



Cambio climático y SEQUÍAS en México



Víctor Orlando Magaña Rueda y Carolina Neri

Un recuento de los impactos de las recientes sequías experimentadas en el norte de México, indica que los patrones de respuesta a esta condición son casi los mismos que los del siglo pasado. Los costos de la variabilidad del clima son cada vez más altos y la dependencia del sector agrícola hacia las importaciones es cada vez mayor.

Introducción

La necesidad de explicar el origen de desastres como inundaciones, sequías agrícolas, afectaciones a la salud por calor y otros efectos del tiempo y clima en la sociedad y los ecosistemas ha llevado con frecuencia a echar mano del paradigma naturalista. Éste sugiere que los desastres son causados por condiciones “atípicas” del tiempo y el clima, sin reparar en la alta vulnerabilidad de la sociedad y su economía a variaciones en el clima. Bajo el argumento de cambio climático, se tratan de justificar muchos de los desastres que afectan a México, y se crean panoramas sombríos de lo que nos espera para el futuro. Sin embargo, son pocas las ocasiones que se hace un verdadero análisis de las causas del desastre, considerando que éste es resultado de la combinación de una amenaza meteorológica y de una vulnerabilidad construida por la sociedad durante mucho tiempo (IPCC, 2012).

Para poder afirmar que el cambio climático ya comienza a manifestarse en impactos negativos, por ejemplo en México, se debe partir de un entendimiento básico del concepto, lo que requiere saber diferenciar entre *tiempo* y *clima*. Más allá de las definiciones tradicionales, científicamente el interés en el tiempo radica en poder predecir el desarrollo de inestabilidades en la atmósfera, las cuales se manifiestan en nubes de tormenta intensas o incluso en huracanes, por citar ejemplos de relevancia para México.

En contraste, el reto de predecir el clima futuro radica en considerar la evolución del *forzante* (un agente que produce un cambio en el sistema climático; los





forzantes pueden ser internos o externos: los internos operan dentro del sistema; los externos involucran agentes que actúan desde fuera de éste) al plazo para el cual se desee proyectar el clima (Landa y colaboradores, 2008). Así, cuando se trata de pronósticos estacionales del clima, la clave está en proyectar la evolución de la temperatura de la superficie del mar. Incluso para estimaciones del futuro cercano, por ejemplo de décadas, se deben conocer las variaciones de muy largo periodo en el océano Pacífico y en el Atlántico. En el muy largo plazo, adquiere importancia el forzante radiativo dado por variaciones en la concentración de gases de efecto invernadero, y la evolución de las emisiones de éstos será la clave para establecer la magnitud del calentamiento del planeta (IPCC, 2007).

Los avances en nuestro entendimiento de la variabilidad natural del clima están relacionados con la comprensión de los forzantes clave y de cómo funcionan e interactúan los procesos físicos del clima. Por ejemplo, una anomalía de la temperatura del mar, como la que ocurre durante el evento denominado “El Niño”, afecta las lluvias en México y en muchas otras partes del mundo, al alterar las circulaciones atmosféricas y con ello los patrones de lluvias (Ambrizzi y Magaña, 2005). También los cambios en el uso de suelo modifican las condiciones de la temperatura a escala regional o local (Jáuregui y colaboradores, 2000). La concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera altera la temperatura promedio global del planeta (IPCC, 2007). Por ello, explicar las variaciones re-

cientes del clima o proyectar los potenciales impactos del mismo sobre un determinado sector económico o región requerirá que los climatólogos analicen la importancia de cada uno de estos forzantes climáticos.

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), mediante un ejercicio de atribución, determinó que la tendencia de calentamiento promedio global del planeta detectada en el último siglo y medio sólo puede ser explicada cuando se considera el incremento en el forzante radiativo a consecuencia del incremento de los gases de efecto invernadero (IPCC, 2007). Así, el origen del calentamiento está en la actividad humana, y por ello se debe poner énfasis en llegar a un acuerdo para reducir las emisiones. Este resultado es quizá el más importante del IPCC, y se puede pensar que define muchas de las discusiones en materia de acciones frente al cambio climático en el mundo.

En México, sin embargo, se ha optado por atribuir muchos de los problemas ambientales, e incluso algunos socioeconómicos, al cambio climático, sin reparar en la dinámica de la vulnerabilidad o en las causas de la variabilidad natural del clima. Gran parte del trabajo desarrollado por los climatólogos en el mundo ha consistido en detectar señales de tendencia en temperatura o en precipitación, pero es necesario atribuir dichas tendencias de cambio a algún proceso dinámico o físico, que si bien puede ser el calentamiento global, también puede atribuirse a otros forzantes. Aún más, no basta con documentar la tendencia de los valores, pues se debe considerar que la variabilidad es también parte del clima. Los cambios en la actividad de eventos extremos son quizá la forma más clara de cambio climático. Las sequías o periodos anómalamente húmedos forman parte de esa actividad de extremos, y deben ser explicados para poder realizar una atribución de los impactos del clima; es decir, determinar qué forzante es el que regula la tendencia observada.

