

# 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.

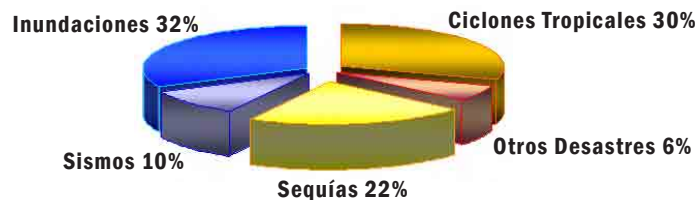


Foto: Brenda Ávila

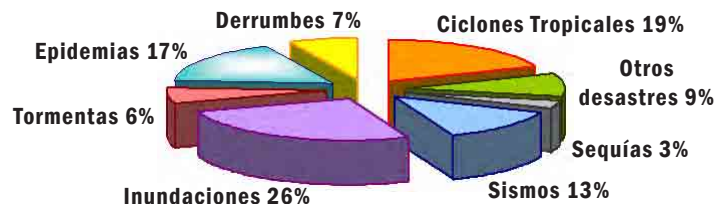
## 1.4 Bases para entender la relación agua-clima

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

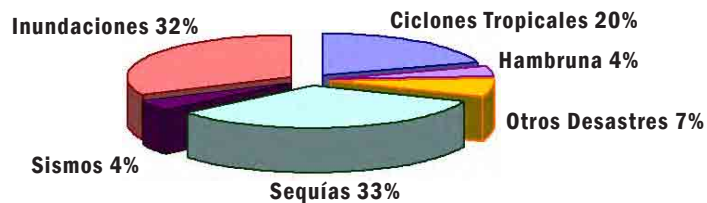
sequía se origina de la deficiencia en la precipitación sobre un período extendido de tiempo, que puede entenderse como una propiedad normal y recurrente del clima, cuyo impacto proviene de la interrelación entre el evento natural y la demanda en el suministro de agua.



**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.

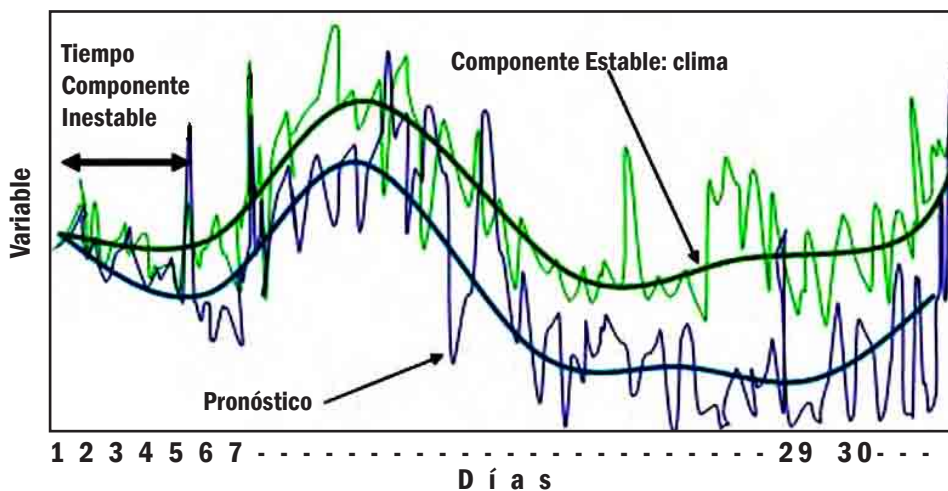
Aunque se relaciona al tiempo con manifestaciones de corto plazo, mientras que al clima se conecta con el largo plazo, Ed Lorenz (1960) propone que “tiempo es lo que se tiene; mientras que clima es lo que se espera”. Implícita en esta observación está la aseveración de que mientras que el tiempo es determinista, 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.

