misión es colaborar en la búsqueda de alternativas e impulsar procesos de participación social orientados hacia el desarrollo humano y regional sostenible. Su objetivo ha sido colaborar en el mejoramiento de la calidad de vida de los pueblos al posibilitar el acceso al agua para los diversos usos y mejorar los terrenos de cultivo.

Su área de influencia de aproximadamente 3,137 km<sup>2</sup>, se localiza en las regiones hidrológicas del Balsas y el Papaloapan, entre las cuencas formadas por el río Atoyac y el Papaloapan, comprende nueve cuencas tributarias: Duraznillo Axamilpa, Presa Tula, Carnero Ramales, Magdalena Limón, Acatepec, Las Manzanas, Joloxtocha, Tacoyo Piedra Azul y La compuerta.



Foto: Carolina Neri

A partir de un enfoque educativo, se han desarrollado programas como: Agua para Siempre, Quali, Financiamiento del Desarrollo y Desarrollo de Empresas Sociales; entre otros. El cuadro siguiente muestra las localidades y los años en que el Programa “Agua para Siempre” inició los apoyos para realizar diversas acciones para la regeneración y conservación de suelos y agua. Desde 1988 hasta la actualidad se han construido 1,450 obras. Durante el 2005 se realizaron trabajos en 53 localidades y se construyeron 110 obras.

Localidades	Inicio de proyectos (año)	Proyectos realizados “Agua para Siempre”	Proyectos que destacan
Atecoxco	1993	65	Represas de roca. Recarga de manantiales, y riego de auxilio.
Plan de San Miguel	1997	18	Represas de roca y obras de agua potable. Recarga.
Santa María La Alta	1988	29	Obras de conservación de suelo, y redes de distribución de agua potable.
San Marcos Tlacoyalco	1990	27	Obras de conservación de suelos en área agrícola, a nivel parcela.
San Pedro Atzumba	1994	20	Obras de conservación de suelos en área agrícola, a nivel parcela y gaviones.
San Pedro Netitlán	1994	18	Saneamiento, digestores y agua potable.
Concepción Buenavista	1999	23	Represas de roca para recarga y obras a nivel parcela.
San Francisco Teopan	1999	21	Conducción de agua potable y represas de roca.
Santa Ana Teloxtoc	1990	29	Represas de roca y de gaviones, control de suelos.
Tlacotepec Plumas	1999	5	Obras de conservación de suelos en área agrícola, a nivel parcela.
Acatepec	1997	23	Represas de roca y saneamiento – digestores.
San José Trujapan	1993	32	Represas de roca para recarga y obras a nivel parcela
Sabino Farol	1993	43	Represas de roca, gaviones y conducción de agua potable.
Zamarrilla	2003	8	Represa de roca y digestores para saneamiento.
San Fco. Resurgimiento	2003	7	Jagüey captación de agua de lluvia.
San Jerónimo. Zoyatitlanapan	2003	4	Represa de roca
Rancho Ramírez	2000	5	Represa de roca.
Rancho Rincón	2000	5	Represa de roca.

La metodología de esta organización para desarrollar proyectos en los poblados se conforma de varias etapas; se inicia todo un proceso de seguimiento educativo para motivar la participación de los pueblos y dar continuidad a los proyectos; una vez terminadas las obras se hacen reuniones de evaluación para planear el seguimiento, una vez concluido el proyecto la responsabilidad de mantener las obras en condiciones óptimas es de los beneficiados. Los miembros de la asociación mantienen contacto permanente con las comunidades atendidas y tratan de resolver cualquier situación referente a las obras y los proyectos realizados.

El programa “Agua para Siempre” es el único con permanencia en la región que trabaja proyectos de conservación de suelos y agua. Sin embargo para el tamaño de la región Mixteca, aún falta mucho trabajo por realizar. En el futuro será importante indagar más sobre los impactos logrados por las obras realizadas y contar con algunos indicadores que permitan analizar los impactos ambiental y social.

[www.alternativas.org.mx](http://www.alternativas.org.mx)

Alternativas y procesos de participación social, A.C. es de las pocas organizaciones civiles que pretenden hacer frente a un problema histórico de rezago social, como lo es el acceso al agua en calidad y cantidad adecuada para los habitantes de la región. Sin embargo, no cuenta con recursos financieros equivalentes a la magnitud de las metas que se ha propuesto. Sobre esta organización se ha deslindado la atención a los poblados más marginados de la región Mixteca, y no se le brinda, ni en cantidad ni con la oportunidad requerida, recursos para hacer frente a tal reto. Inevitablemente la organización se enfrentará también con cambios poblacionales drásticos que, en mucho, rebasarán su ámbito de acción.

Esta organización civil, no sólo pretende resolver problemas de inequidad y marginación social, sino que las acciones de manejo del recurso hídrico que ha desarrollado durante casi treinta años, son un elemento clave para el diseño de estrategias frente a la variabilidad climática y por tanto para ayudar en la construcción de capacidades de adaptación frente al cambio climático en zonas rurales de México.

