

**Revista Internacional  
de Ciencias Sociales y Humanidades**  
*International Journal  
of Social Sciences & Humanities*

**SOCIOTAM**

Centro Multidisciplinario de Investigaciones Regionales  
*Multidisciplinary Center for Regional Research*  
UAT - UNAM

Vol. XXII, N. 2 Jul. – Dic. 2012 July – Dec. 2012  
Ciudad Victoria, Tamaulipas, México

**CONTENIDO / CONTENT**

- |  |   |
|--|---|
| <p><b>3</b><br/>PRÓLOGO / PREFACE</p> <p><b>9</b><br/>MODELO DE VALORACIÓN ECONÓMICA<br/>DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO HÍDRICO,<br/>DELEGACIÓN LA MAGDALENA CONTRERAS,<br/>DISTRITO FEDERAL<br/>Moisés ARREGUÍN SÁMANO<br/>y Jorge A. TORRES-PÉREZ</p> <p><b>25</b><br/>APUNTES PARA PENSAR LA TRANSFERENCIA<br/>Y APROPIACIÓN DE TECNOLOGÍA DE AGUA<br/>EN COMUNIDADES CAMPESINAS<br/>DE LOS ALTOS DE MORELOS<br/>Adriana ESTRADA ÁLVAREZ</p> <p><b>53</b><br/>CONSUMO, ESCASEZ Y GOBERNANZA DEL<br/>AGUA EN AMÉRICA DEL NORTE.<br/>¿ES POSIBLE UNA POLÍTICA<br/>DEL AGUA REGIONAL?<br/>Delia MONTERO CONTRERAS</p> <p><b>89</b><br/>LA CRISIS HÍDRICA EN EL ESPACIO<br/>URBANO POST-METROPOLITANO<br/>Nuria M. ORTEGA FONT<br/>y Rubén A. ROSAS LONGORIA</p> | <p><b>125</b><br/>VULNERABILIDAD SOCIAL EN EVENTOS<br/>HIDROMETEOROLÓGICOS EXTREMOS:<br/>UNA COMPARACIÓN ENTRE LOS HURACANES<br/>STAN Y WILMA EN MÉXICO<br/>Úrsula OSWALD SPRING</p> <p><b>146</b><br/>CAPACIDAD ORGANIZATIVA<br/>Y PARTICIPACIÓN SOCIAL EN EL ABASTO<br/>DE AGUA DOMÉSTICA<br/>EN COMUNIDADES RURALES<br/>DEL VALLE DE ZAMORA, MICHOACÁN<br/>José Luis PIMENTEL EQUIHUA,<br/>Marta A. VELÁZQUEZ MACHUCA<br/>y Jacinta PALERM VIQUEIRA</p> <p><b>165</b><br/>EL FUTURO DE LA DISPONIBILIDAD<br/>DEL AGUA EN MÉXICO Y LAS MEDIDAS<br/>DE ADAPTACIÓN UTILIZADAS EN EL<br/>CONTEXTO INTERNACIONAL<br/>Fabiola S. SOSA-RODRÍGUEZ</p> <p><b>189</b><br/>LA COMUNICACIÓN COMO UNO DE LOS<br/>COMPONENTES DE LA HIDRODIPLOMACIA<br/>María del Carmen TORRES SALAZAR<br/>y Rocío RUEDA HURTADO</p> <p><b>265</b><br/>ÍNDICE ONOMÁSTICO / AUTHOR INDEX</p> |
|--|---|

---

## EL FUTURO DE LA DISPONIBILIDAD DEL AGUA EN MÉXICO Y LAS MEDIDAS DE ADAPTACIÓN UTILIZADAS EN EL CONTEXTO INTERNACIONAL

Fabiola S. SOSA-RODRÍGUEZ

*Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, México*

### RESUMEN

*Los retos que enfrentarán las autoridades para reducir y prevenir los impactos negativos de las variaciones en la cantidad y calidad del agua serán cada vez más complejos, no sólo por los efectos directos e indirectos generados por el fenómeno conocido como cambio climático, sino también por los errores en la gestión del agua.*

*Aunque la disponibilidad del agua suele simplificarse en un problema de cantidad, el volumen realmente disponible para un consumo humano y ambiental seguro es menor al reportado, debido a la contaminación y deterioro de los cuerpos de agua.*

*Bajo este contexto, este artículo aborda, primero, la situación actual en materia de disponibilidad del agua en México. En segundo lugar, analiza el proceso de adaptación como una estrategia para reducir los impactos negativos de esta problemática en el desarrollo del país y el bienestar de su población. En tercer lugar, identifica algunas medidas de adaptación (estructurales y no estructurales) que han sido exitosas en otros países y que pueden ser replicadas en el contexto nacional. Cabe mencionar que algunas de estas medidas constituyen posibles fuentes de suministro de agua para los mexicanos en el futuro.*

Palabras clave: adaptación, cambio climático, vulnerabilidad, estrategias, calidad y cantidad del agua, México.