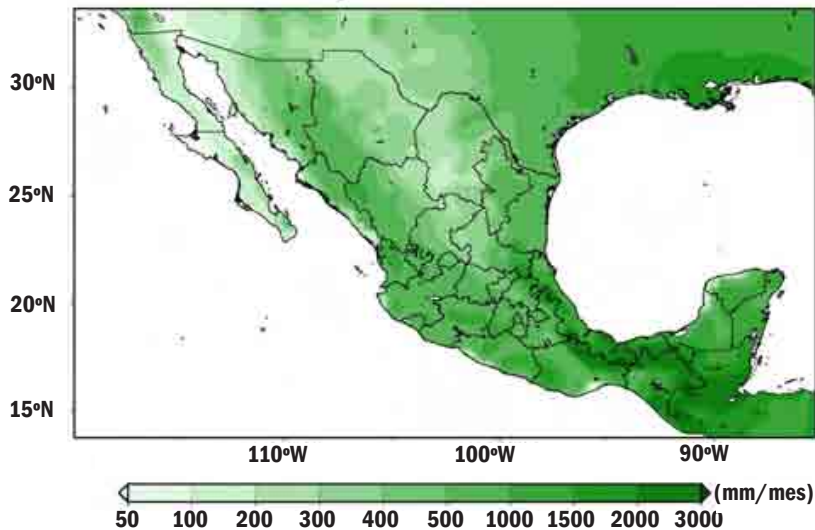
En muchas regiones tropicales y subtropicales existe una temporada de lluvias y una

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

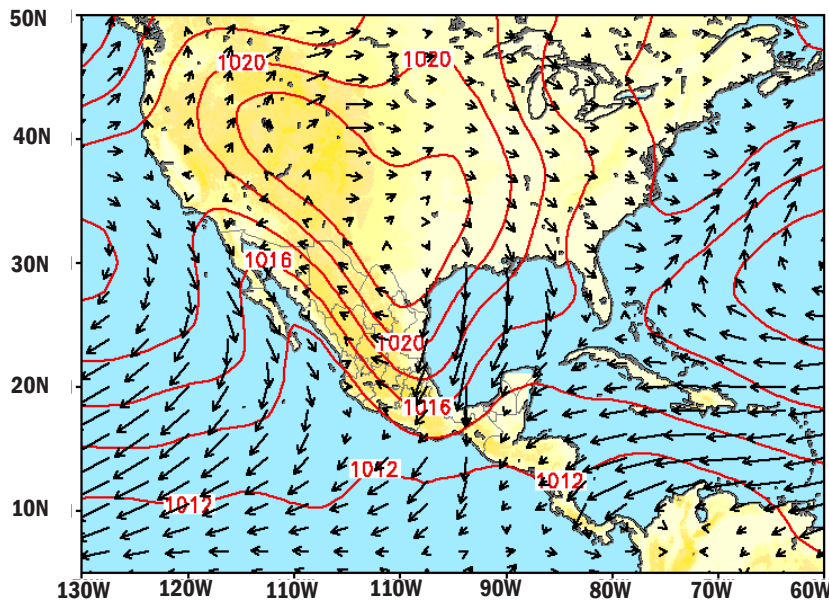


Figura 1.5 Campo de presión y vientos en superficie para un patrón promedio de circulación atmosférica durante un evento de Norte.