En otro nivel de administración del recurso hídrico, el sector hidráulico ha fomentado, desde hace más de una década, la creación de diferentes espacios de participación social para la discusión de los problemas del agua en las cuencas del país. Hoy en día funcionan -por ejemplo- los Consejos de Cuenca y los Comités Técnicos de Agua Subterránea. En algunas regiones y desde una perspectiva más amplia para el manejo de los recursos naturales, existen los Consejos para el Desarrollo Rural Sustentable, los Consejos de Planeación Municipal, o bien los Comités de Recursos Naturales; éstos últimos impulsados por varias dependencias de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales con el propósito de vincular las necesidades ambientales de los municipios con sus líneas estratégicas de acción. Actualmente también operan algunos comités enfocados al manejo forestal, a la restauración y a la protección de recursos naturales. Estos espacios constituyen un eslabón fundamental en la cadena de decisiones que se toman a nivel local y regional sobre la administración del recurso hídrico, no obstante tienen serias limitantes en su funcionalidad.



Foto: Carolina Neri

La gestión del agua ha avanzado en ciertos aspectos técnicos, institucionales y jurídicos, sin embargo, el componente organizacional y de participación se encuentra rezagado. En los espacios creados resulta complejo discutir y llegar a acciones concretas sobre los temas particulares que preocupan a cada región, municipio o localidad. Las reuniones abordan temas tan generales que no repercuten directamente en las localidades, la toma de decisiones no depende de las discusiones colectivas, resulta muy complicado dar seguimiento a los acuerdos y no existe suficiente coordinación de acciones entre los municipios y las dependencias estatales o federales. En múltiples casos la población desconoce la existencia de éstos espacios, no sabe cuál es su función, cómo insertarse en ellos, o qué beneficios obtendrá de su participación.

Por lo anterior, algunas de las instancias creadas a convocatoria del gobierno no han logrado incidir del todo en la realización de proyectos, en la búsqueda de recursos o en la orientación de las líneas de política hídrica que competen a cada región, ocasionando frustración y desgaste de las organizaciones y demás actores sociales. Enfrentar la falta de agua y la variabilidad del clima es una tarea compleja que se dificulta aún más debido a que la gestión ante dependencias gubernamentales de parte de organismos civiles no ha tenido resultados satisfactorios, situación que se agrava con la falta de continuidad de los programas y la politización de los apoyos a las comunidades.

Aunque el tema de la variabilidad climática no es una prioridad de discusión en los espacios de participación social descritos, la existencia misma de ellos puede considerarse una fortaleza en términos de la gestión ambiental y de su vinculación con la gestión de riesgos hidrometeorológicos. Es de gran relevancia tanto, apoyar las acciones realizadas por organiza-

ciones civiles como Alternativas y Procesos de Participación Social, A.C.; como, potenciar en su ámbito de acción a otros espacios de participación, para garantizar la implementación y la permanencia de medidas de adaptación ante el cambio climático.

### **Percepción sobre el riesgo climático y las acciones institucionales**

Los cambios proyectados en la variabilidad del clima, y los esperados bajo cambio climático no parecen elementos relevantes en la percepción de diferentes actores sociales. Las autoridades municipales están rebasadas ante lo complejo de los problemas del agua y la falta de financiamiento, los organismos operadores están preocupados por las cuestiones de recuperación de costos y medición del consumo, más que por los posibles cambios en el recurso atribuibles al clima.

En varios casos se desconocen las acciones institucionales en regiones y municipios, así como la existencia de planes de emergencia encaminados a reducir la vulnerabilidad de los pobladores ante las variaciones climáticas. En general, poco se percibe el papel de la Comisión Nacional del Agua o el funcionamiento del Sistema Nacional de Protección Civil ante la ocurrencia de eventos extremos. En algunas instituciones y en ciertos niveles de decisión, falta claridad sobre el marco normativo en materia de gestión del riesgo, o se conoce sólo parcialmente el nivel de responsabilidad y el ámbito de acción en este tema. Para aliviar problemas de disponibilidad de agua, la mayoría de los usuarios demanda del gobierno la apertura de nuevos pozos subterráneos, y la mayoría de los tomadores de decisiones espera que la sociedad ahorre el agua y pague su cuota, para así resolver la disponibilidad (dependiente de otros factores) y la desigualdad en la distribución.

En el seguimiento de estrategias enfocadas a la adaptación representarían un obstáculo los cambios administrativos y la desarticulación entre instancias y niveles de decisión. Los ayuntamientos, aunque están más involucrados con los problemas de los usuarios y con sus decisiones, son instancias que no cuentan con recursos económicos ni con suficientes capacidades para potenciar la instrumentación de estrategias de adaptación y atender eficientemente la complejidad de los problemas vinculados con cambio climático.

Es muy importante promover que el conocimiento científico y la información gubernamental que llegan a la población, tengan la credibilidad requerida para promover acciones que favorezcan la adaptación de distintos sectores. Igualmente se requiere que los habitantes conozcan las acciones institucionales relacionadas con el agua y el clima, así como los instrumentos de gestión ambiental vigentes. Es fundamental contar con diversas aproximaciones que permitan conocer la percepción social de la población involucrada en la adop-

ción de medidas de adaptación, y considerar tal conocimiento en la planeación.

### **Migración y pérdida de memoria histórica**

La variabilidad del clima no es la causa principal de la problemática socioambiental que se vive en las regiones de los distintos casos analizados, aunque es un factor que favorece la aparición de conflictos entre sectores usuarios del agua. Existen otros factores tales como los efectos negativos de las políticas agropecuarias, el desempleo, la deficiencia en servicios de salud, los conflictos sociales y la pobreza que aumentan la vulnerabilidad de la población frente a las condiciones cambiantes en la disponibilidad de agua y en el clima. A dichas situaciones se les ha enfrentado de diversas formas mas, entre las que destaca la migración temporal o definitiva (Durand y Landa, 2004). La búsqueda de oportunidades de empleo fuera de las regiones rurales ha ocasionado que los pobladores que permanecen, que generalmente son de edad avanzada, sean sumamente vulnerables, no sólo a cambios en el clima; también a otro tipo de amenazas.