Incendios en Coahuila

De los desastres ambientales más recientes que ha experimentado México, sobresalen los incendios forestales en Coahuila en la primavera de 2011. Datos de la Comisión Nacional Forestal (Conafor) es-

tablecen que los incendios forestales en los municipios de Múzquiz, Ocampo y Acuña, en el estado de Coahuila, provocaron la pérdida de más de 314 000 hectáreas de vegetación, en su mayoría pastizales inducidos y matorrales, y en menor proporción, pero con gran valor ecológico, los bosques de la reserva Sierra y Cañón de Jimulco. Los costos de los incendios ascendieron a más de 325.5 millones de pesos, sin considerar el valor de las pérdidas de recursos en los ecosistemas afectados.

La magnitud de la amenaza climática, pero también la vulnerabilidad de los sistemas o regiones, se combinan para elevar el riesgo y producir un desastre. Desde el punto de vista climatológico, la sequía se enmarca entre los procesos de variabilidad natural del clima más peligrosos. En México, las sequías tienen aspectos

contrastantes, pues las más intensas y prolongadas (que duran años) en el norte del país tienden a coincidir con periodos húmedos en Mesoamérica. De manera similar, las sequías en Mesoamérica coinciden con periodos húmedos en Aridoamérica (Méndez y Magaña, 2010).

Durante la primavera de 2011 se alcanzaron anomalías de temperatura de alrededor de 5 °C por encima de la media (Figura 1), lo cual no es común. La anomalía de positiva extrema de la temperatura entre marzo y abril de 2011 se extendió por Chihuahua, Durango y Coahuila, así como en partes del estado de Texas. Sin embargo, han existido periodos muy cálidos y relativamente secos durante la historia del planeta, por lo que debe revisarse qué tan “atípicos” fueron estos valores recientes.

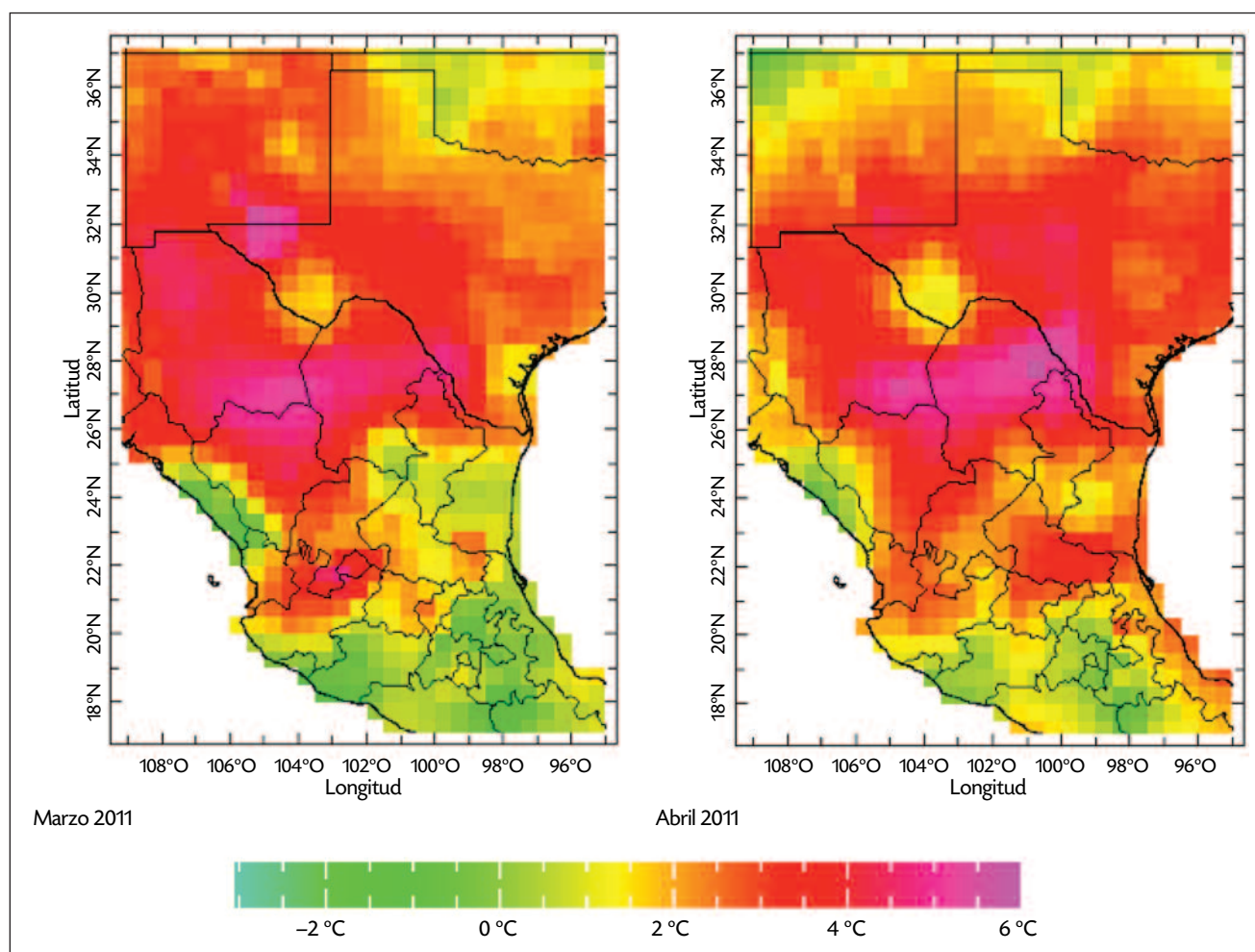


Figura 1. Campo de anomalías de temperatura media mensual (°C) en el norte de México, durante los meses de marzo de 2011 (izquierda) a abril de 2011 (derecha).

