

EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN MÉXICO

• Polioptro F. Martínez-Austria • Carlos Patiño-Gómez •
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Resumen

El clima y el ciclo hidrológico están estrechamente vinculados; de tal suerte que el incremento de temperatura y la variación en la precipitación esperados en los escenarios más probables de cambio climático tendrá un impacto importante en la disponibilidad de los recursos hídricos del mundo en general y de México en particular. Las variaciones de temperatura, nivel del mar y deshielo observadas y registradas en las últimas décadas en el hemisferio norte, y en particular en el trópico de cáncer, en el que se ubica México, confirman su alta vulnerabilidad ante el cambio climático. En general, en latitudes medianas y zonas subtropicales se prevén importantes disminuciones en la precipitación y por ende en el escurrimiento, lo que ocasionará escasez y presión sobre los recursos hídricos en tales regiones. Estas condiciones se están registrando ya en algunas de las principales cuencas hidrológicas de México y, de no adoptarse medidas de adaptación, estará en riesgo la suficiencia alimentaria del país. Por otra parte, se esperan lluvias más intensas y eventos extremos, que incrementarán la vulnerabilidad de algunas cuencas del sureste que ya registran problemas de inundaciones. Para lidiar con estos y otros efectos del cambio climático en el territorio mexicano, se requiere de mejores modelos basados en escenarios de cambio climático, y diseñar y priorizar acciones de adaptación en las regiones hidrológicas más vulnerables.

Palabras clave: cambio climático, calentamiento global, disponibilidad de los recursos hídricos, escenarios de emisiones A1B y A2.

El cambio climático

Una de las mayores preocupaciones de la sociedad en relación con el cambio climático se refiere a sus posibles efectos en los recursos hídricos. De hecho, el clima y el ciclo hidrológico están tan íntimamente relacionados que es difícil definir las fronteras entre ellos; el clima depende de variables relevantes del ciclo hidrológico, tales como la humedad ambiente y la precipitación. Adicionalmente, el sistema climático y el ciclo hidrológico están vinculados estrechamente con los océanos, como lo demuestra, entre otros, el fenómeno de El Niño (Voituriez y Jacques, 2000). Por supuesto, la dinámica de los océanos también registrará cambios importantes por efecto del calentamiento global, mismos que interactuarán con el sistema climático global.

Así, el incremento de temperatura esperado en los escenarios más probables de cambio climático tendrá importantes repercusiones en el ciclo hidrológico, global y local, y por consiguiente, en la disponibilidad de los recursos hídricos en las zonas más vulnerables de México.

Como establece claramente el más reciente informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés): “el calentamiento del sistema climático es inequívoco, como evidencian ya los aumentos observados del promedio mundial de la temperatura del aire y del océano, el deshielo generalizado de nieves y hielos, y el aumento del promedio mundial del nivel del mar” (IPCC, 2007).

Los efectos del calentamiento global se están observando ya con mayor o menor intensidad

en distintas regiones del mundo y han sido registrados con rigor científico. En la figura 1 se muestran las variaciones de temperatura, nivel del mar y deshielo en el hemisferio norte, que es el más afectado y en el que se ubica México (IPCC, 2007). Como puede observarse, el incremento de temperatura es especialmente importante a partir de la década de los setenta. En México se observa ese mismo patrón de incremento de la temperatura, si bien con valores mayores al promedio mundial, como se muestra en la figura 2 (INE, 2009). Es de notar que la tasa de crecimiento de la temperatura promedio en el país en los últimos veinte años es de 0.3 °C por década, y de 0.72 °C en el último decenio. Estos valores confirman la alta vulnerabilidad de México ante el cambio climático.

En lo que respecta a las variaciones registradas en el nivel del mar, en la figura 3 se pueden observar mediciones reportadas por Ortiz-Figueroa y González-Navarro (2008), que muestran incrementos del nivel del mar en algunos puntos del golfo de México, así como variaciones menores y aun negativas en algunas regiones. Estas diferencias de tendencias en los registros se deben a que al incremento del nivel del mar ocasionado por expansión térmica y deshielo, producto del cambio climático, se oponen o se suman, según la región de que se trate, fenómenos geológicos como la subsidencia por choque de placas tectónicas o la elevación continental por efecto de descarga de sedimentos en los deltas de grandes ríos. Estos fenómenos hacen difícil el pronóstico de elevaciones del nivel del mar para regiones específicas.

Las condiciones futuras del clima dependerán principalmente de la cantidad de emisiones de gases de invernadero en el mundo, particularmente de bióxido de carbono, CO₂. Por esta razón, las predicciones científicas se elaboran en términos de escenarios, cuya concreción en la realidad dependerá de la capacidad de nuestra civilización de controlar sus emisiones de gases de invernadero, así como de la protección de la naturaleza, que

permita, por ejemplo, mantener las regiones boscosas, en las que puede atraparse una parte importante del CO₂ emitido a la atmósfera.

Los escenarios que hoy se consideran más probables son los denominados A1B y A2. El primero describe un mundo caracterizado por un rápido crecimiento económico, una población mundial que alcanza su máximo a mediados del presente siglo, que empieza a declinar a partir de entonces y que adopta tecnologías más eficientes, con un balance en el uso de diferentes fuentes de energía. El segundo se refiere a un mundo venidero, caracterizado por un incremento continuo de la población, aunque con un crecimiento económico mucho menor que en otros escenarios. Este escenario es pesimista en cuanto a que se mantiene un elevado aumento de las emisiones de gases invernadero, en particular de bióxido de carbono.

Los pronósticos de elevación de la temperatura para estos escenarios se muestran en el cuadro 1 (IPCC, 2007). En el escenario A1B (comúnmente denominado "escenario medio"), la temperatura promedio mundial esperada al final del siglo se incrementará en 2.8 °C respecto del promedio del periodo 1980-1990, pero puede llegar a ser 4.4 °C mayor. En el escenario A2, considerado uno de los escenarios más críticos, el incremento esperado será de 3.4 °C, pero puede alcanzar un valor de hasta 5.4 °C. En la medida en que la emisión de gases de invernadero sigue creciendo, inclusive a una tasa cada vez mayor que la esperada, las previsiones pesimistas parecen estar haciéndose realidad. En la figura 4 se muestra la anomalía de temperatura global registrada de 1880 a 2009 (NASA, 2010).

Con respecto a México, los pronósticos de temperatura para diferentes escenarios indican que la temperatura media podría incrementarse 4 °C en promedio al final del presente siglo, respecto del promedio del periodo 1961-1990, y en algunas regiones del norte y noroeste, más de 5 °C, como se muestra en la figura 5 (Montero-Martínez y Pérez-López, 2008). Estos incrementos de temperatura occasionarían