Foto: Carolina Neri

La migración definitiva y masiva de ciertos grupos de edad no permite generar aprendizaje en las nuevas generaciones, ni guardar la memoria histórica sobre las respuestas que se han desarrollado frente a eventos extremos del pasado. Un análisis de estas experiencias permitiría ajustar las condiciones de vulnerabilidad en la actualidad. La migración se convierte así en un proceso importante en la dinámica socio-ambiental que incidirá en las posibilidades de aplicar medidas de adaptación.

### **Desigualdad en el acceso al agua**

Cuando las fuentes de abastecimiento se ven disminuidas en los meses de febrero a abril se hace evidente la desigualdad en el acceso al recurso en casi todo el país. El agua se raciona

mediante tandeos, por lo que la gente trata de almacenar la mayor cantidad posible del líquido, pero no todas las personas cuentan con medios para hacerlo. Algunos grupos se desplazan grandes distancias para conseguir una fuente de agua y para otros se incrementan los costos de bombeo –por ejemplo-. La desigualdad en el acceso al recurso se agudiza al existir personas con capacidad de inversión que se dedican a la venta de agua. Aunque en ciertas regiones se cuenta con fuentes de reserva de agua potable para la época de estiaje y con obras de recarga que permiten mantener algunos escurrimientos, éstas son insuficientes. Disminuir las condiciones de desigualdad en el acceso al recurso sería sustancial para favorecer el éxito en la adopción de medidas de adaptación a distintas escalas.

---

## **4.2 Estrategias regionales para la adaptación en el manejo de los recursos hídricos**

---

Si se toman en cuenta las lecciones por aprender de los casos descritos en el capítulo previo, resulta fundamental fortalecer las capacidades regionales para enfrentar la variabilidad climática por medio del rescate de estrategias locales desarrolladas frente a cambios en la disponibilidad de agua. Además, como medidas de urgente implementación, se requiere mantener la capacidad de almacenamiento ante lluvias extremas y extraordinarias, favorecer la recarga hídrica y garantizar la existencia de reservas secundarias para consumo humano, entre otros elementos que se pueden retomar para diseñar estrategias de adaptación, y que se describen a continuación.

### **Diseñar estrategias de adaptación a partir del rescate de prácticas locales**

Bajo condiciones de cambio climático se esperarían que en distintas regiones del país se pase

de condiciones de sequía severa a precipitaciones intensas e inundaciones. Particularmente resultará crítica la disponibilidad de agua en los meses de abril y mayo en el centro-norte del país. De presentarse un aumento de la temperatura, algunas zonas rurales serán más vulnerables y afectadas por la escasez de agua; no sólo por su situación climática, sino por que los efectos de las variaciones en el clima se sumarán a los impactos de las prácticas productivas inadecuadas y a las condiciones de marginación social.

Ante tal situación, se encontró que en múltiples regiones rurales del país se llevan a cabo prácticas de manejo del agua enfocadas a superar situaciones de escasez relacionadas con la variabilidad climática natural. Es común la construcción de obras para el riego de auxilio o para la captación de agua de lluvia, la protección a los manantiales de las fuentes



contaminantes, la reforestación de cuencas, la rehabilitación de pozos artesanales o galerías filtrantes, o bien, el desarrollo de sanitarios secos. En el sector agrícola se ha recurrido al uso de cultivos resistentes a la sequía, a prácticas para mantener la humedad del suelo, y se han extendido el uso de invernaderos, la asociación de cultivos y la hidroponía.

Estas prácticas y otras más, cuya descripción está fuera de los alcances de este documento, son elementos útiles para el diseño de estrategias de adaptación a condiciones variantes del clima en los niveles local y regional, por lo que es importante recuperar y extender algunas de ellas en las regiones más vulnerables a una merma en la disponibilidad de agua. El rediseño de estas prácticas para ajustarlas a las condiciones previstas bajo cambio climático (por ejemplo a la mayor evaporación esperada ante la incidencia de olas de calor), así como su

implementación y extensión; debe apoyarse en programas permanentes de capacitación. En este contexto cobra relevancia el papel de las organizaciones civiles que operan en diferentes partes del país.

En particular, las opciones tecnológicas desarrolladas por la organización Alternativas y Procesos de Participación Social, A.C., sustentadas en su permanencia en la región Tehuacán-Cuicatlán por más de 25 años, tienen un importante papel demostrativo para el diseño y la implementación de estrategias de adaptación y pueden generar un efecto multiplicador en todo el centro del país. La instrumentación masiva de alternativas tecnológicas otorgaría ventajas frente a los impactos del cambio climático en distintas regiones del país y además contaría con la aceptación de múltiples sectores, ya que algunas de ellas forman parte de la práctica cotidiana .



Foto: Mario Hernández

## **Mantener la capacidad de almacenamiento ante lluvias extremas y extraordinarias**

Adaptarse al cambio climático también significa crear las condiciones para aprovechar los impactos positivos del mismo. Ante la perspectiva del aumento en la precipitación y del número de días con probabilidad de lluvia, los cuerpos de agua superficial ya existentes debieran funcionar como receptores, por lo que se sugiere poner en marcha medidas que garanticen su permanencia y permitan conservar su capacidad de almacenamiento. Tales medidas disminuirían problemas en la disponibilidad para los diferentes usos, ayudarían a contar con el recurso para iniciar tempranamente el ciclo agrícola y evitarían pérdidas por la incidencia de heladas. La rehabilitación de cuerpos de agua y la prevención de azolves también son esenciales para la conservación de áreas de recarga subterránea. En tanto que la microhidráulica ofrece vastas oportunidades en este sentido, sigue siendo altamente cuestionable enfocar mayormente las acciones de adaptación, al desarrollo de grandes obras hidráulicas.