Analizando las variaciones mensuales históricas de temperatura media en el norte de México se observa que hay periodos relativamente más fríos que el promedio, y otros más cálidos (Figura 2). Entre 1948 y 1955 parecen dominar los episodios cálidos, pero entre 1960 y 1990 son más frecuentes los periodos relativamente más fríos de lo normal. A partir de principios de los años noventa dominan los periodos más cálidos, alcanzándose incluso valores de anomalías de más de 2 °C en promedio para la región, particularmente entre 2011 y 2012. Existen por tanto variaciones de muy baja frecuencia o de muy largo periodo (dos o tres décadas; Méndez y Magaña, 2010), así como variaciones interanuales (Magaña, 1999). Hay incluso una tendencia de la temperatura a incrementarse desde mediados de los años setenta en poco más de un grado en casi sesenta años. En otras palabras, a las variaciones naturales hay que agregar una tendencia de aumento en la temperatura posiblemente asociada al calentamiento global del planeta, y por ello el periodo cálido más

reciente resultó más intenso que el de mediados del siglo XX.

Algunos estudios muestran que las temperaturas anómalamente elevadas son las que más estrés hídrico causan en la vegetación (Ichii y colaboradores, 2002). Esto aconteció en el norte de México en la primavera de 2011, particularmente en el estado de Coahuila (Figura 3). Las anomalías de temperatura crearon una situación que favoreció la expansión de los incendios forestales, que fueron un desastre para la región. Sin embargo, no sólo se debió a la anomalía climática. A pesar de existir pronósticos climáticos con al menos seis meses de anticipación, que advertían de una condición de temperatura muy por encima de lo normal, no se tomaron medidas de prevención para disminuir la magnitud de los incendios. Este tipo de inacción ante la información climática es exactamente una de las condiciones que genera vulnerabilidad y que no permite a México pasar de la respuesta a la emergencia y el desastre, a una de prevención del mismo.