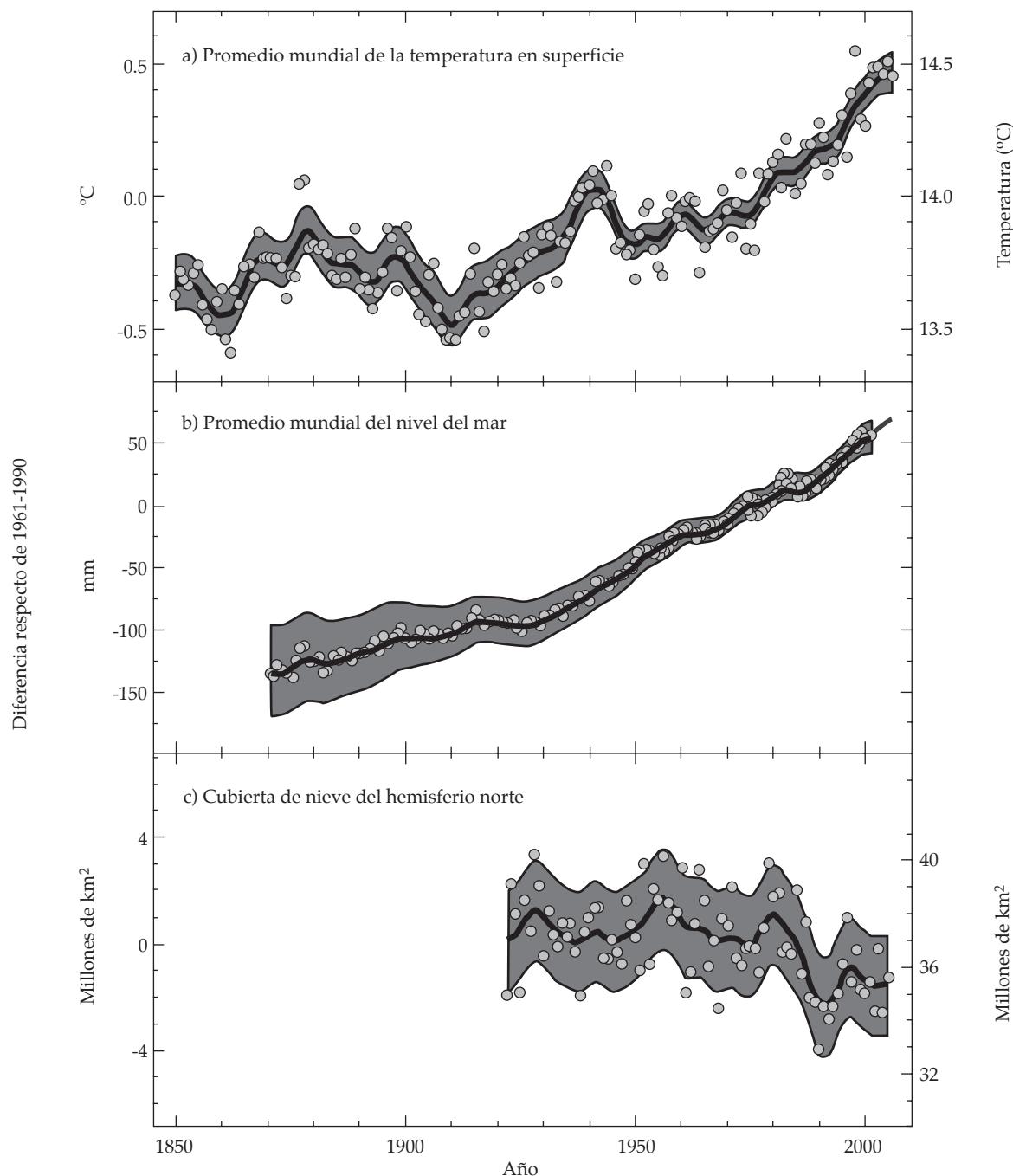


Figura 1. Variación observada de temperatura, nivel del mar y cubierta de nieve en el hemisferio norte (IPCC, 2007).

seguramente una mayor escasez de recursos hídricos en casi todo el país, además de disminuciones de producción por hectárea en numerosos cultivos, que se encontrarían

sujetos a un mayor estrés térmico, pudiendo llegar al punto que algunos cultivos no pudieran ser producidos en algunas zonas del país.

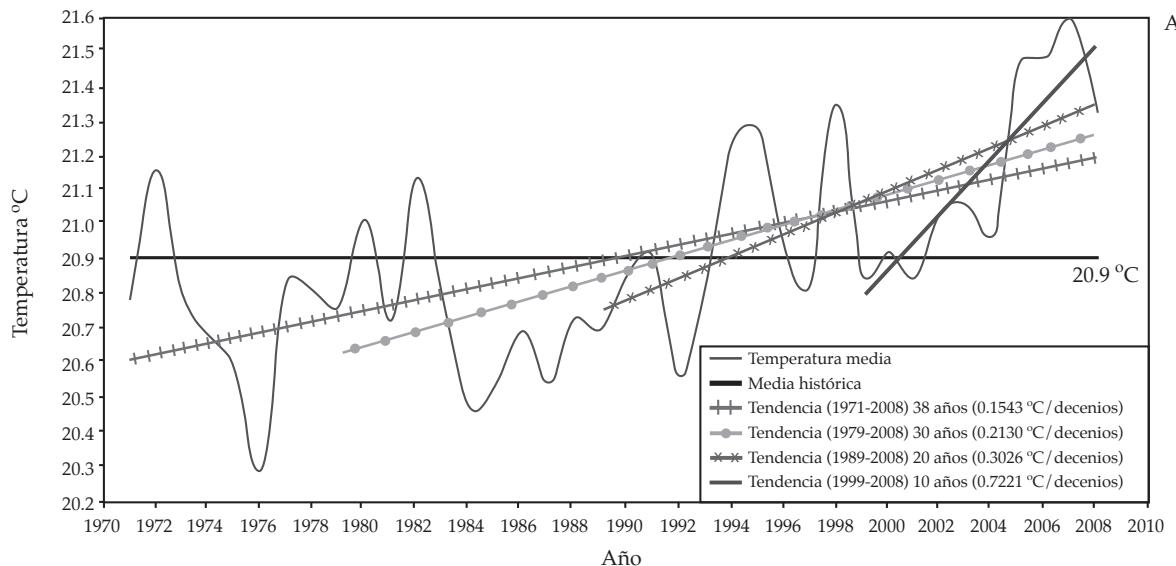


Figura 2. Comportamiento observado de la temperatura media en México (INE, 2009).

Efectos del cambio climático en los recursos hídricos

A escala global se prevé que los efectos del cambio climático en los recursos hídricos serán extensos, pero de diferente signo de una región a otra, conforme a la latitud, altitud y condiciones orográficas. En algunas regiones del planeta ya se registran los primeros síntomas de afectación en los recursos hídricos.

En general, en las latitudes altas se espera un incremento de la precipitación y el escurrimiento, lo que podría incrementar la oferta de agua en esas regiones. En latitudes medias y zonas subtropicales —en las que se ubica el territorio mexicano—, al contrario, se prevén importantes disminuciones en la precipitación y el escurrimiento, lo que ocasionará un incremento en las condiciones de escasez y mayor presión sobre los recursos hídricos en esas regiones. De hecho, ya se han observado disminuciones en la precipitación y en el escurrimiento en latitudes entre 10° S y 30° N, así como, a nivel global, incrementos en el vapor de agua en la atmósfera y cambios

de régimen en las precipitaciones, que han producido lluvias locales de mayor magnitud e intensidad (IPCC, 2008), y en ocasiones fuera de temporada. En la figura 6 se presentan los cambios esperados en la precipitación reportados por el IPCC (2008) en su informe técnico especial sobre agua y cambio climático. Como puede observarse, con respecto al escenario A1B, son de esperar cambios importantes de precipitación en México tanto en invierno como, con mayor intensidad, en verano, que es la época de mayores lluvias en este país.

Un efecto casi seguro del cambio climático será la variación del escurrimiento en cuencas que dependen del deshielo, pudiendo éste disminuir en los períodos requeridos por los usuarios del recurso hídrico. En efecto, está bien documentada una disminución en las capas de hielo continentales, con un incremento en el derretimiento de glaciares en la mayoría de las regiones del planeta, como puede verse en la figura 7 (IPCC, 2008). El impacto en México se registrará principalmente en Baja California, cuya disponibilidad de agua,