### FUTURE WATER AVAILABILITY IN MEXICO AND ADAPTATION MEASURES USED IN INTERNATIONAL CONTEXTS

#### ABSTRACT

*Challenges faced by authorities to reduce and prevent negative impacts of water quantity and quality variations are expected to increase as a result of both climate change and water mismanagement.*

*Water availability is frequently considered a problem of quantity; nevertheless, not all freshwater is safe for human and environmental consumption due to water bodies' pollution and deterioration.*

*This article addresses current water availability in Mexico. Second, it analyzes the process of adaptation as a strategy to reduce negative impacts generated by water quantity and quality variations. Finally, this paper identifies successful adaptive measures both structural and non-structural that have been implemented in other countries and can be replicated in the Mexican context. These measures can become alternative water sources in the future.*

Keywords: Adaptation, climate change, vulnerability, strategies, water quality and quantity, Mexico.

## 1. INTRODUCCIÓN

**M**éxico es considerado como un país con una baja disponibilidad natural de agua. Sin embargo, las presiones para garantizar el acceso a un volumen mínimo que satisfaga las necesidades humanas y ambientales son alarmantes si se toman en cuenta las brechas existentes entre las diferentes regiones del país con respecto a su disponibilidad natural y social.

Aunque la problemática de la disponibilidad del agua se suele simplificar en un tema de cantidad, entendiéndose como el resultado de la suma de variables como precipitación, escurrimiento, recarga de acuíferos y transferencias de otras cuencas internacionales, el volumen que está realmente disponible para un consumo humano seguro y para la reproducción de los sistemas ecológicos es menor al reportado, debido a la contaminación y deterioro de las fuentes de agua.

Por su parte, la disponibilidad social del agua está determinada por la demanda de agua por parte de los diferentes sectores económicos, el uso de tecnología ahorradora de agua, la infraestructura hidráulica existente, la comercialización de los derechos de agua, la

atención de las demandas gubernamentales en materia de agua y las prácticas de gestión implementadas. A pesar de los esfuerzos de las autoridades para realizar una gestión más eficiente, la explotación intensiva de los acuíferos continúa, siendo las aguas subterráneas la principal fuente de abastecimiento para la mayoría de las ciudades del país, al proporcionar poco más del 50% del caudal total consumido por año. Asimismo, muchas ciudades siguen satisfaciendo la demanda de agua de sus habitantes por medio de la importación de mayores volúmenes desde fuentes cada vez más lejanas.

El abastecimiento de agua para los mexicanos no puede basarse en una explotación intensiva de las aguas subterráneas que sea superior a su capacidad de recarga o en la importación de grandes volúmenes desde lugares cada vez más distantes, ya que en ambos casos los requerimientos energéticos, los impactos ambientales y los conflictos sociales hacen poco sustentables estas prácticas de gestión. Adicionalmente, con la creciente incertidumbre, resultado del fenómeno conocido como cambio climático, las autoridades enfrentarán nuevos retos para abastecer a la población con un volumen que satisfaga sus necesidades básicas y cumpla con los estándares de calidad.

Se espera un periodo de escasez que afectará el norte y centro del país, mientras que el sur y sureste podrían verse perjudicados por su exceso. En las zonas en donde la disponibilidad del agua se reduzca, la competencia entre sus usuarios por garantizar su acceso podría incrementarse. De manera contraria, las zonas en donde la disponibilidad de agua aumente, podrían estar expuestas a inundaciones y a brotes epidémicos de enfermedades de origen hídrico.

Es vital que la política del agua incluya medidas de adaptación —estructurales y no-estructurales— que permitan a las autoridades y a la población hacer frente a las variaciones esperadas en los recursos hídricos, identificando algunas fuentes alternativas que podrían amortiguar sus impactos negativos. Hasta el momento, México continúa incurriendo en elevados costos de oportunidad al no captar y reutilizar el agua de lluvia, así como al no tratar y reusar las aguas residuales en aquellas actividades que requieren agua de menor calidad.

Este artículo en un primer momento reflexiona si la problemática actual de la escasez-abundancia del agua se atribuye exclusivamente al fenómeno conocido como cambio climático. En segundo lugar aborda la situación actual en materia de disponibilidad del agua en el país, identificando los retos que tendrán que resolver las autoridades para las siguientes décadas.

Posteriormente, analiza el concepto de adaptación como una estrategia para reducir los impactos negativos de las variaciones en la cantidad y calidad del agua. Finalmente, identifica algunas medidas de adaptación que han sido exitosas en otros países y que pueden ser replicadas en México.

## **2. VARIACIONES EN LA DISPONIBILIDAD DE AGUA POR EL CAMBIO CLIMÁTICO O LAS FALLAS EN LA GESTIÓN**

La disponibilidad del agua influye en la economía, la salud, la producción de alimentos, la generación de electricidad, la actividad industrial y la reproducción del medio ambiente. Tanto la escasez como la abundancia del agua son determinantes para el desarrollo del país. ¿Puede México garantizar el suministro mínimo de agua que requieren los ecosistemas para su reproducción, la población para preservar su calidad de vida, y las ciudades y zonas rurales para mantener el desarrollo económico?