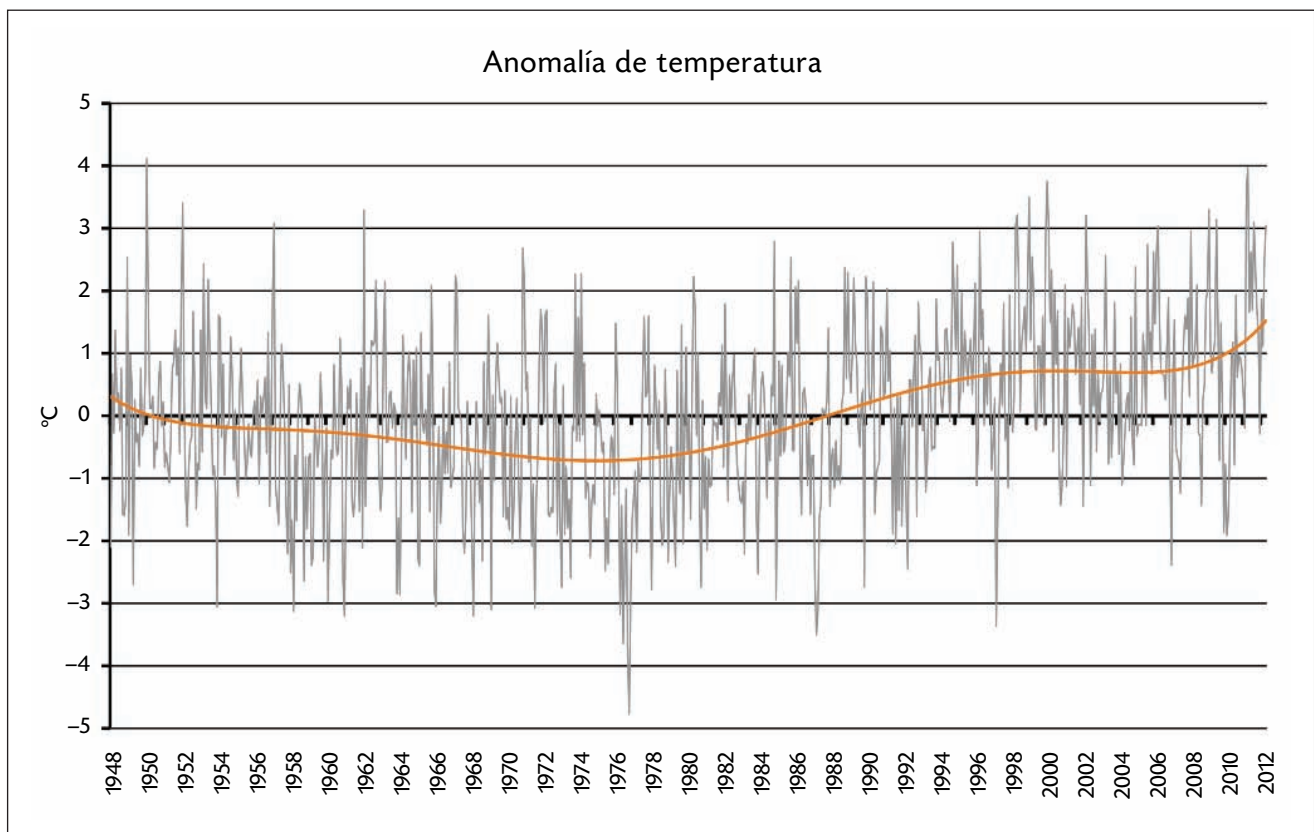


Figura 2. Anomalías mensuales de temperatura (°C) en el norte de México entre 1948 y 2012. La curva naranja corresponde a un ajuste polinomial de la serie de grado seis.

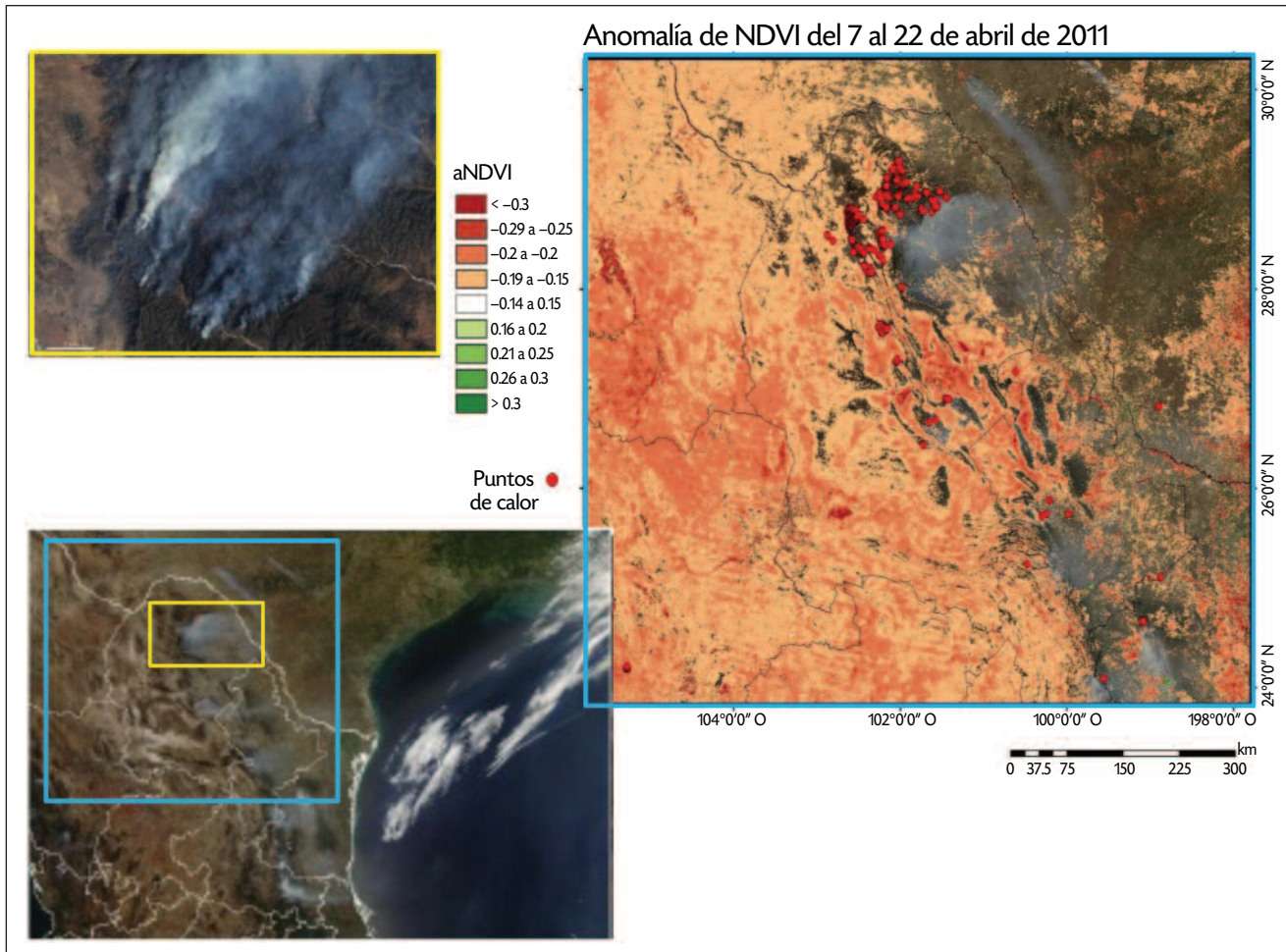


Figura 3. Anomalía de NDVI entre el 7 y el 22 de abril de 2011 (derecha) e imágenes de incendios forestales del 27 de abril de 2011 (izquierda). Los cuadros de color corresponden a las zonas consideradas.