Antes de pensar en más obras de ingeniería que traten de manejar los ríos de las cuencas del país, como es el caso en la región Grijalva-Usamacinta, se debe hacer una revisión crítica del modelo de desarrollo de cada región y planes de reordenamiento ecológico y territorial que tiendan a reducir la vulnerabilidad en cada caso. Los cambios en esta dirección afectarán intereses económicos particulares, pero estos deben compararse con los costos del desastre reciente, para mostrar como la prevención siempre paga mejor que la respuesta al desastre. La lección de los desastres de inundación debe aprenderse y servir para hacer un análisis crítico del aprovechamiento que se hace de la información del tiempo y del clima en la planeación de distintas actividades. Sin duda, es necesario generar mucha mayor capacidad para contar no

sólo con mejores meteorólogos, sino también con gente que sepa cómo tomar decisiones con la información que se genera.

## **Fortalecer instrumentos de gestión ambiental que permitan la recarga hídrica**

En el caso de una disminución en la precipitación en verano y de un aumento en la temperatura, ocurrirá una mayor evapotranspiración y disminuirá la infiltración hacia los acuíferos, situación que contribuirá a agravar las condiciones de sobreexplotación de los mismos. En este sentido es de esperarse que en años tipo El Niño, que generalmente producen lluvias escasas e incluso sequías, se alcance un alto riesgo hidrológico en las regiones del centro-norte de México (Magaña, 2005). Lo anterior requiere de acciones que favorezcan la recarga y regulen la extracción subterránea.



Foto: Mario Hernández

En este punto resulta trascendental que las diversas acciones que se realizan en las áreas naturales protegidas (ANP), enfocadas al manejo forestal o al mantenimiento de los servicios ambientales, se articulen con la implementación de estrategias para enfrentar cambios en el clima. De ser necesario, se podría revisar la categorización de las ANP para potenciarlas como zonas de recarga, en especial en las zonas semiáridas del centro y norte del país. Resulta también

importante revisar la aplicación de vedas hidráulicas o, en su caso, el manejo de los lapsos de veda y extracción en función de las condiciones de cambio climático previstas en cada región. Un adecuado plan de ordenamiento de los acuíferos permitiría rotar la extracción de acuerdo a prioridades e índices de sobreexplotación. Esta orientación requiere de un análisis detallado para que funcione como una medida de adaptación, que a mediano o largo plazo reporte algún beneficio en la disponibilidad de agua en algunos acuíferos con mayor capacidad de recarga.

### **Garantizar la existencia y la calidad de reservas secundarias de agua mediante acciones de saneamiento integral**

Para garantizar la existencia de reservorios y fuentes secundarias de agua para consumo humano es importante cuidar la calidad del agua que fluye en corrientes superficiales permanentes o intermitentes, lo que permitiría manejarlas como reservas en caso de un extremo climático. De aquí la importancia de realizar acciones de saneamiento integral (*sensu* Carabias y Landa, 2005) en zonas vulnerables; que incluyan la conservación y la rehabilitación de lagunas y cuerpos superficiales menores y el saneamiento a lo largo de los escurrimientos. Adicionalmente se deben ajustar las técnicas de desinfección y tratamiento de las aguas a las nuevas condiciones climáticas.

### **Articular acciones institucionales con potencial para la adaptación**

Algunas medidas para el cuidado del recurso hídrico que se llevan a cabo de manera dispersa en ciertas regiones del país, tales como: mejorar las campañas de ahorro de agua, reforestar las partes altas de las cuencas, incentivar a grupos sociales que favorecen la conservación de la cobertura forestal, regular eficientemente a

las industrias contaminantes, construir bordos y plantas de tratamiento de agua, y rehabilitar pozos y obras de almacenamiento, tienen gran potencial para la construcción de capacidades de adaptación ante cambio climático; siempre y cuando se articulen a una estrategia de gestión integral del riesgo.

### **Crear instancias regionales y fortalecer a interlocutores para la gestión integral del riesgo hidroclimático**

La adecuada y oportuna implementación de medidas de adaptación del sector hídrico en diferentes regiones del país requiere adecuaciones institucionales que permitan articular la gestión de riesgos hidrometeorológicos con la gestión ambiental, ajustar el marco jurídico y fortalecer las capacidades de los tomadores de decisiones, mediante un proceso de profesionalización permanente que los constituya en agentes detonadores de la adaptación al cambio climático. Se sugiere la consolidación de instituciones



Foto: Brenda Ávila

regionales enfocadas a la gestión integral del riesgo, que actúen sinérgicamente con el Sistema de Protección Civil de cada estado; instancias que requieren ser fortalecidas con información y financiamiento suficiente para atender la creciente complejidad del tema.

Las medidas de adaptación que se pueden sugerir para el sector agua, requieren de la articulación entre sectores y de la unificación de visiones entre instituciones y niveles de decisión. De no existir el clima institucional y político que se requiere, aunque las estrategias sean adecuadas, no hay razón para pensar que se implementarán y que efectivamente permitirán la adaptación de distintos sectores sociales frente al cambio climático.