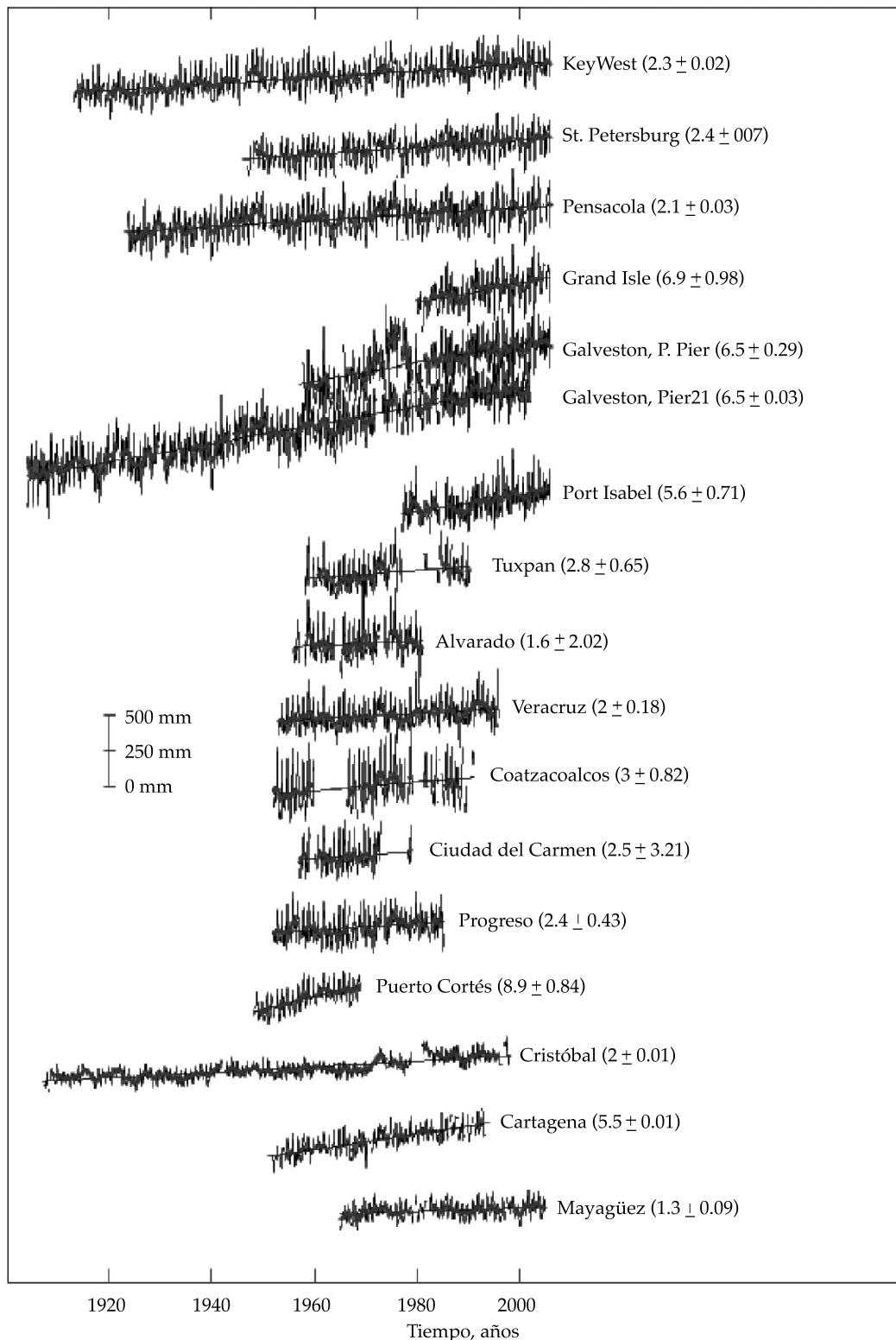


Figura 3. Variación observada en el nivel del mar en el golfo de México y mar Caribe
(Ortiz-Figueroa y González-Navarro, 2008).

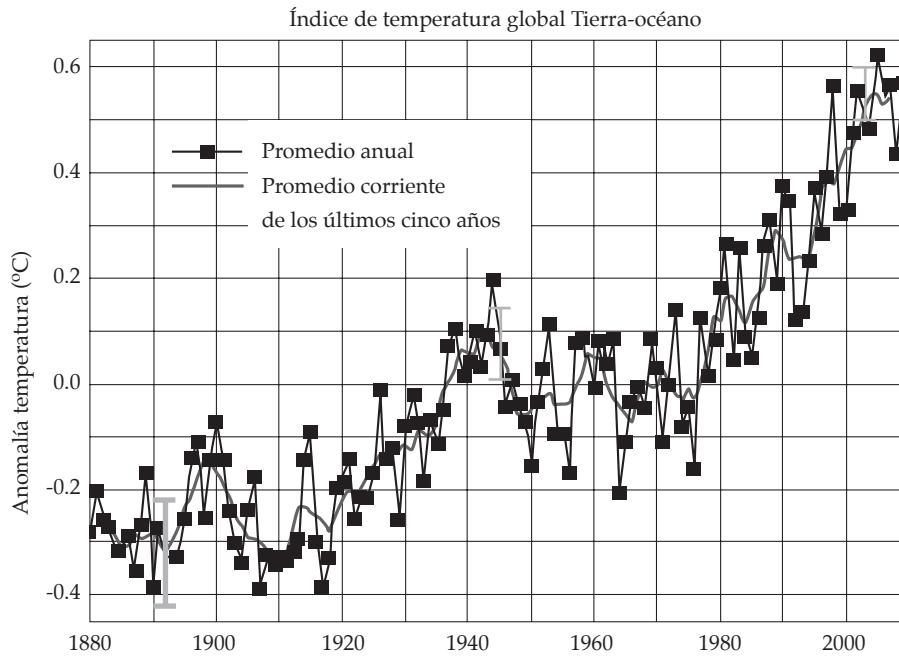


Figura 4. Anomalía de temperatura respecto del periodo 1951-1980. Mediciones tomadas de satélite, estaciones meteorológicas en superficie y barcos (NASA, 2010).

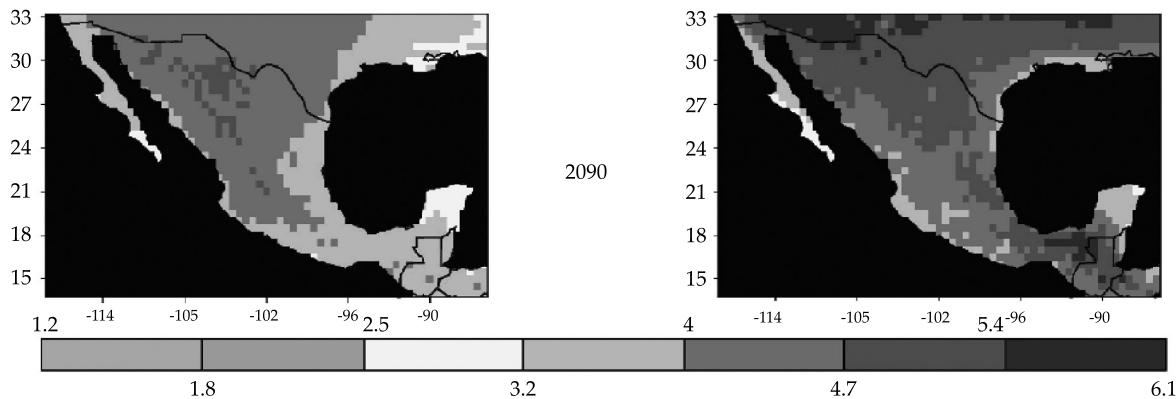


Figura 5. Anomalía de temperatura esperada para la república mexicana en el año 2090, respecto del periodo 1961-1990, en invierno (izquierda) y verano (derecha), según el escenario A2 (Montero-Martínez y Pérez-López, 2008).

conforme al Tratado de Distribución de Aguas con los Estados Unidos de 1944, depende de los flujos del río Colorado, que nace y se alimenta principalmente de la nieve de las montañas rocosas en ese país. La variación esperada

en el escurrimiento hacia finales del presente siglo, reportada por el IPCC (2008), se muestra en la figura 8.

En diversas regiones del mundo, y en varias de México, se registran ya condiciones de

Cuadro 1. Cambios previstos en la temperatura y aumento del nivel del mar, conforme a los diversos escenarios (IPCC, 2007).