Por lo pronto, el país carece de un acceso al agua sustentable que permita garantizar un consumo humano seguro y la preservación del medio ambiente. Este reto podría alcanzarse si se implementan las medidas de mitigación y adaptación pertinentes para enfrentar las variaciones actuales y futuras en la cantidad y calidad de las fuentes de agua.

La problemática de la escasez y abundancia del agua en las distintas regiones del país y del mundo no es sólo resultado de las variaciones climáticas que han impactado de manera negativa el ciclo hidrológico del agua, sino también de las consecuencias de las decisiones en materia de gestión a lo largo de la historia, las cuales han repercutido en el crecimiento demográfico, la concentración de las actividades económicas intensivas en el uso de agua, la degradación

ambiental, los conflictos por el agua y los brotes de enfermedades de origen hídrico.

En el caso del cambio climático, al afectar directamente el ciclo del agua, este fenómeno modifica la cantidad y calidad de los recursos hídricos, y por ende, puede:

1. Disminuir (o aumentar) los caudales de los ríos, afectando la disponibilidad y calidad del agua para el consumo humano, la flora, la fauna, la producción de energía y la navegación.
2. Provocar variaciones en la precipitación, la escorrentía y la evaporación, alterando los niveles del agua de los lagos, humedales y embalses.
3. Modificar el almacenamiento de las aguas subterráneas y la humedad del suelo.
4. Aumentar la frecuencia e intensidad de los eventos hidrometeorológicos extremos (e.g., sequías, lluvias torrenciales, heladas, huracanes).
5. Reducir el nivel de los caudales y aumentar su temperatura, disminuyendo su capacidad de dilución e incrementando su riesgo a contaminarse con parásitos como la *Giardia*, el *Cryptosporidium* y la *Escherichia coli*.
6. Favorecer la desertificación de los suelos y la reducción de las tasas de recarga de los acuíferos ante mayores tasas de evapotranspiración.;
7. Incrementar el riesgo de salinización y remoción de las aguas fósiles concentradas al fondo de los acuíferos por la disminución de sus niveles piezométricos.<sup>1</sup>

Aunado a los impactos directos mencionados, el cambio climático también tiene impactos indirectos que se ven retroalimentados por las fallas en la gestión del agua y su desarticulación con la planeación. Entre los impactos indirectos del cambio climático sobre los recursos hídricos se identifican:

1. Poner en riesgo la infraestructura, los asentamientos humanos y los ecosistemas ante la ocurrencia de inundaciones y eventos hidro-meteorológicos extremos.
2. Restringir la producción de alimentos y el uso de la tierra.
3. Intensificar las olas de calor, los brotes de enfermedades de origen hídrico, la malnutrición y la aparición de nuevas enfermedades.
4. Promover la migración masiva de personas que no cuentan en sus lugares de origen con agua para beber y producir alimentos.
5. Generar cambios en los ecosistemas y en las especies dominantes, ya sea por la sustitución de una especie dominante por otra subdominante o por la migración de especies invasoras.<sup>2</sup>

El resultado de estos cambios inducidos por la gestión inadecuada del agua y por el cambio climático podría devenir en un aumento en la escasez de agua en las zonas norte y centro del país y, en contraparte, con un incremento en la abundancia de este recurso al sur y sureste. En ambos casos —ya sea escasez o abundancia—, la calidad del agua de los recursos hídricos puede verse deteriorada, amenazando la supervivencia de los ecosistemas frágiles en estas regiones. De continuar esta tendencia, la salud y el bienestar de la población se verá amenazada, al igual que el desarrollo económico del país.

Los mecanismos utilizados hasta el momento para hacer frente a las variaciones regulares en la cantidad y calidad del agua pueden ya no ser eficaces ante la creciente incertidumbre climática, los impactos negativos acumulados en los recursos hídricos y los patrones de urbanización del país.

En la actualidad, la escasez-abundancia del agua y el deterioro en su calidad afectan casi a un tercio de los mexicanos. Se espera que el número de personas afectadas se incremente para las siguientes décadas, ante las más frecuentes e intensas sequías, huracanes, inundaciones y brotes de enfermedades de origen hídrico. Estos

eventos, a su vez, repercutirán en los patrones de consumo de agua, intensificarán la competencia y conflictos entre los usuarios para garantizar su acceso a este recurso, y provocarán migraciones masivas de personas y especies animales a otras regiones.<sup>3</sup> Pero, ¿en qué situación se encuentra actualmente México? ¿Nuestro país contará con el tiempo y los recursos necesarios para hacer frente a la problemática de la escasez-abundancia del agua?

### **3. LA DISPONIBILIDAD DEL AGUA EN MÉXICO**

**E**l agua es un recurso estratégico para garantizar el bienestar y la calidad de vida de la población, así como para promover el desarrollo económico de las ciudades y zonas rurales. México es considerado como un país de baja disponibilidad de agua. Por ende, garantizar el acceso a este recurso para un consumo humano seguro y para la preservación de los ecosistemas naturales es un tema prioritario para la seguridad nacional.