### **Constituir centros regionales de información climática**

Las condiciones actuales de vulnerabilidad a los efectos de fenómenos extremos como sequías recurrentes, tormentas o inundaciones, están vinculadas en mayor o menor grado a carencias de información básica sobre el clima regional, y a la desarticulación entre tomadores de decisiones y generadores de conocimiento. Se sugiere que en el seno de instancias estatales o regionales creadas para la gestión del riesgo, o

bien dentro de los Centros Regionales de Atención de Emergencias del Servicio Meteorológico Nacional, se constituyan centros o unidades de información climática. Los que cuenten, no sólo con personal especializado, sino también con recursos humanos que aprendan a usar la información del clima en la prevención de desastres.

### **Favorecer el intercambio de experiencias ante la variabilidad del clima**

La resolución de los problemas del agua y de los vinculados con la gestión de riesgos climáticos, cruza indiscutiblemente por la búsqueda de respuestas colectivas que partan de la solidaridad entre grupos sociales. El trabajo cooperativo entre comunidades que experimentan situaciones similares frente a la variabilidad del clima, así como el replanteamiento de los espacios de participación social para la discusión de la relación agua-clima, pudieran crear condiciones ideales para la construcción de capacidades de adaptación en zonas rurales de México. En este intercambio de experiencias cobran especial importancia la identificación de tecnologías ya apropiadas y útiles para la adaptación y el efecto multiplicador que pudieran generar las organizaciones civiles.



Foto: Carolina Neri

---

### 4.3 Bases para la adaptación nacional

---

El nivel de riesgo al que se encuentra expuesta la población frente a los cambios en el clima y en la disponibilidad del agua está vinculado con diversos factores interdependientes de tipo socioeconómico, ambiental y tecnológico, entre otros; los cuales, dado su carácter interactuante no se pueden enfrentar por separado. Los distintos aspectos se han de abordar simultáneamente para lograr la gestión integral de riesgos hidroclimáticos y la apropiación de medidas de adaptación ante el cambio climático.

A nivel nacional se pueden esbozar medidas de adaptación frente a la variabilidad del clima y a la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos, relacionadas con elementos tales como el fortalecimiento de la estructura institucional, el ajuste del marco jurídico y la generación de información. Igualmente se han definido ejes rectores para enfrentar los efectos de eventos hidrometeorológicos extremos, que giran en torno a la conservación del ciclo hidrológico y de los ecosistemas naturales que lo hacen posible, así como al aprovechamiento sustentable del recurso hídrico (Carabias y Landa, 2005).

Para avanzar en el diseño de estrategias de adaptación frente a la variabilidad y el cambio climático es primordial fortalecer procesos participativos, promover el intercambio de información sobre diversas experiencias locales frente a los impactos de eventos climáticos extremos y consolidar una estructura de organización cooperativa entre grupos, estados y regiones; que permita definir mecanismos para instrumentar estrategias de adaptación.

La construcción de capacidades de adaptación frente a la variabilidad climática y el cambio climático representa importantes retos en el marco político, institucional, jurídico

y regulatorio. Se debe fortalecer a los espacios de participación social ya existentes y generar conocimiento aplicable al manejo de la incertidumbre y al desarrollo de estrategias de comunicación efectivas. Las adecuaciones orientadas en estos rubros deben ir de la mano con la implementación de las medidas de adaptación frente al cambio climático planteadas en la Estrategia Nacional de Cambio Climático y con la consolidación de una nueva visión institucional para planear la prevención y la organización de respuestas ante los impactos del cambio climático; lo que facilitará que las acciones dispersas encaminadas hoy a la disminución de los daños, se transformen en preventivas y articuladas institucionalmente.

No se debe perder de vista que, la oportuna y fortalecida actuación del sector ambiental, y en particular el cumplimiento de la legislación y la normatividad en la materia, así como la instrumentación del ordenamiento ecológico; bastarían para tener atinados avances en la disminución de la vulnerabilidad del país frente a eventos extremos y en la construcción de capacidades adaptativas en todos los ámbitos del desarrollo nacional.

En general, son bien aceptadas las ideas de que la sociedad civil tiene que ser incorporada en la previsión del riesgo, y que se requiere incrementar la habilidad del público para entender la información del tema y preparar a los tomadores de decisiones para entender cómo el público percibe el riesgo. Aunque los avances en este aspecto van en camino, el caso de las inundaciones en Tabasco obliga a reflexionar sobre la comunicación de la información a las poblaciones afectadas, y a las no afectadas directamente ante la ocurrencia de un evento de tal magnitud.

La información que se transmite a la población no afectada es parcial y en la mayoría de los casos, tiene el objeto de solicitar ayuda posdesastre para los damnificados. En general, los receptores de esta información, al solidarizarse con la población afectada, consideran que su participación y compromiso con el tema se cumple al aportar despensas, medicamentos o incluso dinero en efectivo; las posibilidades de acción social en torno al tema se reducen significativamente con este manejo de la participación.

Bajo condiciones de cambio climático, se hará más evidente que este tipo de manejo de la información frente a la emergencia no involucra una visión preventiva de largo plazo, ni puede solucionar los problemas de fondo; ya que se espera que eventos como el de octubre pasado en Tabasco se incrementen en intensidad y frecuencia en todo el sureste mexicano. Por ello, aunque la población mexicana ha mostrado señales de gran solidaridad, no será posible recurrir a los no afectados para que, de forma cotidiana, subsanen los efectos de desastre con aportaciones voluntarias.