Caso	Cambio de temperatura (°C en 2090-2099 respecto de 1980-1999) ^{a,d)}		Aumento del nivel del mar (m en 2090-2099 respecto de 1980-1999)
	Estimación óptima	Intervalo probable	
Concentraciones constantes en los niveles del año 2000 ^{b)}	0.6	0.3-0.9	No disponible
Escenario B1	1.8	1.1-2.9	0.18-0.38
Escenario A1T	2.4	1.4-3.8	0.20-0.45
Escenario B2	2.4	1.4-3.8	0.20-0.43
Escenario A1B	2.8	1.7-4.4	0.21-0.48
Escenario A2	3.4	2.0-5.4	0.23-0.51
Escenario A1F1	4.0	2.4-6.4	0.26-0.59

Notas:

- a) Los valores de temperatura son estimaciones óptimas evaluadas y los intervalos de incertidumbre probables se han obtenido de una jerarquía de modelos de complejidad variable y de limitaciones observacionales.
- b) La composición constante en valores del año 2000 se ha obtenido de modelos de circulación general atmósfera-océano (MCGAO) únicamente.
- c) Todos los escenarios precedentemente indicados son seis escenarios testimoniales IEEE. Las concentraciones aproximadas de dióxido de carbono equivalente correspondientes al forzamiento radiativo computado por efecto de los GEI y aerosoles antropogénicos en 2100 para los escenarios testimoniales ilustrativos B1, A1T, B2, A1B, A2 y A1FI del IEEE son 600, 700, 800, 850, 1 250 y 1 550 ppm, respectivamente.

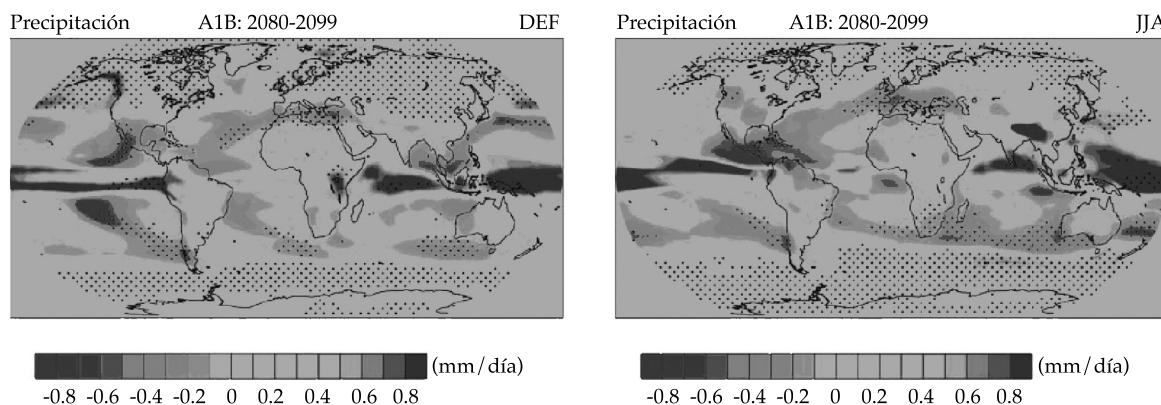


Figura 6. Variación esperada en la precipitación en invierno (izquierda) y verano (derecha) para el escenario A1B, obtenida con 15 modelos, respecto del periodo 1980-1999 (IPCC, 2008).

escasez que se espera se vean incrementadas, aún sin cambio climático, por efecto del crecimiento demográfico esperado, la creciente concentración urbana, la contaminación de cuerpos de agua y la sobreexplotación de los

recursos hídricos, en particular los subterráneos, aunado a una pobre cultura en el cuidado y buen uso del recurso hídrico. A este escenario se deben añadir los efectos del cambio climático, que en México serán mayormente de reduc-

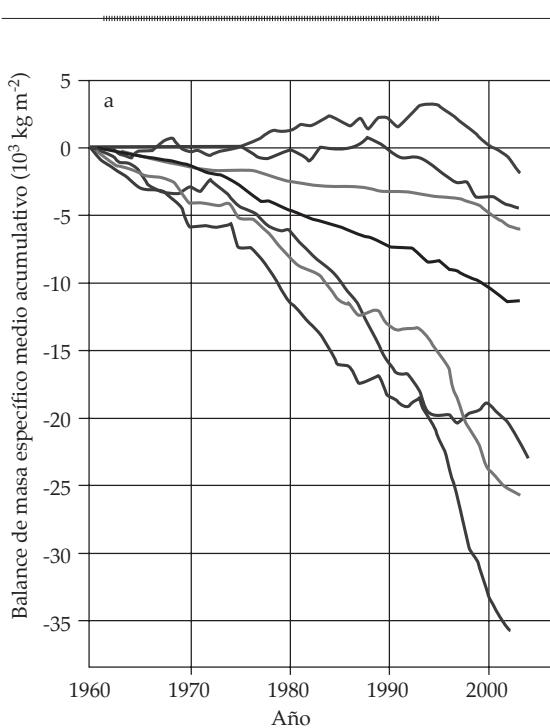


Figura 7. Balance de masa específico medio acumulativo de hielo en glaciares y casquetes polares (suma del total de ganancias y pérdidas de masa de un glaciar en un año hidrológico, dividido entre la masa total en la región) para diversas regiones del mundo (IPCC, 2008).

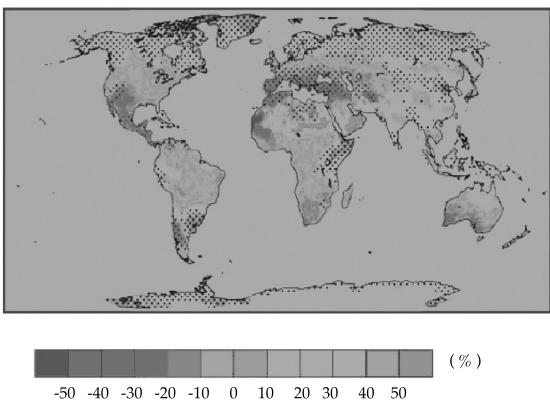


Figura 8. Variación esperada en el escurreimiento, obtenida como el promedio de 15 modelos, para el periodo 2080-2099, respecto del periodo 1980-1999, para el escenario A1B (IPCC, 2008).

ción de la disponibilidad natural de agua, lo que en conjunto plantea retos muy grandes para la gestión del agua y su uso sustentable.

Conforme al grupo especializado del IPCC (2008), en muchas regiones las prácticas actuales de gestión del agua no serán adecuadas o suficientes para enfrentar los retos asociados con el cambio climático. Asimismo, este grupo considera que: "el cambio climático desafía la hipótesis tradicional de que la experiencia hidrológica del pasado es un antecedente adecuado para las condiciones futuras". Esto es, los registros meteorológicos e hidrológicos muy probablemente no podrán continuar empleándose bajo la consideración de que los valores estadísticos del pasado serán representativos del futuro (no es segura la hipótesis estadística de que el proceso es estacionario y ergódico).

Un aspecto de la mayor relevancia para el control de inundaciones es la variación esperada de extremos de precipitación. En este sentido, en un clima más cálido son de esperar eventos de precipitación más intensa, aun en lugares donde la precipitación promedio anual será probablemente menor. En efecto, el promedio anual de precipitación puede incluso disminuir, pero se registrarán lluvias más intensas, lo que naturalmente hará que sea más difícil transitar estos caudales por los actuales cauces. Por ello es fundamental incorporar la variable de cambio climático en el diseño y la construcción de la nueva infraestructura hidráulica, reconsiderando los criterios tradicionales empleados. De hecho, según el informe el IPCC (2008): "se ha observado en todo el mundo un aumento de episodios de precipitación intensa, incluso en lugares en que la cantidad total ha disminuido". Estos eventos extremos serán de los más difíciles de pronosticar en los escenarios futuros de cambio climático, pues tienen un carácter eminentemente local y para su registro se requieren pluviógrafos, no sólo pluviómetros, que son los instrumentos con los que cuentan la mayoría de las estaciones climatológicas en el mundo. Es de esperar