#### **3.1 La disponibilidad natural del agua y sus fuentes**

**A**unque nuestro país recibe 1515 km<sup>3</sup> de precipitaciones al año, su disponibilidad natural asciende a 473 km<sup>3</sup> de agua por año; cifra que representa menos de la tercera parte del volumen recibido por la lluvia (31.22% del volumen total). Al dejar de aprovechar poco más de 1091 km<sup>3</sup>—que regresan a la atmósfera por evapotranspiración—, México incurre en elevados costos de oportunidad al no captar, almacenar y reutilizar el agua de lluvia. Evidentemente, el volumen proveniente de las precipitaciones constituye una valiosa fuente alternativa para el suministro, la cual permitiría reducir la extracción intensiva de las aguas subterráneas, la importación de agua desde cuencas cada vez más lejanas (cuyos requerimientos energéticos e impactos ambientales son insostenibles), y el deterioro de los recursos hídricos.

Por lo pronto, sólo 28% de las precipitaciones en el país se adicionan a los recursos hídricos, ya sea como escurrimientos que alimentan a los ríos, lagos y arroyos (23% del total) o como agua que se infiltra en el subsuelo para recargar los mantos freáticos (5% del total) (Figura 1).

La precipitación en el país no se distribuye de manera homogénea a lo largo del año y tampoco entre las entidades federativas: 77% del total se registra durante la temporada de lluvia (entre los meses de junio a octubre) y se concentra geográficamente al sur y sureste de México. El volumen captado durante el periodo de lluvia determina la cantidad de agua disponible el resto del año para el consumo humano y las actividades económicas de los diferentes sectores, ya sea que este volumen provenga de aguas superficiales, aguas subterráneas o de la infraestructura hidráulica para su almacenamiento (e.g., presas, lagunas de almacenamiento o tanques).

Adicionalmente, los recursos hídricos tienen una distribución natural desigual en el territorio, concentrándose en algunas regiones del país. Las aguas superficiales representan el 83.3% del volumen total de agua disponible en México. Sin embargo, el 87% de este caudal es generado por 39 de los 85 ríos más importantes, cuyas cuencas abarcan más de la mitad de la extensión territorial continental. Por otro lado, en los mantos acuíferos se almacena el 26.7% del volumen total de agua disponible, distribuido en 653 acuíferos<sup>4</sup>. Aunque las aguas superficiales concentran la mayor proporción de agua disponible, la principal fuente de abastecimiento para el consumo humano con fines domésticos proviene de las aguas subterráneas, las cuales suministran el 64% del caudal total consumido por este sector.

En general, los usos consuntivos (agrícola, doméstico e industrial) utilizan 78.9 km<sup>3</sup> de agua por año: el 63% de este caudal proviene de fuentes superficiales y el 37% restante de las aguas subterráneas. En el caso de los usos no consuntivos (básicamente la generación de energía hidroeléctrica), se utilizan 122.8 km<sup>3</sup> de agua por año. El sector agrícola es el que consume el mayor volumen de agua a nivel nacional. Se estima que el volumen utilizado en el riego de aproximadamente 25 millones de hectáreas (85 distritos de riego y 39 mil unidades de riego) asciende a 77% del caudal extraído de las fuentes superficiales y de las subterráneas.<sup>5</sup>

A pesar de la extensión dedicada a dicha actividad y del consumo intensivo de agua que realiza, este sector contribuye a la generación del producto nacional con un 6.5% del total.<sup>6</sup> Estas cifras ponen en evidencia la urgente necesidad de incrementar la eficiencia en

las actividades agrícolas, aumentando la productividad por hectárea y reduciendo el volumen de agua destinado al riego. Sin embargo, no es una solución viable el considerar desaparecer este sector, dado que esta decisión podría poner en riesgo la seguridad alimentaria del país.

### **3.2 Retos para garantizar la disponibilidad del agua**

**D**ada la distribución desigual temporal y espacial del agua disponible para el consumo humano y para la preservación ambiental, los principales retos que enfrenta el país para hacer frente a las variaciones en la cantidad y calidad del agua están relacionados con el crecimiento de la población, la concentración de actividades económicas intensivas en el uso del agua, la contaminación y deterioro de los recursos hídricos, los conflictos para asegurar el acceso al agua, los brotes de enfermedades de origen hídrico y las variaciones climáticas.

#### *A. Crecimiento demográfico y concentración de las actividades económicas*

Desde mediados del siglo XX, el número de mexicanos se ha casi cuadruplicado, pasando de 25.8 a 97.4 millones de habitantes. Se espera que en el año 2030, la población ascienda a 127 millones de personas, superando 31 ciudades del país un tamaño de 500 000 habitantes.<sup>7</sup> Este incremento poblacional traerá consigo un aumento en la demanda de los servicios públicos por los diferentes sectores, incluido el suministro de agua. Uno de los retos a futuro consistirá en atender las crecientes demandas de agua de las grandes ciudades que se están conformando, algunas de las cuales superarán los 3.1 millones de personas.