Quizá, el mayor reto que queda de manifiesto con el presente análisis -y si es que se logra aprender las lecciones de los casos descritos aquí y en especial el de La Comarca Lagunera-; es el de la búsqueda de mecanismos para incorporar en las estrategias de adaptación a los sectores más desprotegidos, y no dejarlos de lado frente a los requerimientos tecnológicos y financieros que demandaría el aumento de la temperatura y los cambios en las lluvias. Es vital planear para prevenir que sólo los sectores que cuenten con recursos económicos, sean los únicos que desarrollen capacidades de adaptación; y para evitar que la historia de deterioro ambiental y pobreza que se reproduce en múltiples regiones rurales e indígenas del país, se repita bajo condiciones climáticas aún más adversas.

De aquí la importancia de proponer estrategias que rebasen las necesidades de los sistemas urbanos y el ámbito tecnológico y productivo, y que aborden decididamente el fortalecimiento de la acción social en regiones rurales de México. De no ser así, se tendrán que estudiar casos, que se repetirán por decenas, sobre la dinámica social de refugiados ambientales. La generación de condiciones para que el desarrollo de capacidades de adaptación no se restrinja a los sectores con posibilidades financieras, es el gran tema pendiente.

La manera en que nuestro país ha de enfrentar los impactos de la variabilidad del clima y el cambio climático, es un tema que necesita tener un nivel jerárquico más alto en la Administración Pública Federal, puesto que se trata de un asunto de seguridad que afecta a la integridad de las personas, a sus bienes materiales y a los servicios ambientales que constituyen la base del bienestar de los mexicanos.

La construcción de capacidades de adaptación frente a las condiciones variables del clima y a los impactos futuros del cambio climático, representa una gran oportunidad para nuestro país, pero tiene que ser planeada. Las reflexiones expuestas constituyen una valiosa plataforma de conocimientos y experiencias que puede favorecer los procesos adaptativos.



Foto: Brenda Ávila

## Algunos elementos para planear la adaptación al cambio climático

Dimensión ambiental	Cuestión social	Instrumentos de planeación	Estrategias de información y comunicación
Atender, mitigar y en su caso restaurar los daños ecológicos derivados de los efectos de eventos hidrometeorológicos extremos	Fortalecer capacidades autogestivas y de organización comunitaria para enfrentar cambios en el clima	Identificar y rescatar tecnologías locales apropiadas para adaptarse a las condiciones variantes del clima	Traducir el pronóstico meteorológico y climático en términos útiles para distintos usuarios
Fortalecer la aplicación de los instrumentos de gestión ambiental que favorecen la recarga hídrica, para adecuarlos a las condiciones esperadas bajo cambio climático, en especial al sistema nacional de áreas naturales protegidas y al ordenamiento ecológico	Capacitar a interlocutores para la gestión integral del riesgo hidrológico en las regiones hidrológico administrativas	Desarrollar sistemas de planeación regional que incluyan la prevención, la comunicación, la participación social y el análisis de riesgos	Fomentar que los centros de información faciliten la integración entre la información climática y el diseño de políticas públicas
Mantener la capacidad de almacenamiento ante lluvias extremas y extraordinarias, bajo un enfoque de conservación de la dinámica hídrica de las cuencas del país	Fomentar el intercambio de experiencias entre grupos sociales que han enfrentado extremos climáticos.	Incorporar en la planeación del riesgo acciones para atender impactos de fenómenos reiterativos y cotidianos	Inducir que las prioridades de investigación definidas en la Estrategia Nacional de Cambio Climático sean retomadas por las instituciones de investigación
Garantizar la existencia y la calidad de reservorios secundarios de agua mediante acciones de saneamiento integral	Buscar mecanismos para preservar la memoria histórica de las respuestas humanas ante cambios en el clima	Considerar acciones de reducción de la vulnerabilidad, disminución del riesgo y generación de estrategias de adaptación en los planes de desarrollo municipal, regional y estatal	Crear instancias regionales para la gestión integral del riesgo hidrológico, que cuenten con programas de profesionalización permanente de su personal
Articular las acciones institucionales ya existentes bajo un enfoque de adaptación al cambio climático	Consolidar una estructura de organización cooperativa entre grupos, estados y regiones para instrumentar acciones de adaptación	Rediseñar mecanismos financieros y fondos para la prevención de impactos y la atención y rehabilitación posdesastre	Diseñar estrategias efectivas de comunicación y educación sobre el tema
		Diseñar mecanismos para que los sectores más vulnerables tengan acceso a recursos financieros	Trabajar de manera conjunta con los medios de comunicación para el uso adecuado y oportuno de la información climática