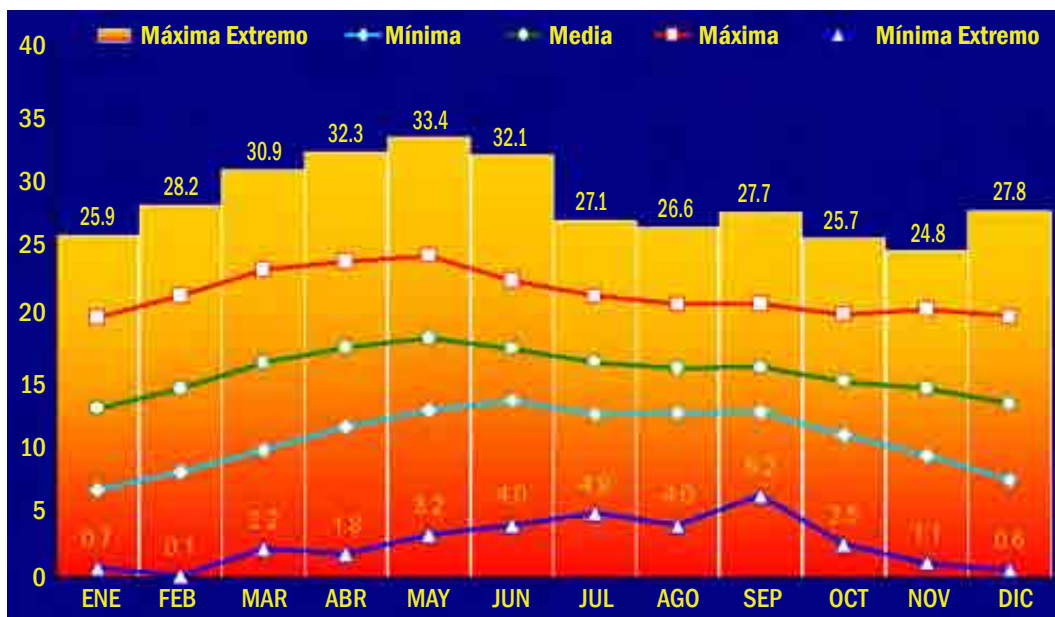
estos sistemas meteorológicos los que constituyen una amenaza, al producir lluvias en invierno en la vertiente del golfo de México.

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

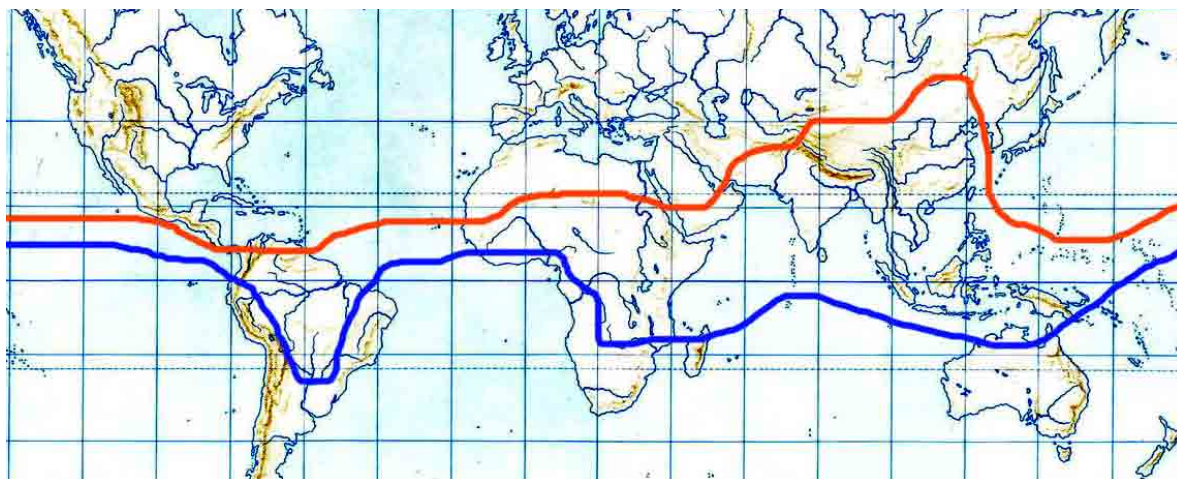


Figura 1.7 Posición de la ZITC en verano (línea roja) e invierno (línea azul).

<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.