Sequía de final del siglo xx y principio del xxi

Cuando se habla de sequías se debe diferenciar entre las de tipo meteorológico, hidrológico, agrícola o social. La primera corresponde a un déficit de lluvia, mientras que las demás, si bien pueden ocurrir aun sin que haya sequía meteorológica, involucran un cierto grado de manejo del agua.

La sequía meteorológica es un fenómeno natural y recurrente, y no debe confundirse con la aridez. La sequía más reciente en el norte de México fue meteorológica, hidrológica, agrícola e incluso social. Su severidad debe medirse en términos de anomalías de precipitación, y no de sus impactos (por ejemplo, fotografías de vacas muertas), pues éstos son resultado de la vulnerabilidad.

El *índice estandarizado de precipitación* (SPI, por sus siglas en inglés) se usa frecuentemente para caracterizar la sequía, por ser simple de estimar y por su flexibilidad para el estudio de la precipitación en varias escalas temporales. El SPI se calcula ajustando la distribución de frecuencia de la precipitación de un sitio dado en la escala de tiempo de interés, con una función teórica de densidad de probabilidad. El valor del SPI se refiere únicamente al nivel de precipitación registrado con respecto a un periodo histórico. Para cualquier escala temporal, un periodo seco comienza cuando el SPI se hace negativo, y finaliza cuando se torna positivo. En caso de que el SPI sea continuamente negativo y alcance el valor de -1 o menor, se considera que la deficiencia de lluvia es suficientemente importante como para catalogarse como una “sequía meteorológica”,

que también puede alcanzar distintos grados de severidad (Tabla 1), en diferentes escalas temporales.

Tabla 1. Niveles de sequía a partir del índice estandarizado de precipitación (SPI)

| Valor SPI | Clasificación del SPI (categoría) |
|---------------|-----------------------------------|
| 2.00 o mayor | Extremadamente húmedo |
| 1.50 a 1.99 | Muy húmedo |
| 1.00 a 1.49 | Moderadamente húmedo |
| 0 a 0.99 | Ligeramente húmedo |
| 0 a -0.99 | Ligeramente seco |
| -1.00 a -1.49 | Moderadamente seco |
| -1.50 a -1.99 | Muy seco |
| -2.00 o menor | Extremadamente seco |

Un análisis del SPI-24 (que usa la información de 24 meses) muestra las características de las sequías prolongadas en el norte de México y su nivel de severidad (Figura 4). Entre 1900 y 1920 se experimentaron sequías recurrentes en el norte de México con diversos impactos en la agricultura. En particular, después de 1915 la sequía fue extremadamente severa. El siguiente periodo de sequía prolongada e intensa en la región ocurrió entre 1950 y 1960, y es quizá una de las más recordadas en el país.

A finales del siglo XX ocurre un periodo de sequía que ocasionó problemas a México para cumplir con los

acuerdos del agua transfronteriza con Estados Unidos, condición que mejoró entre 2006 y 2010, luego de que las lluvias se recuperaron. México incluso cumplió sus compromisos de agua con Estados Unidos por adelantado. Sin embargo, entre 2011 y lo que va de 2012 la sequía ha alcanzado gran severidad, con valores de SPI cercanos a -2.5 . Las consecuencias para la región en materia de sequía agrícola han sido devastadoras, y han generado costos muy elevados a la economía nacional.

El déficit de precipitación en el norte de México comienza en realidad en la segunda mitad de 2010, y continúa hasta nuestros días. La ausencia de nubes permite una mayor entrada de nubosidad, y con ello se alcanzan temperaturas muy elevadas entre primavera y verano. Una comparación entre SPI-24 y la temperatura media en el norte de México para la segunda mitad del siglo XX muestra que los periodos secos y cálidos se presentan en forma recurrente, pero que durante el más reciente la anomalía positiva en temperatura y negativa en precipitación son de mayor magnitud que en el pasado. El reto para los climatólogos está en explicar el origen de eventos de sequía como los registrados en años recientes. Un diagnóstico adecuado de las causas de la sequía puede ayudar a distinguir en qué medida es natural y cuánto afecta el calentamiento global de origen antrópico (causado por el ser humano).

La variabilidad natural de largo plazo del clima, y en particular de las lluvias, es modulada por forzantes