Las ciudades más dinámicas y con mayor crecimiento se están concentrando en las zonas norte, noreste y centro del país. Estas zonas actualmente enfrentan severos problemas de escasez y una gran presión para la atención de la demanda de agua, al concentrar más de tres cuartas partes de la población nacional (cerca de 77% del total) y generar casi la totalidad de la producción nacional, contribuyendo con el 87% del PIB total.

La disponibilidad anual de agua *per cápita* en estas tres regiones asciende a 1734 m<sup>3</sup>; en contraste, en la región sur y sureste esta cifra es diez veces mayor, alcanzando un volumen de 13 097 m<sup>3</sup>.

De continuar la tendencia de crecimiento demográfico y económico presente en el país, las zonas en donde habita la mayoría de la población a nivel nacional y se produce la mayor parte del PIB, enfrentarán un mayor estrés hídrico en las próximas décadas. Se espera que en el año 2030, la disponibilidad anual *per cápita* del agua en México disminuya a 3721 m<sup>3</sup> por las variaciones climáticas, el incremento poblacional y la pérdida de bosques y otras áreas verdes a causa de la urbanización. Las regiones norte, noreste y centro del país serán las más afectadas por la reducción en la disponibilidad del agua a 956.97 m<sup>3</sup>, a pesar de que en estas áreas se está concentrando el crecimiento demográfico y el desarrollo económico del país. Se espera que su PIB para 2030 ascienda a 88% del producto nacional, concentrando al 80% de la población nacional, aunque su disponibilidad *per cápita* de agua se espera presente una tasa de decrecimiento de 39.22% (Mapa 1).

Por otro lado, en la región sur y sureste, la disponibilidad anual *per cápita* se reducirá a 11 172.19 m<sup>3</sup>. En estas regiones se espera ocurra el fenómeno contrario, su participación en el PIB disminuirá a 12% del producto total y su concentración poblacional a menos de 20% de la población nacional; a pesar de ello, la disponibilidad *per cápita* de agua también se espera que decrezca a una tasa de 19.59% (Mapa 1).

El esfuerzo coordinado entre las autoridades responsables de la gestión del agua y aquéllas a cargo del ordenamiento del territorio es un requisito para redireccionar y planificar el crecimiento demográfico y urbano durante las próximas décadas. La reducción esperada en la disponibilidad del agua para el año 2030 constituye una situación de riesgo para el país, no sólo por su impacto en el bienestar y salud de la población, sino porque también obstaculiza el desarrollo económico.

### *B. Sobreexplotación de los acuíferos*

Desde principios de siglo, los acuíferos del país se comenzaron a explotar de manera intensiva, con tasas de extracción supe-

riores a las de su recarga, para satisfacer la demanda de agua en las ciudades que crecían con rapidez. Esta práctica se incrementó en la década de los años setenta, cuando la tasa de crecimiento demográfico alcanzaba su máximo. Como resultado, de los 653 acuíferos identificados en el territorio nacional, 104 evidencian severos problemas de sobreexplotación (15.93% del total).<sup>8</sup>

La región más afectada es la noroeste, así como las cuencas centrales del norte y la Lerma-Santiago-Pacífico. Contradictoriamente, aún identificándose los acuíferos que se encuentran en riesgo por la explotación intensiva con tasas superiores a su recarga, en las regiones del Río Bravo y las cuencas centrales del norte, se permite su libre alumbramiento (e.g., el acuífero de la región Manzanera-Zapalín, Buenaventura, Cedral-Matehuala y Matehuala-Huizache); mientras que al sur y sureste del país, la extracción de las aguas subterráneas está regulada con veda con fin de prevenir su sobreexplotación (Mapa 2).

Los retos que tendrá que enfrentar el país para garantizar la disponibilidad en cantidad y calidad del agua para los mexicanos se hacen más evidentes cuando se toma en cuenta que el 50% del volumen del agua subterránea extraída para atender la demanda de los diferentes sectores, proviene de los acuíferos *sobreexplotados*.

Llevar a cabo una explotación sustentable de las fuentes subterráneas (con tasas de extracción compatibles con las de su recarga) constituye un gran reto para las autoridades responsables de su gestión, dado que la reducción en el volumen proveniente de estas fuentes está limitado por la demanda de la población y las ciudades, su crecimiento y las actividades productivas.