# Referencias

- Aguilar, E., C. Peterson, P. Ramírez Obando, R. Frutos, J. A. Retana, M. Solera, J. Soley, I. González García, R. M. Araujo, A. Rosa Santos, V. E. Valle, M. Brunet, L. Aguilar, L. Álvarez, M. Bautista, C. Castañón, L. Herrera, E. Ruano, J. J. Sinay, E. Sánchez, G. I. Hernández Oviedo, F. Obed, J. E. Salgado, J. L. Vázquez, M. Baca, M. Gutiérrez, C. Centella, J. Espinosa, D. Martínez, B. Olmedo, C. E. Ojeda Espinoza, R. Núñez, M. Haylock, H. Benavides, y R. Mayorga, 2005: Changes in precipitation and Temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003, *J. Geophys. Res.*, 110, D23107, doi:10.1029/2005JD006119.
- Carabias J. y R. Landa, 2005. Agua, Medio Ambiente y Sociedad. Hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México. Universidad Nacional Autónoma de México, El Colegio de México y Fundación Gonzalo Río Arronte I. A. P., México, 219 pp
- Castelán, E., 2000, Análisis y perspectiva del recurso hídrico en México. México, D.F., Centro del Tercer Mundo para el Manejo del Agua, A.C., IPN, CIIEMAN, IWRA-AIRE-AIREH, Asociación Internacional de Recursos Hídricos y Fundación Ford, 98 pp.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), 2001. Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2000. México, Serie Impacto socioeconómico de los desastres en México no. 2, pp. 9-90.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), 2002. Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2001. México, Serie Impacto socioeconómico de los desastres en México no. 3, pp. 13-163.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), 2003. Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2002. México, Serie Impacto socioeconómico de los desastres en México no. 4, pp. 15-297.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), 2004. Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2003. México. Serie Impacto socioeconómico de los desastres en México no. 5, pp. 15-177.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), 2005. Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2004. México, Serie Impacto socioeconómico de los desastres en México no 6, pp. 15-176.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres – Sistema Nacional de Protección Civil (CENAPRED-SINAPROC), 2001. Programa Especial de Prevención y Mitigación del riesgo de desastres 2001-2006. Plan Nacional de Desarrollo, Sistema Nacional de Protección Civil, Centro Nacional de Prevención de Desastres, Secretaria de Gobernación. México. 137 pp.
- CEPAL-BID, 2000. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2000. Un tema del desarrollo: la reducción de la vulnerabilidad frente a los desastres. Documento presentado en el Seminario “Enfrentando Desastres Naturales: Una Cuestión del Desarrollo”. Nueva Orleans, 25 y 26 de marzo de 2000. Elaborado por Zapata R, Rómulo C y Mora S. pp. 47.

- CICC, 2007. Estrategia Nacional de Cambio Climático, México. Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. 157 p.p.
- CICLOM, 2007. Gridded monthly Version Released May 2007: Cressman analysis of monthly precipitation, and maximum and minimum temperature for Mexico and surroundings based upon CLICOM daily station data, GHCN Version 2 monthly station data, and University of East Anglia Climate Research Unit (CRU) monthly gridded data as the "first guess" for the Cressman analysis, from the Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM. <http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.UNAM/.gridded/.monthly/.v0705/.prcp>
- CNA, 2000. La gestión del agua en México: Retos y Avances. Comisión Nacional del Agua, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. 250 pp.
- CNA, 2001. Programa Nacional Hidráulico 2001-2006. Comisión Nacional del Agua, Plan Nacional de Desarrollo, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, 128 pp.
- CNA, 2005. Estadísticas del Agua en México. Comisión Nacional del Agua, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 104 pp.
- Conagua, 2007. Estadísticas del Agua en México. 2007. Comisión Nacional del Agua - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. 259 pp.
- Conagua, 2008. Programa Nacional Hídrico 2007-2012. Comisión Nacional del Agua, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 164 pp.
- CONAPO, 2003. La Situación demográfica de México 2002. Consejo Nacional de Población, Secretaría de Gobernación, México. 182 pp.
- CONAPO, 2006. La Situación demográfica de México 2006. Consejo Nacional de Población, Secretaría de Gobernación, México.
- DOF, 1988. Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, LGEEPA. Diario Oficial de la Federación, 28 de enero de 1988. Secretaría de Gobernación. México.
- DOF, 2000. Ley General de Protección Civil. Diario Oficial de la Federación 12 de mayo de 2000. Secretaría de Gobernación. México.
- DOF, 2003a. Reforma a la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, LGEEPA. Diario Oficial de la Federación 13 de junio del 2003. Secretaría de Gobernación. México.
- DOF, 2003b. Reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en Materia de Ordenamiento Ecológico. Diario Oficial de la Federación, 8 de agosto del 2003. Secretaría de Gobernación. México.

Durand, L. y R. Landa. 2004. Demographic change and commons management: migration in focus. Common Property Resources Digest. International Association for the study for common property (IASCP). Junio 2004.

Eakin, H., V. Magaña, J.L. Moreno, J.M. Martínez, O. Landavazo y J. Smith. 2007. A stakeholder driven process to reduce vulnerability to climate change in Hermosillo, Sonora, Mexico. En: Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, Springer Netherlands.

Economía, 2005. Disponible, en <http://www.jornada.unam.mx/2005/11/07/secara.html>

García, R., 1987. Deterioro ambiental y pobreza en la abundancia productiva. El caso de la Comarca Lagunera. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, IFIAS, UNRISD, México. 112 pp.

Gay, C., 2000, México: Una visión hacia el siglo XXI. El Cambio Climático en México. UNAM – Semarnap, México. pp. 119 – 142.

Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos, Presidencia de la República, 2007. Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012. Poder Ejecutivo Federal. México. 317 pp.

Gómez, C. F. J., 2004. La creación de un distrito de riego y las contradicciones de una comunidad regional de regantes en el contexto neoliberal. Presentado en “The Commons in a age of global transition: Challenges, risks and opportunities”. The tenth Conference of the International Association for the study of Common Property, Oaxaca, México.

Hernández, G. R. y G. Herrerías, 2002. Una experiencia exitosa de desarrollo regional sostenible: El caso del Programa “Agua para Siempre”. Tehuacán Puebla, Alternativas y procesos de participación social, A.C. México.

Hernández, L. 2000. Prospectiva demográfica y económica de México y sus efectos sobre la pobreza. Consejo Nacional de Población, México.