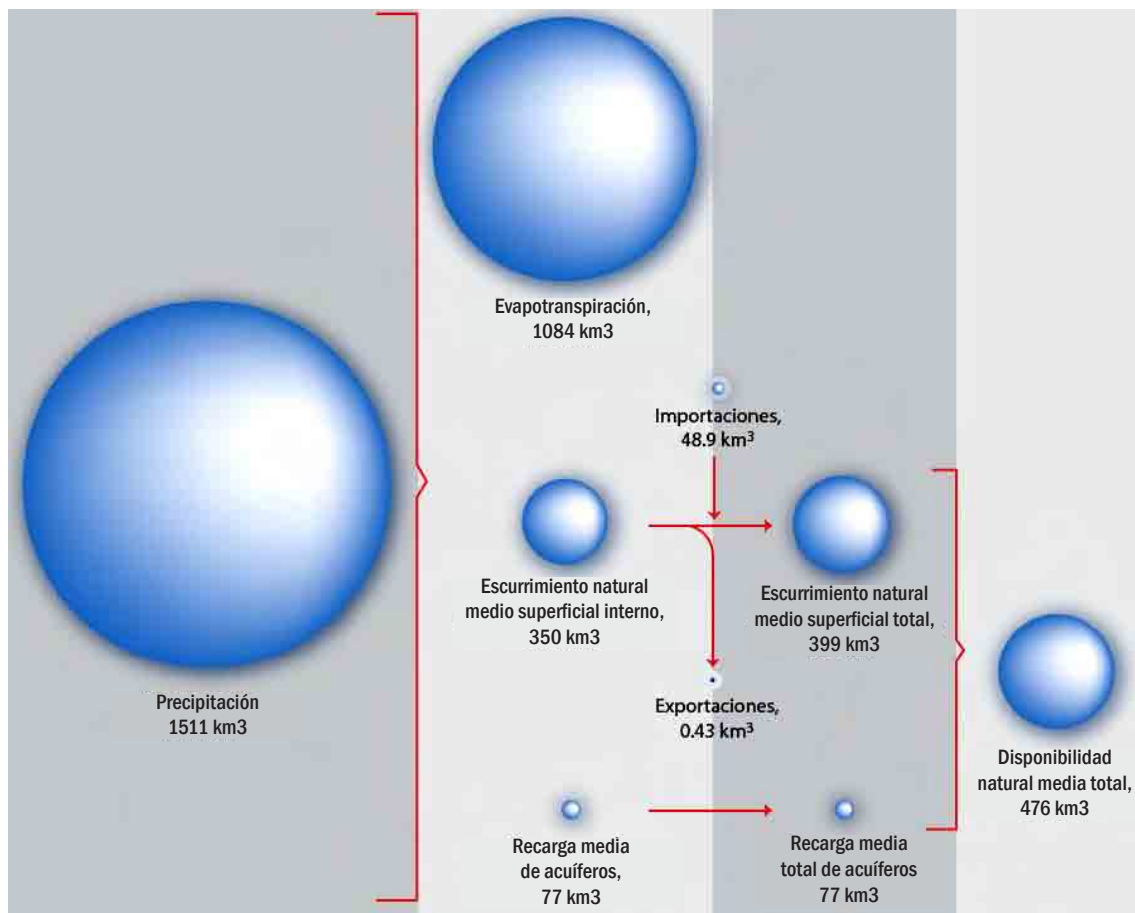
**El ciclo hidrológico.** Los factores que controlan el clima de una región son la latitud, la elevación, la topografía, su proximidad a largas masas de agua y las circulaciones atmosféricas dominantes. Para cualquier fin práctico, los cuatro primeros no varían significativamente con el tiempo. Sin embargo, 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.