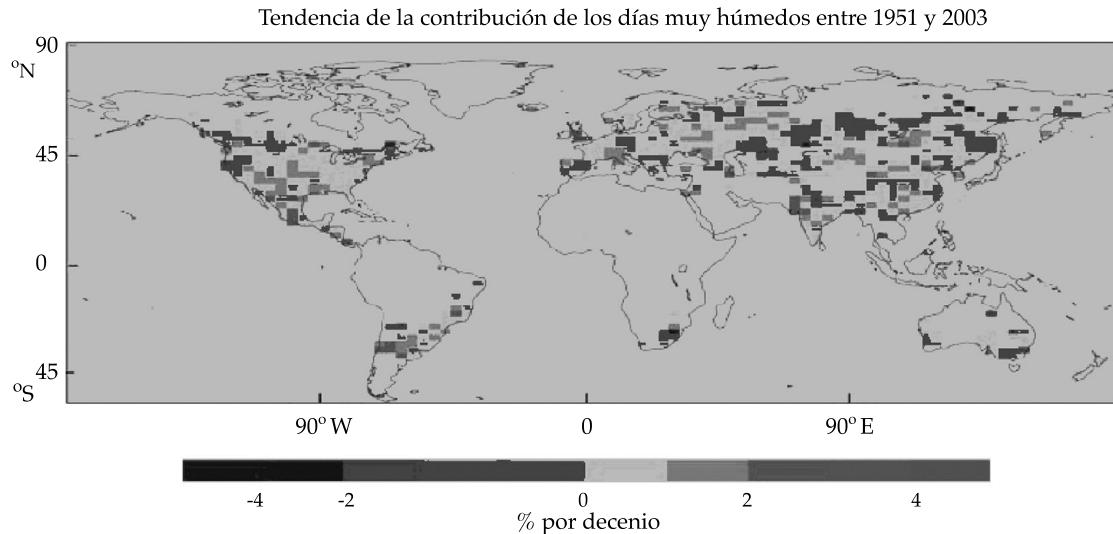


Figura 9. Tendencia observada por decenio (en porcentaje) en el periodo 1951-2003 de la contribución de los días muy húmedos a la precipitación total (percentil 95 en adelante) (IPCC, 2008).

que los impactos del calentamiento global en el escurrimiento se detecten primero en la ocurrencia de estos eventos extremos que en la disponibilidad anual, que de por sí tiene importantes variaciones naturales.

En la figura 9 se presenta el incremento —o decremento— en la contribución de días muy húmedos a la precipitación total, por década. En el caso de México, dicho incremento ha sido entre 1 y 2% por década. Sin duda, este efecto del cambio climático incrementará la vulnerabilidad en cuencas que ya registran problemas de inundaciones, como las del sistema Grijalva-Usumacinta en Chiapas y Tabasco, o el Papaloapan en la planicie costera de Veracruz.

Como se ha dicho anteriormente, la existencia de lluvias más intensas es compatible con el pronóstico de escurrimientos anuales menores. Al respecto, en la figura 10 se presenta la variación registrada, a partir del año 1900, en el índice de sequía de Palmer. En el caso del territorio mexicano, es evidente el incremento en la ocurrencia de sequías, lo que es consistente con las predicciones de disminución de la precipitación y el escurrimiento que, en pro-

medio anual, se espera ocurrirá en el norte del territorio mexicano, principalmente.

Efectos en los recursos hídricos de México

En México, en algunas de sus principales cuencas hidrológicas, se registra ya una condición de escasez conforme a estándares internacionales. En efecto, como se muestra en la figura 11, una amplia región del centro y norte de México presentaba ya en 2005 condiciones de disponibilidad muy baja, y en la cuenca del valle de México, extremadamente baja. Por efecto del crecimiento poblacional, el desarrollo económico regional y la concentración en algunas zonas urbanas, se espera que para el año 2030 varias regiones hidrológicas de importancia y gran extensión se encuentren en condiciones de disponibilidad extremadamente baja, entre ellas la cuenca binacional del río Bravo. Este escenario, sin embargo, aún no incorpora los efectos del cambio climático.

Recientemente se ha incrementado el número de estudios relativos al efecto del cambio climático en los recursos hídricos de

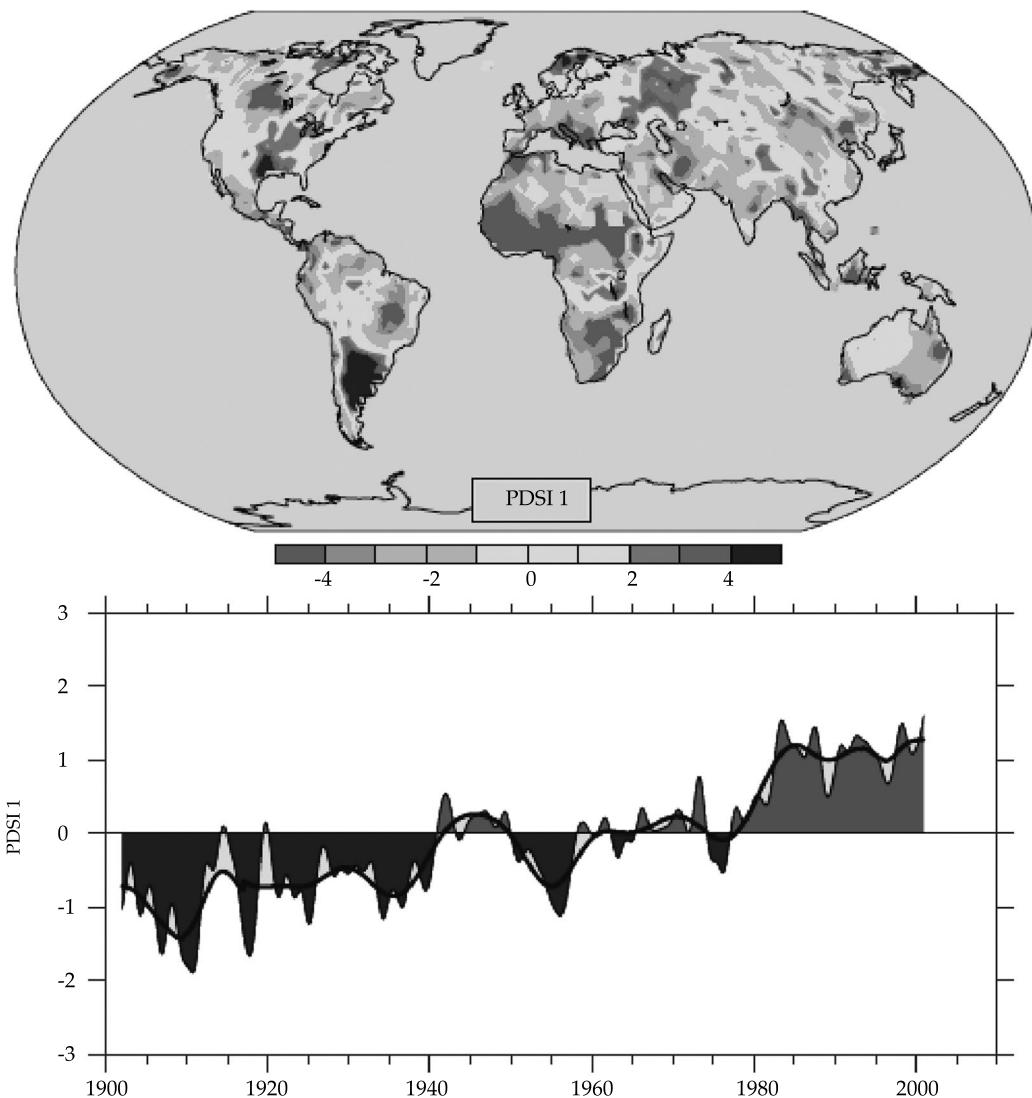


Figura 10. Variación observada, desde 1900, del Índice de Sequía de Palmer (PDSI 1), IPCC (2008).

Méjico (ver Martínez-Austria, 2007; Martínez-Austria y Aguilar-Chávez, 2008). Tras varios años de investigación en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, se publicó el *Atlas de vulnerabilidad hídrica de Méjico ante el cambio climático* (Martínez-Austria y Patiño-Gómez, 2010), en el que se presentan los resultados más recientes en el estado del conocimiento en torno a esta problemática.