### *C. Contaminación de las aguas superficiales y subterráneas*

La contaminación de los recursos hídricos es otro de los factores que reduce la disponibilidad del agua que puede ser consumida de manera segura por la población y utilizada para la reproducción de los ecosistemas. Entre las fuentes de contaminación destaca la disposición de las aguas residuales domésticas e industriales sin recibir un tratamiento previo en diversos cuerpos de agua que son utilizados para su transferencia hasta el mar. Se estima que en México más del

60% de las aguas residuales generadas no recibe ningún tratamiento previo a su disposición.<sup>9</sup>

En general, la calidad del agua superficial del país desde hace varias décadas no cumple los estándares para un consumo humano seguro si no recibe, previo a su suministro, un tratamiento de desinfección y potabilización. Las aguas superficiales han visto reducida su calidad por condiciones naturales y antropogénicas, al ser el receptáculo de los desperdicios de las actividades urbanas, industriales, agrícolas, pecuarias y rurales. De acuerdo con el análisis de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), sólo el 27% del agua superficial en México tiene una calidad aceptable; mientras que el 73% restante está contaminada y no se puede disponer directamente para su consumo.<sup>10</sup> De manera que, poco menos de una tercera parte del volumen disponible de las fuentes superficiales puede consumirse por la población de manera segura.

En el caso de las aguas subterráneas, sólo se cuenta con información para identificar qué acuíferos presentan problemas de intrusión con agua de mar. No se tiene conocimiento sobre la calidad de las aguas subterráneas en sus componentes físicos, químicos y biológicos, ya sea porque no se cuenta con registros sobre los resultados de estos análisis o porque dichos resultados no están disponibles para el público. Por lo pronto, se han identificado 32 acuíferos en el país (4.9% del total) que han sido contaminados por la intrusión de agua de mar.<sup>11</sup> Bajo este contexto, la contaminación de los recursos hídricos constituye una de las principales causas que reduce la disponibilidad del agua y, por ende, es una problemática prioritaria de atender.

#### *D. Estrés hídrico*

Contrastando la demanda de agua con relación a la disponibilidad natural de este recurso (una variable *proxi* de la oferta), prácticamente la mitad del territorio nacional se encuentra en una situación de estrés hídrico que pone en riesgo la salud y el bienestar de la población, además de limitar el desarrollo económico. En una situación alarmante está la Región XIII (donde se localiza la Ciudad de México) con un estrés hídrico que supera el 120%, haciendo evidente la situación de riesgo en que se encuentra esta entidad como resultado

de su poca sustentabilidad hídrica, al depender de fuentes externas distantes, realizar una explotación intensiva de sus aguas subterráneas superior a su tasa de recarga, concentrar un elevado número de personas y actividades económicas, e incurrir en elevados costos de oportunidad, al no aprovechar fuentes alternativas de agua (e.g., aguas residuales tratadas o agua de lluvia) (Mapa 3).

En el norte y noroeste de México este indicador alcanza un valor de más del 40%, cifra que corresponde a un estrés hídrico alto. Por consiguiente, garantizar la disponibilidad de agua en cantidad y calidad es un factor que pone en riesgo la salud y el bienestar de sus habitantes, y limita su actual desarrollo económico. Las regiones sur y sureste del país se encuentran en una situación de estrés hídrico bajo, mientras que las del centro y centro-occidente, de estrés hídrico medio (Mapa 3).

En este sentido, la disponibilidad del agua tiene múltiples vínculos con otros ámbitos que van más allá del suministro de agua y el saneamiento, como la alimentación, salud, equidad y generación de energía. Al ser la agricultura el sector que consume la mayor proporción de agua en el país, constituye un área primordial para la implementación de estrategias de adaptación a las variaciones en la cantidad y calidad del agua. Adicionalmente, las poblaciones rurales, al depender en mayor medida de los recursos naturales y de la producción agrícola para sobrevivir, son los grupos más vulnerables. Los nuevos sistemas de cultivo y la siembra de cultivos alternativos más aptos para las nuevas condiciones hidrológicas y climáticas de cada área, podrían ofrecer nuevas oportunidades para el desarrollo económico de las zonas más afectadas.

Asimismo, las variaciones en la disponibilidad del agua tienen impactos diferenciados de género. Las mujeres son las más afectadas, ya que se encargan de buscar, transportar y almacenar el agua para atender las necesidades básicas de sus hogares (cocinar, lavar la ropa, asearse y limpiar). En las zonas más afectadas por la escasez, las mujeres no sólo tienen que caminar grandes distancias para encontrarla, también tienen que exponerse a enfermedades de origen hídrico al obtenerla de desagües, acequias, ríos, lagos o manantiales que pudieran estar contaminados.

#### 4. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

¿Pueden los asentamientos humanos y el medio ambiente adaptarse a las variaciones en la cantidad y calidad del agua? La capacidad de adaptación de los sistemas socio-ecológicos (conformados por el componente humano y el componente ambiental, así como por las interacciones que resultan de éstos) representa el potencial de sus instituciones, población y ecosistemas para reducir su vulnerabilidad y minimizar los impactos negativos de las variaciones en la cantidad y calidad del agua, independientemente de si fueron originadas por fallas en la gestión o inducidas por el cambio climático.

Las capacidades de adaptación están desigualmente distribuidas espacial y socialmente. Por ende, algunas regiones y grupos poblacionales son más afectados por la escasez-abundancia del agua y el deterioro de su calidad.