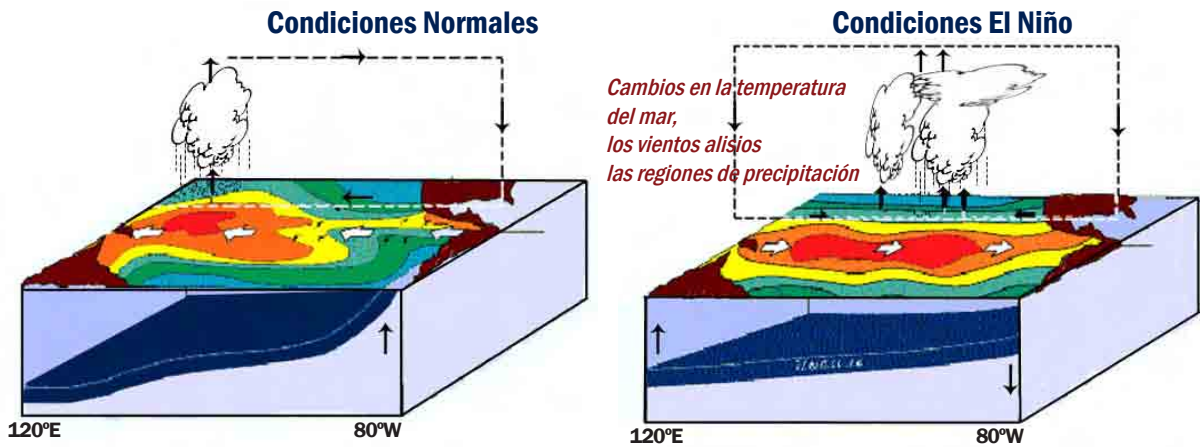


Figura 1.12 Esquema de condiciones normales y condiciones El Niño.  
Fuente: Magaña, 1999.

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-

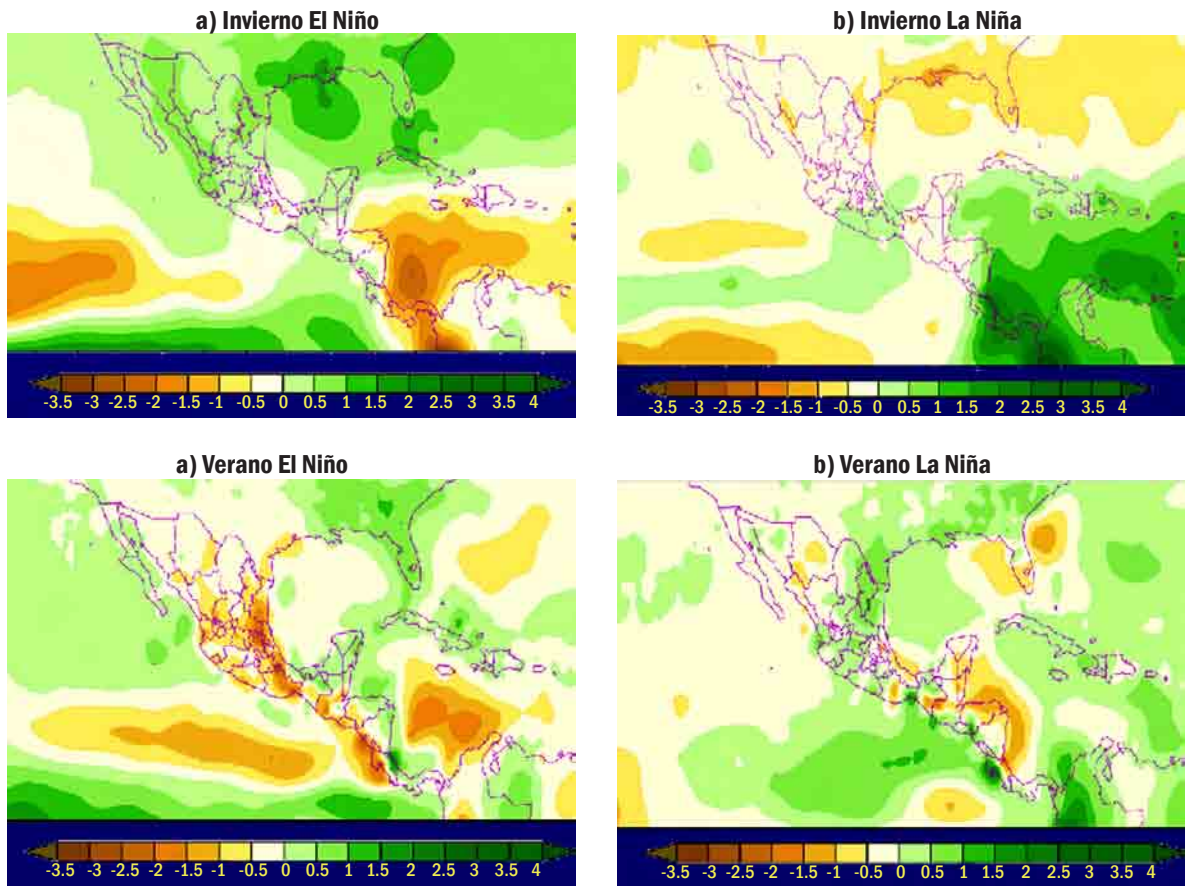


Figura 1.13 Anomalías promedio de precipitación en México. Fuente: Magaña, 1999.