Montero-Martínez *et al.* (2010), utilizando un método de regionalización modificado, determinaron la anomalía de temperatura y precipitación esperada, conforme al escenario A2. En la figura 12 se muestra la variación de la temperatura media anual que en el país alcanzará 3.5 °C más en el periodo 2061-2090, respecto del promedio registrado en 1961-1990. Sin embargo, las variaciones entre una región

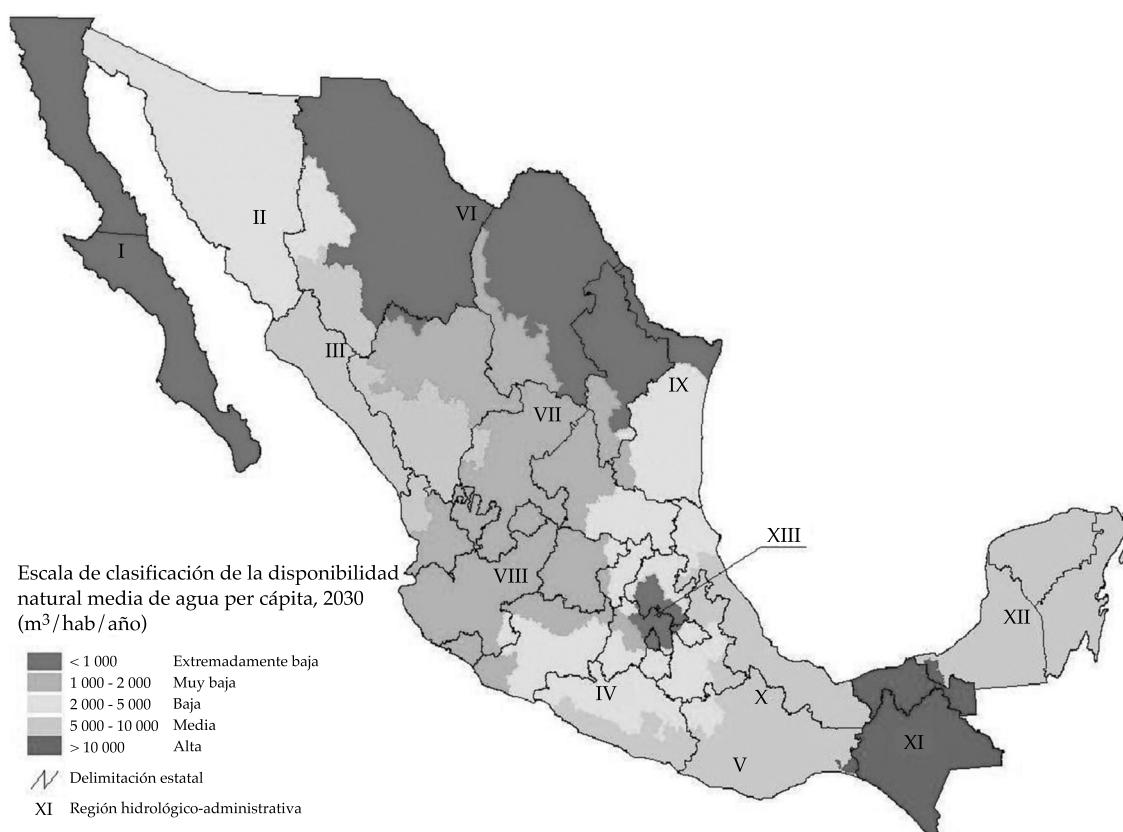
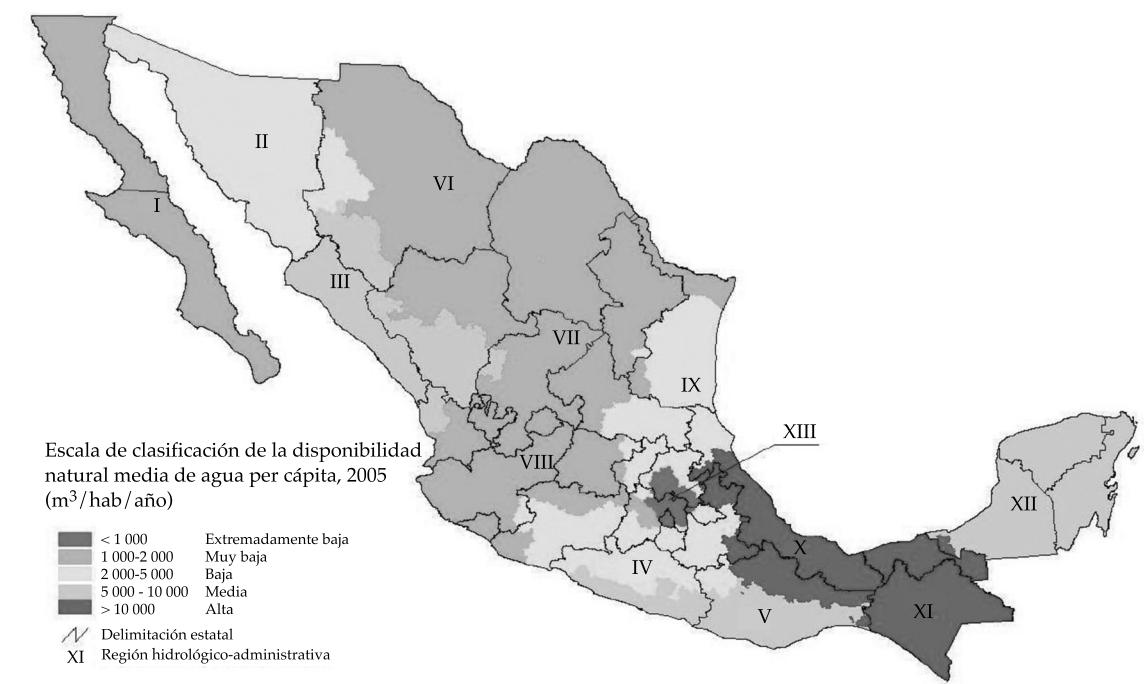


Figura 11. Variación de la disponibilidad de agua (miles de metros cúbicos por habitante por año) en 2005 y hacia 2030 (Comisión Nacional del Agua).

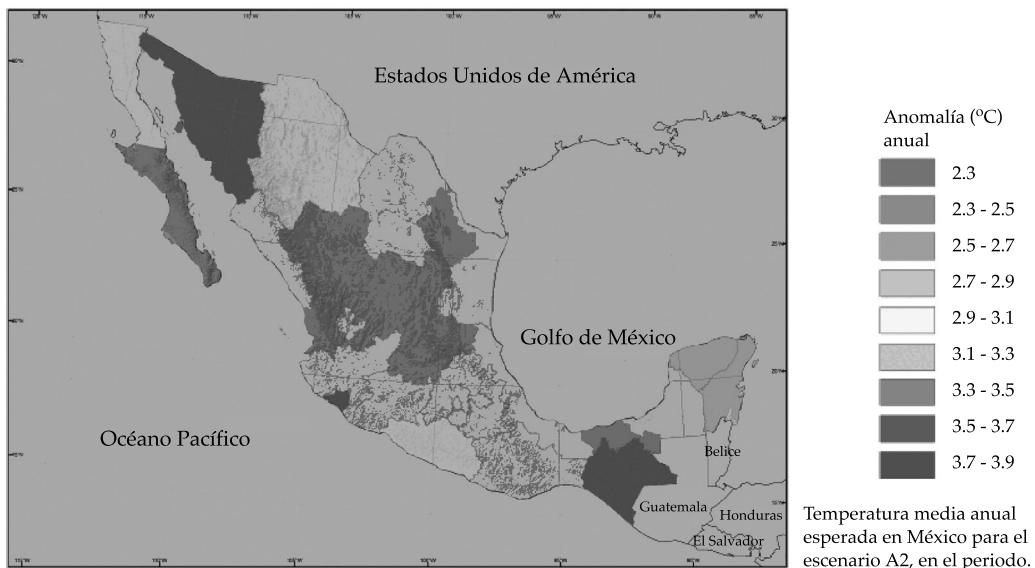


Figura 12. Anomalía de temperatura media anual esperada en México para el escenario A2, en el periodo 2061-2090, respecto al periodo 1961-1990 (Montero-Martínez *et al.*, 2010).