INE, 2004. Adaptación al cambio climático: Hermosillo Sonora, un caso de estudio. Instituto Nacional de Ecología, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, InStratus Consulting, Inc., Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, El Colegio de Sonora. México.

INE, 2006. México, Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. 211 pp.

INEGI, 2005. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática Disponible en [http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/proyectosespeciales/stan-wilma/Informacion\\_Geospacial.ppt](http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/proyectosespeciales/stan-wilma/Informacion_Geospacial.ppt)

- INE-UNAM, 2006. Informe de resultados del Proyecto: Fomento de las Capacidades para la Etapa II de Adaptación al Cambio Climático en Centroamérica, México y Cuba. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México, PNUD-GEF. México. 31 pp.
- IPCC, 2001. Climate Change 2001. Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part of the Working Group II Contribution to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Panel Intergubernamental de Cambio Climático, WMO, UNEP, Ginebra, Suiza, 91 pp.
- IPCC, 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Panel Intergubernamental de Cambio Climático, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Landa, R., F. Saavedra y F. Figueroa, 2004. Análisis socioambiental en regiones rurales: Problemas metodológicos y criterios de análisis. En: F. Lozano Ascencio (coord.), "El amanecer del siglo y la población mexicana, VI Reunión Nacional de Investigación demográfica en México, vol. I, UNAM, México. pp. 605-620.
- Landa, R. y C. Neri. 2007. El diagnóstico socioambiental como herramienta para orientar política pública en la gestión de riesgos hidrometeorológicos en la región semiárida del Alto Mezquital en Hidalgo y el Centro-Oeste de Querétaro. Memorias en extenso. Congreso Nacional y Reunión Mesoamericana de Manejo de Cuencas Hidrográficas, INE, UAQ, FIRCO, CONABIO. Querétaro, México.
- Lorenz, E., 1960, Energy and numerical weather prediction. Boston, Tellus, pp. 364-373.
- Macías, J. M. 1999. Desastres y protección civil: problemas sociales, políticos y organizacionales. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, CIESAS. México. 101 pp.
- Magaña, R. V. O., 1999. Los impactos de "El Niño" en México. Centro de Ciencias de la Atmósfera UNAM, Dirección General de Protección Civil, Secretaría de Gobernación, México. 229 pp.
- Magaña, V., J. Vázquez, J. L. Pérez y J. Pérez, 1998. Impact of El Niño on precipitation in México. Geofísica Internacional. Vol. 42. Num. 3. p. 313 – 330.
- Magaña, V. 2004. El cambio climático global: comprender el problema. En: Martínez, J. y A. Fernández (comps.). Cambio climático: una visión desde México. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. P. 17-27.
- Magaña, V. 2005. Elaboración de escenarios climatológicos para la región de México, Centroamérica y Cuba. Informe de avance de trabajo. Proyecto "Fomento de capacidades para la etapa II de adaptación al cambio climático en Centroamérica, México y Cuba". UNAM, INE, PNUD-GEF. Octubre del 2005. México.

- Martínez, P. 2007. Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 76 pp.
- Obasi, G., 2000. Mitigation of Natural Disasters: WMO's Contributions to Societal Needs in the New Millennium. USA, World Meteorological Organization Long Beach, USA, 10 January 2000.
- Oropeza, O. y G. Alfaro. 1994. Marco teórico metodológico de la vulnerabilidad a la desertificación. Memorias del Primer Taller de Estudio de País: México. México ante el cambio climático. Pp. 121-130. INE, U.S. Country Studies Program Support for Climate Change Studies, UNAM. México.
- Ortiz, S. C. y P. Méndez, 2000. En México: Una visión hacia el siglo XXI. El Cambio Climático en México. Gay, Carlos. 2000. UNAM-Semarnap. México. p. 119 – 142.
- Provencio, E. 2006. Desastres: de la gestión de crisis a la reducción de riesgos. Foreign Affairs en Español, Abril-Junio, Vol. 6:2.
- Rodríguez, J. G., 1998. "La organización social de los regantes en el río Nexapa, Estado de Puebla". En: P. Ávila, editor, Agua, Medio Ambiente y Desarrollo en México. Zamora Michoacán, Memoria XX del Coloquio de Antropología e Historia Regionales. El Colegio de Michoacán, A.C., pp 248-258.
- Rodríguez, M. G., 2000. "El Comité de Vigilancia de los ríos Atoyac y Nexapa: formación de una organización". En: J. Palerm y T. Martínez. Antología sobre pequeño riego. Organizaciones autogestivas Volumen II. México, Plaza y Valdés, pp. 345-406.
- Semarnap, 2000. La gestión ambiental en México. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México. 374 pp.
- Semarnat, 2006. Política Ambiental Nacional para el desarrollo sustentable de océanos y costas de México. Estrategias para su conservación y uso sustentable. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 86 pp.
- Semarnat, 2007. Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2007-2012, PNMARN. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 170 pp.
- Segob, 2001. Programa Nacional de Protección Civil 2001-2006. Sistema Nacional de Protección Civil, Secretaría de Gobernación. México. 92 pp.
- Toledo, V. M. y L. Solís, 2001. "Ciencia para los pobres. El Programa Agua para siempre de la región Mixteca", Ciencias vol. 64, pp. 33-39.
- Tudela, F. 2004. Los síndromes de la insustentabilidad del desarrollo. El caso de México. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. CEPAL. Santiago, Chile.
- Wilhite y Glantz 1985. Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. Water International Num. 10. 110-120 pp.