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).

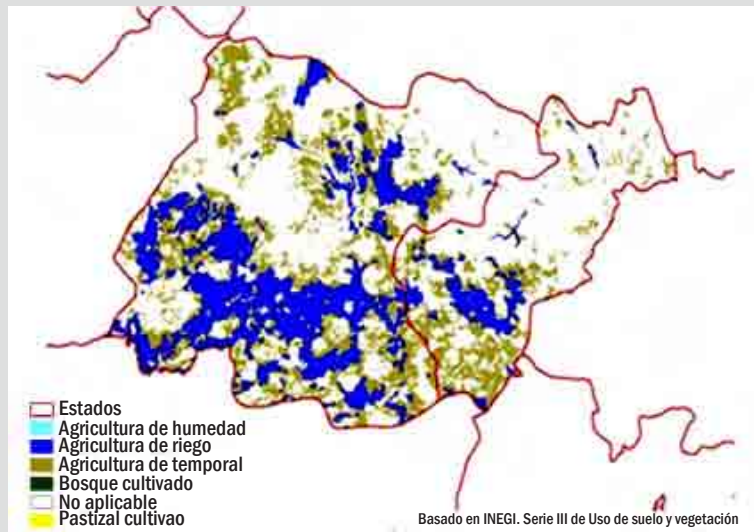
El riesgo climático corresponde a una combinación de la amenaza de clima extremo (fuera de los rangos considerados normales) y la vulnerabilidad que, entre muchos otros factores, se debe a la débil infraestructura para enfrentar los peligros hidrometeorológicos. Se presenta cuando existe la posibilidad 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.



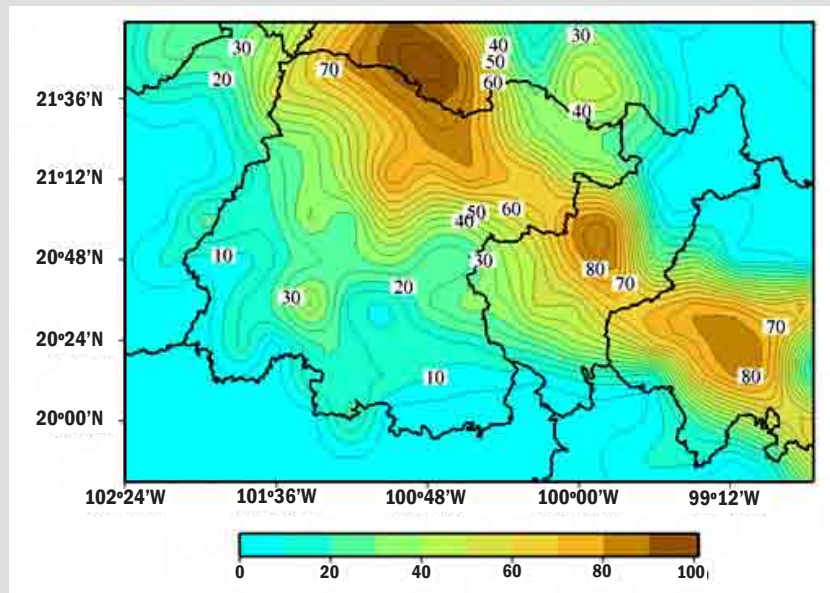


**Zonas de cultivo en Guanajuato y Querétaro. Sombreados azules corresponden a zonas de riego y sombreados grises a zonas de temporal.**

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