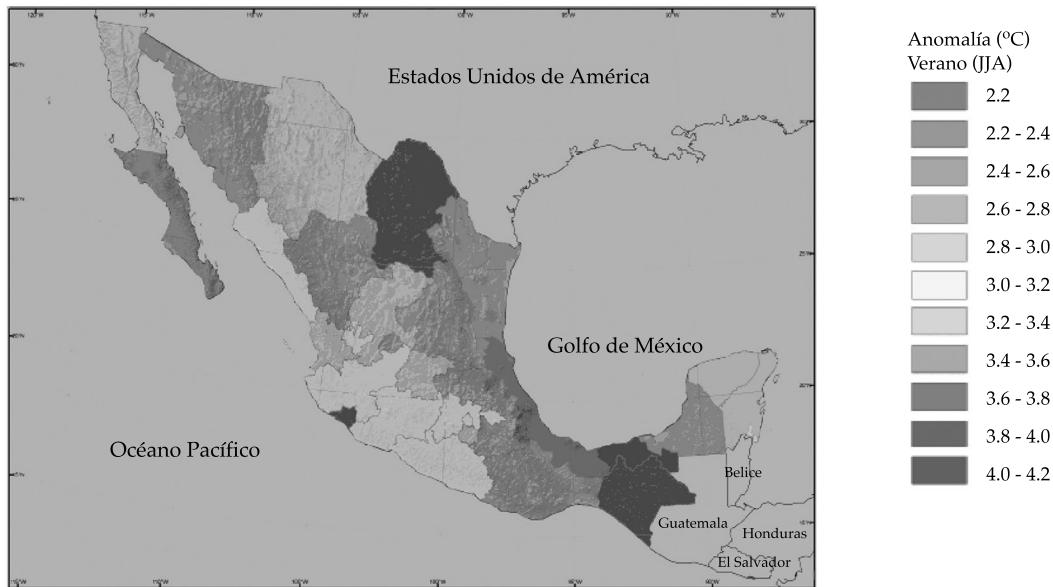


Figura 13. Anomalía de temperatura media de verano esperada en México para el escenario A2, en el periodo 2061-2090, respecto al promedio del periodo 1961-1990 (Montero-Martínez *et al.*, 2010).

y otra son importantes. Los estados con mayor incremento de temperatura serán Sonora, con 3.57 °C más; Colima, con 3.76 °C más; Nayarit,

con 3.46 °C más, y Zacatecas, con 3.47 °C más. Aguascalientes y Quintana Roo, las entidades con menor incremento, registrarán 2 y 2.51 °C

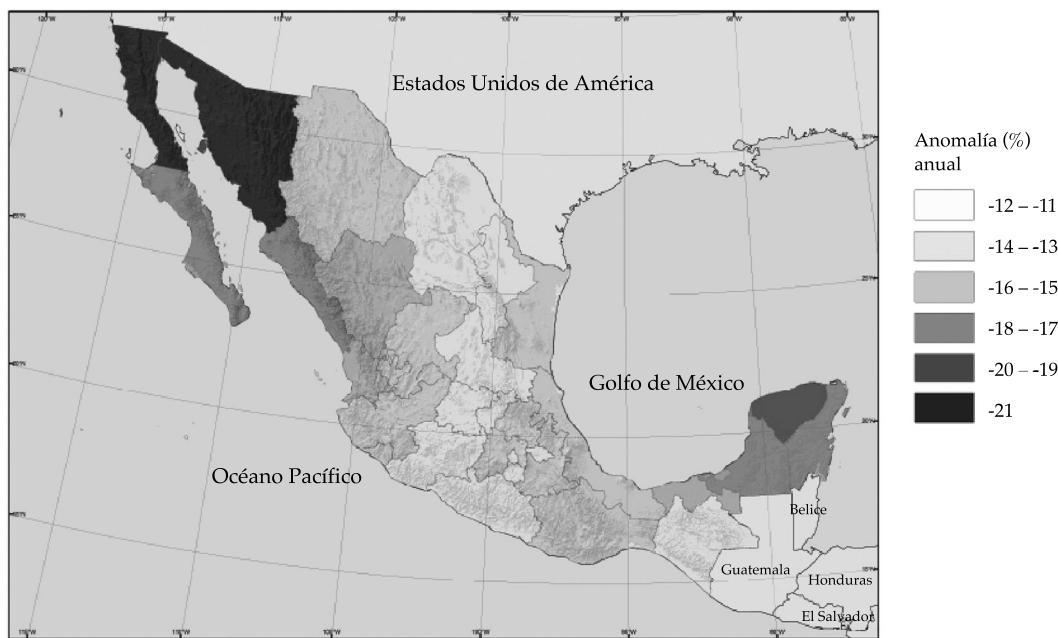


Figura 14. Anomalía de precipitación promedio anual para el escenario A2, en el periodo 2061-2090, en relación con el promedio del periodo 1961-1990 (Montero-Martínez *et al.*, 2010).

más, respectivamente. En el ámbito nacional se espera un incremento medio anual de 3.15 °C.

Si se considera solamente el verano, como se muestra en la figura 13, estos incrementos de temperatura tienden a ser mayores. En Coahuila se esperan entre 3.8 y 4 °C más en verano, al igual que en Chiapas. En Tabasco, las temperaturas de verano serán 4 °C mayores. En general, en México, la temperatura de verano se incrementará en 3.3 °C en el citado escenario A2.

En cuanto a la precipitación, como se observa en la figura 14, se espera que ésta se reduzca en promedio 15.2% en el país, una cifra importante en una nación que ya enfrenta condiciones de escasez en varias regiones. Los estados más afectados, en cuanto a la disminución en el volumen precipitado se ubican en el sureste: Yucatán (18.9%), Quintana Roo (17.6%) y Tabasco (18.87%). Sin embargo, en esta zona, de abundantes lluvias, los efectos

serán menos severos que en las regiones áridas del norte, en las que, con porcentajes menores de precipitación, los recursos hídricos enfrentan ya condiciones de estrés. Así, la precipitación disminuirá previsiblemente 12.9% en Coahuila, 21.3% en Baja California, 14.2% en Chihuahua, 21.3% en Sonora, 17% en Sinaloa y 14.9% en Tamaulipas. En estos estados se ubican los mayores distritos de riego del país. De no adoptarse medidas importantes de adaptación, podría estar en riesgo la suficiencia alimentaria de México.

El cambio en la precipitación, especialmente en las cuencas ubicadas en zonas áridas, producirá disminuciones porcentualmente aún mayores en el escurrimiento, es decir, en el agua superficial disponible. Utilizando el método de balance de la norma oficial mexicana 011 para balance hídrico y aplicando la disminución estimada en el escenario A2 en la precipitación, Rivas-Acosta *et al.*, determinaron la reducción en el escurrimiento en la cuenca