Enfrentar estas variaciones requiere tanto de medidas de mitigación como de adaptación. Mientras la mitigación se enfoca en reducir o prevenir la magnitud y ocurrencia de los impactos de eventos no deseados, la adaptación se concentra en reducir aquellos impactos negativos que no se pueden evitar. Por ende, la única forma de hacerles frente es creando las capacidades para resistirlos y/o recuperarse de sus efectos.<sup>12</sup>

La adaptación es un proceso continuo que requiere el monitoreo sistemático de la eficacia de las medidas implementadas. Sin embargo, una adaptación exitosa no significa que los impactos negativos de las variaciones en la disponibilidad y calidad desaparecerán; más bien que dichas medidas permitirán que los efectos no deseados sean menores. La adaptación puede ser anticipada o reactiva.

Se trata de una adaptación *anticipada* (o proactiva) cuando como resultado de las decisiones políticas se implementan algunas medidas, previo a que los impactos de un evento no deseado se materialicen. Este tipo de adaptación es planificada y sigue un proceso iterativo.

En el caso de la adaptación *reactiva*, ésta consiste en la implementación de medidas después de ocurridos los impactos negativos,

ya sea como resultado de decisiones deliberadas o de manera espontánea.<sup>13</sup> Las medidas de adaptación anticipadas también incurren en menores costos y suelen ser más eficaces que las reactivas; además, proporcionan beneficios locales que se pueden distribuir con rapidez a las comunidades aledañas (Cuadro 1).

<b>Cuadro 1. Tipos de adaptación</b>			
<b>Concepto</b>	<b>Tipo de adaptación</b>		
Control en la adaptación	Espontánea		Planeada
Tiempo de reacción	Reactiva	Concurrente	Anticipatoria
Escala temporal	Corto plazo		Largo plazo
Escala espacial	Localizada		Diseminada
Beneficios de la adaptación	Sistemas seleccionados		Todos los sistemas
<i>Fuente: Adaptado de Smit et al. (1999), Füssel y Klein (2006) y Klein et al. (2007).</i>			

Debido a que la adaptación de los sistemas socio-ecológicos es un proceso complejo, las medidas utilizadas para este fin pueden ser de diversa índole, incluyendo cambios en el comportamiento de la población, implementación de innovaciones tecnológicas, inversiones en infraestructura, ajustes en las disposiciones normativas y operativas, entre otras.<sup>14</sup>

A diferencia de los sistemas humanos, los sistemas ecológicos sólo se adaptan de manera espontánea en respuesta a las variaciones el agua. Esta característica los hace ser más frágiles a pequeños cambios en la situación de los recursos hídricos.

Sin embargo, un sistema con más opciones de adaptación tiene una mayor probabilidad de reducir los impactos negativos de la escasez o abundancia del agua de manera exitosa. Hay ejemplos exitosos de medidas de adaptación implementadas en otros países que pueden ajustarse al contexto mexicano (Cuadro 2). Entre dichas medidas destacan:

<b>Cuadro 2. Medidas de adaptación exitosas en otros países</b>	
<b>País</b>	<b>Medidas de adaptación</b>
<b>Canadá</b>	<p><b>Inundaciones</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los residentes de Pointe-du-Chêne, NB, organizaron un refugio contra inundaciones.</li> <li>• Un grupo comunitario en Annapolis Royal, NS, realizó un análisis cartográfico de los posibles impactos de las tormentas, que se tradujo en la revisión de las medidas de emergencia y la reubicación de las instalaciones de bomberos.</li> <li>• Se promovió entre los productores agrícolas la compra de seguros para proteger las cosechas ante la ocurrencia de inundaciones.</li> </ul> <p><b>Escasez de agua</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los seguros agrícolas también cubren la pérdida de las cosechas por la falta de agua.</li> <li>• Se instalaron medidores de agua en los distritos de riego en Kelowna, BC; Sudbury, ON, y Moncton, NB, para reducir el consumo de agua.</li> </ul> <p><b>Energía</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hydro Québec ha modificado sus previsiones de demanda de electricidad con base en los nuevos escenarios climáticos.</li> </ul> <p><b>Variaciones en la temperatura</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se desarrolló un sistema de alerta de calor (Heat-Health-Warning) en Toronto, en el cual participan brigadas, unidades móviles y hospitales.</li> </ul>
<b>Sudán</b>	<p><b>Sequía</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se amplió el uso tradicional del agua de lluvia y los sistemas de captación.</li> <li>• Se construyeron cinturones verdes y barreras contra el viento para mejorar la resistencia de los pastizales e incrementar la productividad agrícola y ganadera.</li> </ul>
<b>Bangladesh</b>	<p><b>Intrusión marina de acuíferos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se instalaron reguladores de flujo en el terraplén de la costa.</li> <li>• Se alternaron cultivos y se instalaron sistemas de riego más eficientes.</li> <li>• Se utilizaron filtros para la recarga de los acuíferos.</li> </ul>
<b>Guatemala y Chile</b>	<p><b>Suministro de agua</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se construyeron unos dispositivos “atrapa niebla”, que captan la niebla y la condensan en vapor de agua para posteriormente almacenarla.</li> </ul>
<p><i>Fuente: Elaboración con base en Lemmen et al. (2008), Bryant et al. (2000), Environment Canada (1998) y Klein et al. (2007).</i></p>	