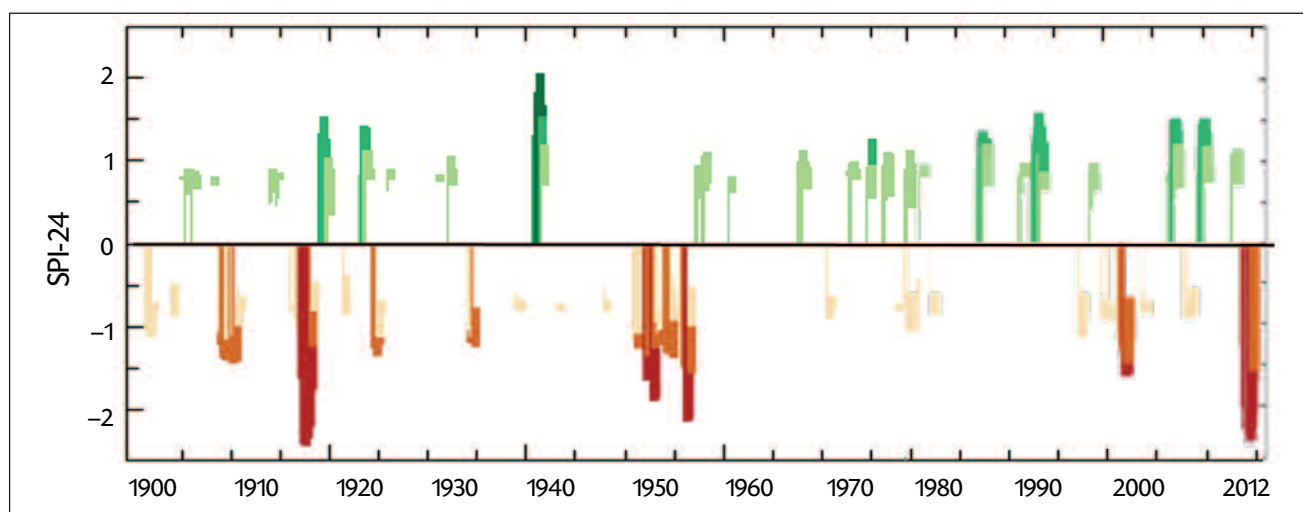


Figura 4. Índice de Precipitación Estandarizado (SPI-24) sobre la región del norte de México entre 1900 y 2012.

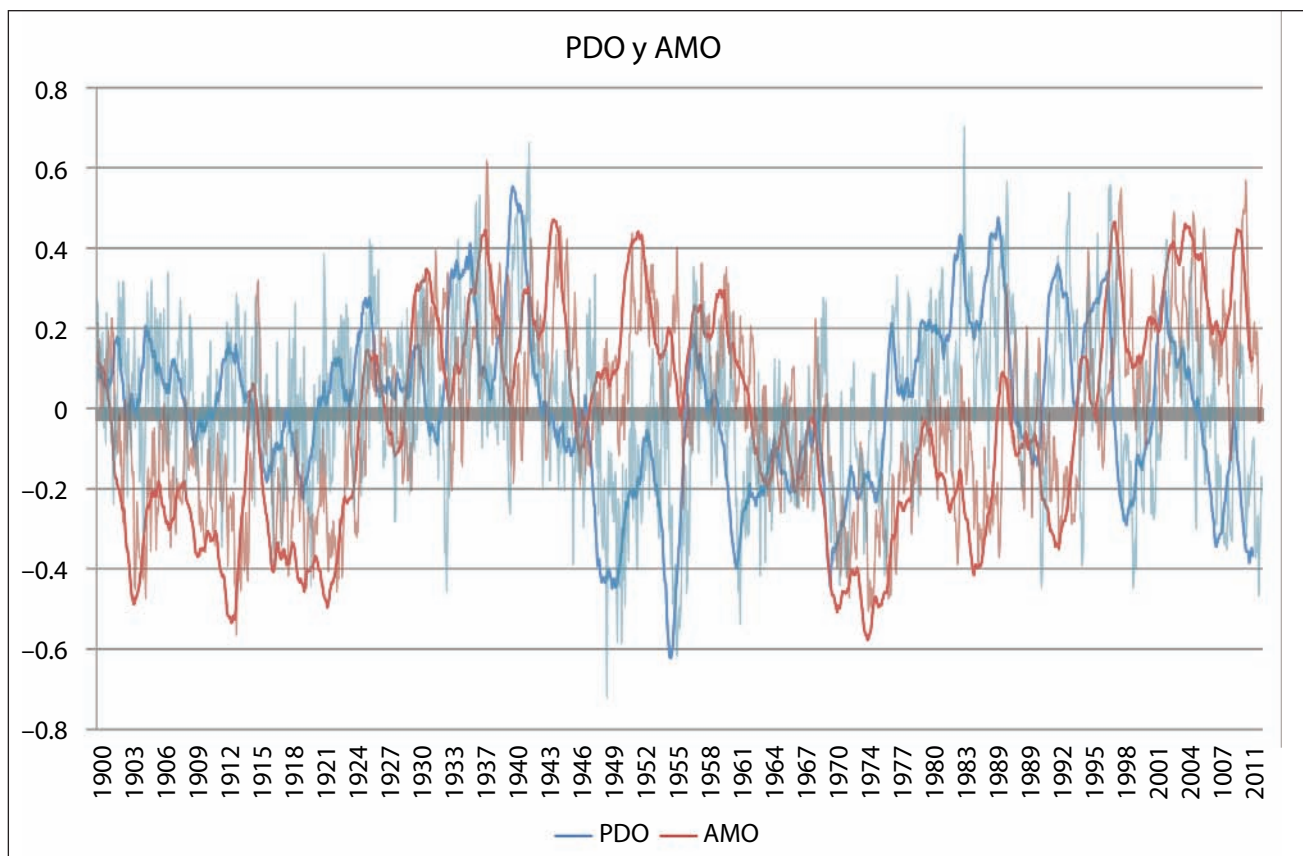


Figura 5. Índices de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDA) y la Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO). Líneas gruesas son una versión suavizada de los valores mensuales (líneas delgadas).