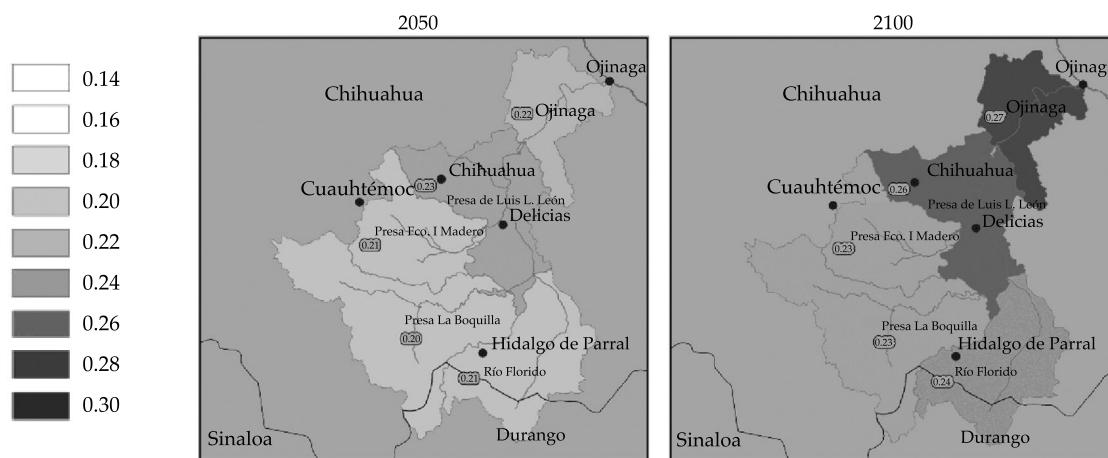


Figura 15. Disminución esperada en el escurrimiento respecto del promedio histórico, en el escenario A2 (Rivas-Acosta *et al.*, 2010).

del río Conchos, ubicada en el estado de Chihuahua, y cuyo cauce es tributario del río Bravo. Como se aprecia en la figura 15, se esperan disminuciones en el escurrimiento de alrededor de 21% para 2050 y de 25% para 2100. En esta cuenca se ubican grandes sistemas de riego, y actualmente aporta el mayor porcentaje de la cuenca del río Bravo a los compromisos de México, según el Tratado de Distribución de Aguas de 1944 con los Estados Unidos.

Conclusiones y recomendaciones

El cambio climático afectará sustancialmente los recursos hídricos actualmente disponibles en el mundo. Las series históricas, consideradas hasta ahora como estadísticamente representativas del ciclo hidrológico local, no serán suficientes para la gestión futura del agua, por lo que será necesario contar con mejores modelos basados en escenarios de cambio climático. En las latitudes en las que se ubica México, los efectos esperados del cambio climático serán un incremento importante de temperaturas (superior a 3 °C) y una disminución en la precipitación (superior al 15% en promedio nacional anual). Como consecuencia, se verá disminuido el escurrimiento

superficial y la recarga de acuíferos y, por lo tanto, la disponibilidad de agua, lo que se sumará al estrés hídrico que producirá el crecimiento poblacional y económico previsto en el siglo XXI. En la cuenca del río Conchos, por ejemplo, se esperan disminuciones del escurrimiento de 23% en promedio. Otro efecto esperado por el cambio climático será en la producción de alimentos, ya que al elevarse la temperatura, la evapotranspiración también aumenta, y con ello los cultivos son sometidos a un mayor estrés térmico, impactando de manera drástica su rendimiento.

Se recomienda, a la luz de estos resultados, diseñar y priorizar acciones de adaptación a los efectos del cambio climático en las regiones hidrológicas más vulnerables de México, y con ello el planteamiento de políticas públicas que permitan a las futuras generaciones contar con las condiciones mínimas de sustentabilidad hídrica en el país.

Arículo publicado por invitación.

Referencias

INE. México. Cuarta comunicación nacional ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático.

- México, D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2009, 274 pp.
- IPCC. *Cambio Climático 2007: Informe de Síntesis. Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación). Ginebra: IPCC, 2007, 104 pp.
- IPCC. *El Cambio Climático y el Agua*. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu, S., Palutikof, J.P. (editores). Ginebra: Secretaría del IPCC, 2008, 224 pp.
- MARTÍNEZ-AUSTRIA, P.F. *Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México*. Jiutepec, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2007, 75 pp.
- MARTÍNEZ-AUSTRIA, P.F. y AGUILAR-CHÁVEZ, A. (editores). *Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México. Vol. II*. Jiutepec, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2008, 118 pp.
- MARTÍNEZ-AUSTRIA, P.F. y PATIÑO-GÓMEZ, C. (editores). *Atlas de Vulnerabilidad Hídrica en México ante el Cambio Climático*. Jiutepec, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2010, 161 pp.
- MONTERO-MARTÍNEZ, M.J. y PÉREZ-LÓPEZ, J.L. Regionalización de proyecciones de precipitación y temperatura en superficie aplicando el método REA para México. Capítulo 1. En *Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México. Vol. II*. Martínez-Austria, P.F. y Aguilar, A. (editores). Jiutepec, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2008, 118 pp.
- P.F. y Aguilar, A. (editores). Jiutepec, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2008, 118 pp.
- MONTERO-MARTÍNEZ, M., MARTÍNEZ-JIMÉNEZ, J., CASTILLO PÉREZ, N.I. y ESPINOZA-TAMARINDO, B.E. *Escenarios climáticos en México proyectados para el siglo XXI: precipitación y temperaturas máxima y mínima. En Atlas de Vulnerabilidad Hídrica en México ante el Cambio Climático*. Martínez-Austria, P.F. y Patiño-Gómez, C. (editores). Jiutepec, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2010, pp. 39-63.
- NASA. *Global annual mean surface air temperature change*. Goddard Institute for Space Studies [en línea]. Disponible en World Wide Web: <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/>. 24 de agosto de 2010.
- ORTIZ-FIGUEROA, M. y GONZÁLEZ-NAVARRO, J.I. El nivel del mar como indicador del cambio climático global: historia, tendencias regionales y perspectivas para México. Capítulo 5. En *Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México. Vol. II*. Martínez-Austria, P.F. y Aguilar, A. (editores). Jiutepec, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2008, 118 pp.
- RIVAS-ACOSTA, I., GÜTRÓN-DE LOS REYES, A. y BALLINAS-GONZÁLEZ, H.A. Vulnerabilidad hídrica global: aguas superficiales. En *Atlas de Vulnerabilidad Hídrica en México ante el Cambio Climático*. Martínez-Austria, P.F. y Patiño-Gómez, C. (editores). Jiutepec, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2010, pp. 81-113.
- VOITURIEZ, B. y JACQUES, G. *El Niño. Realidad y Ficción*. París: UNESCO, 2000, 142 pp.

Abstract

MARTÍNEZ-AUSTRIA, P.F. & PATIÑO-GÓMEZ, C. *Effects of climate change on water availability in Mexico*. Water Technology and Sciences (in Spanish). Vol. III, No. 1, January-March, 2012, pp. 5-20.

Climate and water cycles are so closely interrelated that the increased temperature and decreased precipitation expected by the most likely climate change scenarios will have a significant impact on the availability of water resources in Mexico and worldwide. Temperature, sea-level, and snow cover variations observed and recorded over the last few decades in the northern hemisphere—and specifically in the Tropic of Cancer where Mexico is located—attest to its high vulnerability to climate change. Reduced precipitation and less runoff are expected at middle and subtropical latitudes. These conditions have already been recorded in some of the main river basins in Mexico, and if no adaptation measures are taken, the country's food sufficiency will be in jeopardy. Meanwhile, heavier rains and increased extreme events are also expected to occur, making some watersheds in Mexico's southeast all the more vulnerable to floods. In order to deal with these and other effects of climate change in Mexico, better models are required—based on climate change scenarios—and adaptation actions need to be designed and prioritized in the country's most vulnerable hydrologic regions.

Keywords: climate change, global warming, water resources availability, emission scenarios A1B and A2.

Dirección institucional de los autores

Dr. Polopatro F. Martínez-Austria

Director general

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Paseo Cuauhnáhuac 8532, colonia Progreso
62550 Jiutepec, Morelos, México

Teléfono: +52 (777) 3293 600, extensión 554

Fax: +52 (777) 3193 422

director_general@tlaloc.imta.mx

Dr. Carlos Patiño-Gómez

Subcoordinador de Gestión Integrada del Agua
Coordinación de Hidrología

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Paseo Cuauhnáhuac 8532, colonia Progreso
62550 Jiutepec, Morelos, México

Teléfono: +52 (777) 3293 600, extensión 512

Fax: +52 (777) 3293 685

carlos_patino@tlaloc.imta.mx