de diversos tipos; pero en escala de décadas, la temperatura de la superficie del mar juega un papel determinante sobre las circulaciones atmosféricas y el flujo de humedad que llega al continente. Estudios recientes han establecido que la variabilidad interdecadal de la temperatura de superficie del mar corresponde a la llamada Oscilación Decadal del Pacífico y a la Oscilación Multidecadal del Atlántico (PDO y AMO, respectivamente, por sus siglas en inglés). La combinación de episodios preferentemente cálidos o fríos en cada una de estas cuencas oceánicas puede alterar los flujos de humedad y las circulaciones atmosféricas dominantes sobre Norteamérica, y con ello producir sequías o periodos de lluvias por encima de la media.

En el norte de México, la fase positiva de la AMO, combinada con la fase negativa del PDO, hacen más probable que ocurra una sequía meteorológica prolongada. Por ejemplo, en los años cincuenta, cuando ocurrió la sequía más prolongada y severa en el norte de

México en el siglo XX, la PDO tuvo valores negativos, igual que la AMO (Figura 5). La condición se repite a finales del siglo XX y entre 2008 y 2011, con un pequeño lapso de disminución de la magnitud de la AMO y la PDO en el 2010. La situación contraria se presentó alrededor de 1940, y en los años ochenta y noventa, con lluvias en el norte del país por encima de lo normal.

La relación entre la temperatura de la superficie del mar y el déficit de precipitación, o dicho de otra forma, entre la AMO, la PDO y las lluvias en el norte de México, permite estimar cuándo se está entrando o saliendo de una sequía meteorológica en el norte de México. Esta condición cambia el paradigma que sugería que “no sabemos cuándo inicia la sequía, cuánto dura ni cuándo termina”.

Entender la evolución de la AMO y la PDO permitirá establecer si las probabilidades de entrar o salir de la sequía aumentan o disminuyen, lo que llevará a planear mejor las actividades altamente vulnerables a la

sequía, como la agricultura o la ganadería. Aún más: estimando los periodos de las oscilaciones AMO y PDO, y suponiendo cierta regularidad en su ocurrencia en las décadas por venir, es factible generar escenarios de las condiciones dominantes en el ciclo hidrológico a nivel regional a 20 o 30 años. Finalmente, dichas formas de variabilidad se podrán combinar con las tendencias de calentamiento del planeta para generar mejores predicciones del clima futuro que, en combinación con proyecciones de vulnerabilidad, permitan acciones de adaptación para una mejor gestión del agua o de otras actividades socioeconómicas.

Conclusiones

Después de varios años de iniciativas por parte del sector académico y de las instituciones oficiales para establecer programas que lleven a reducir los impactos de los eventos hidrometeorológicos extremos, aún no se realizan acciones previas a un evento climático extremo, como la sequía, a partir de un pronóstico o diagnóstico climático.

Los costos de la sequía en México crecen exponencialmente, al igual que sus impactos negativos en la sociedad. Un manejo adecuado del agua debe incluir la comprensión de los factores que regulan el clima a nivel regional, particularmente cuando se trata del ciclo hidrológico.

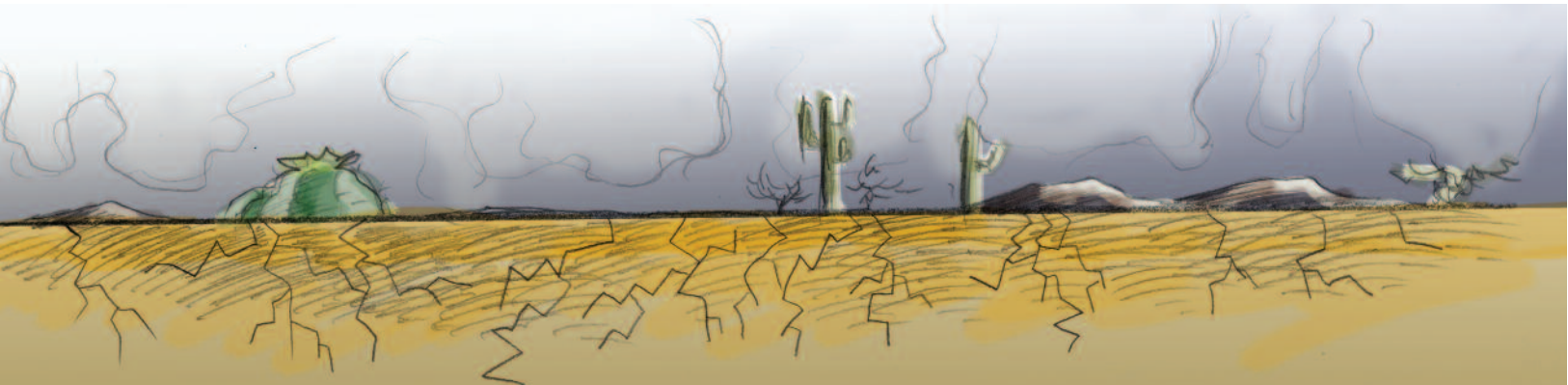
Diferenciar sequía y aridez, y reconocer que la primera es parte de la variabilidad natural del clima, son elementos básicos para poder analizar los impactos de esta condición. Un recuento de los impactos de las sequías recientes experimentadas en el norte de México indica que los patrones de respuesta a esta condición son casi los mismos con respecto a los del siglo pasado. Se puede pasar así de los primeros diagnósticos de la condición de sequía a la movilización y reclamos de

apoyo por diversos grupos, principalmente de agricultores y ganaderos, y la respuesta del gobierno con algunos apoyos económicos para paliar la situación de emergencia, sin necesariamente entrar en un proceso de reconstrucción de menor vulnerabilidad a la sequía, lo cual dejaría a gran parte de la población en una situación similar o peor de la que estaba hasta antes del fenómeno.

El sector agropecuario debe convertirse en un tema prioritario, ya que los costos de la variabilidad del clima son cada vez más altos, y la dependencia del sector agrícola hacia las importaciones es cada vez mayor. Tal fue el caso de la reciente sequía, donde el gobierno distribuyó más de 33 000 millones de pesos, a los cuales habrá que sumar el monto ejercido por el Fondo de Desastres Naturales (Fonden) y el Componente de Atención a Desastres Naturales en el Sector Agropecuario (CADENA). Todos estos esfuerzos se enfocaron más en la mitigación que en la prevención de los efectos de la sequía. Si bien es cierto que se reconoce que se debe contar con mejor información climática para apoyar la toma de decisiones, es necesario comenzar a abordar el problema desde la visión de gestión del riesgo.

A nivel gubernamental, se subestima la capacidad institucional y social para enfrentar los impactos de la sequía. Dicha capacidad está integrada por un conjunto de estrategias preventivas desarrolladas y adoptadas por la sociedad y el gobierno, lo que permitiría paulatinamente transitar al desarrollo de una sociedad mejor preparada y adaptada a las condiciones variantes del clima.

Cambiar el paradigma actual de gestión del agua podría considerar una disponibilidad superior a la que hay bajo condiciones de sequía. Cualquier oferta de entrega de agua por encima de este valor en una cuenca debe ser eliminada, para iniciar un proyecto de ma-



nejo sustentable del recurso. Como se dice coloquialmente: “debemos vivir con los intereses (agua por encima de la sequía) y dejar intacto el capital (recurso agua base bajo sequía)”.

Los retos de las condiciones climáticas adversas en el futuro cercano persistirán, y posiblemente se verán magnificados por el proceso de calentamiento del planeta. Aunque aún hay muchas incertidumbres sobre cómo serán las anomalías climáticas resultado de un forzante radiativo incrementado, se sabe lo suficiente como para afirmar que la región norte del país debe prepararse a sequías más prolongadas e intensas. Es probable que en dos o tres décadas esta región de México vuelva a enfrentarse a sequías prolongadas de gran magnitud, y se debe trabajar para construir una sociedad menos vulnerable. El mejor momento para trabajar en la prevención de los impactos de la sequía es cuando esta condición no existe.

Víctor Orlando Magaña Rueda es licenciado en física por la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México y tiene el doctorado en ciencias atmosféricas por la Universidad de California, Los Ángeles. Es investigador del Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y miembro del Sistema Nacional de Investigadores.
victormr@unam.mx

Carolina Neri estudió geografía y posteriormente hizo el posgrado en Ciencias de la Tierra en la UNAM. Actualmente trabaja el tema de sistemas de alerta temprana para sequías, como parte de sus estudios de doctorado en la misma institución. Se ha dedicado al estudio y desarrollo de la climatología en México, así como al uso y aplicación de la información meteorológica y climática.
caro.neri@gmail.com



Lecturas recomendadas

- Ambrizzi, T. y R. V. O. Magaña (2005), “Climate variability in the tropical and subtropical Americas and El Niño/Southern Oscillation”, *Atmosfera*, 18:211-235.
- Ichii, K., A. Kawabata y Y. Yamaguchi (2002), “Global correlation analysis for NDVI and climatic variables and NDVI trends: 1982–1990”, *Int. J. Remote Sensing*, 23(18):3873-3878.
- IPCC (2007), *Informe del grupo de trabajo I-base de las ciencias físicas*, Nueva York, Cambridge University Press.
- IPCC (2012), *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. A special report of working groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Nueva York, Cambridge University Press.
- Jáuregui Ostos, E. (2000), *El clima de la Ciudad de México*, México, Plaza y Valdés.
- Landa, R., V. Magaña y C. Neri (2008), *Agua y clima: elementos para la adaptación al cambio climático*, México, Semarnat/UNAM.
- Magaña, V. O. (editor, 1999), *Los impactos de El Niño en México*, México, Dirección General de Protección Civil, Secretaría de Gobernación.
- Méndez, J. M. y V. Magaña (2010), “Regional aspects of prolonged meteorological droughts over Mexico and Central America”, *Journal of climate*, 23(5):1175-1188.