Otras medidas de adaptación que podrían utilizarse en México para reducir los impactos negativos de las variaciones en la cantidad y calidad del agua, comprenden las medidas estructurales, la vinculación de la gestión del agua con la gestión del suelo, el monitoreo y la evaluación sistemática de los avances en la gestión, los cambios en el marco institucional y legal, los ajustes en las prácticas y estrategias de respuesta institucional, la participación social (gobernanza) y el fomento a la información y a la difusión del conocimiento (Cuadro 3).

Entre las medidas que podrían implementarse en México se identifican:

<b>Tipos</b>	<b>Medidas de adaptación</b>
<b>Estructurales</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Entubamiento y/o revestimiento de canales.</li><li>• Mantenimiento y fortalecimiento de la estructura de represas.</li><li>• Construcción de nueva infraestructura (e.g., embalses, transvases, murallas, lagunas de recolección y almacenamiento del agua pluvial).</li></ul>
<b>Gestión del suelo</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Delimitación y establecimiento de zonas de amortiguamiento natural (por la vegetación) a lo largo de los cursos de agua.</li><li>• Eliminación de los permisos de construcción en las zonas propensas a inundaciones, tormentas, erosión y deslizamientos, así como en las zonas de recarga de los mantos freáticos.</li><li>• Integración de las políticas del uso del suelo y la gestión del agua.</li></ul>
<b>Monitoreo y evaluación</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Definición de indicadores y seguimiento a las acciones implementadas en el corto, medio y largo plazo.</li><li>• Mejoramiento de los sistemas de vigilancia y alerta relacionados con la abundancia-escasez del agua, así como con el deterioro de su calidad.</li><li>• Instalación de "medidores de flujo" para controlar la calidad de las descargas de aguas residuales.</li><li>• Creación de observatorios para el monitoreo de la disponibilidad y calidad del agua.</li></ul>

<p><b>Cambios en el marco legal e institucional</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ajuste de los precios del agua con base en los costos incurridos para su suministro, disposición y tratamiento.</li> <li>• Reasignación de los derechos de agua.</li> <li>• Implementación de mercados de agua.</li> </ul>
<p><b>Cambios en las estrategias y prácticas</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Orientación de la gestión del agua hacia una gestión adaptativa.</li> <li>• Desarrollo de mecanismos para la resolución de conflictos por el agua.</li> <li>• Consolidación de la demanda de agua residual tratada y de agua pluvial para los usos que no requieren de una calidad elevada.</li> </ul>
<p><b>Gobernanza</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Promoción de la participación de las comunidades para responsabilizarse de la forma en que se administran sus recursos hídricos.</li> <li>• Fomento de la educación sobre las mejores prácticas y soluciones locales para enfrentar las variaciones en la cantidad y calidad del agua.</li> <li>• Creación de nuevas oportunidades para la transferencia de información a los usuarios potenciales y promoción de los enlaces entre las comunidades.</li> </ul>
<p><b>Fomento a la información y difusión del conocimiento</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación y comunicación de los impactos de las variaciones en la disponibilidad y calidad del agua a todos los usuarios.</li> <li>• Promoción del diseño e implementación de nuevas tecnologías ahorradoras.</li> <li>• Consolidación de una nueva cultura del agua.</li> <li>• Desarrollo de tecnología para la microirrigación (e.g., el riego por goteo).</li> <li>• Formación y educación sobre las técnicas de riego a los agricultores.</li> <li>• Diseño e instalación de dispositivos ahorradores de agua en sanitarios, regaderas, fregaderos y llaves de paso.</li> </ul>

Evidentemente, la adaptación requiere de un cuidadoso análisis basado en hallazgos científicos y en la adecuada comprensión de las interacciones entre el sistema socio-ecológico, las amenazas que enfrenta cada área por las variaciones en la cantidad y calidad del agua, la vulnerabilidad de los grupos poblacionales y las capacidades de adaptación existentes. Si bien la tecnología juega un rol vital en la adaptación, ésta requiere ser complementada con medidas no-estructurales para ser exitosa.

## 5. CONCLUSIONES

**N**o todos los impactos negativos que enfrenta México por las variaciones en la cantidad y calidad del agua se atribuyen al cambio climático. Otros factores que también han influido en las condiciones en que se encuentran los recursos hídricos incluyen las decisiones sobre cómo se administra, almacena, transfiere y consume el agua.

Los paradigmas de la gestión del agua en México dificultan la implementación de medidas de adaptación exitosas para enfrentar las variaciones en la cantidad y calidad del agua. El mito que el agua es un recurso abundante, constituye el primer problema, ya que por muchas décadas el agua fue administrada como un recurso ilimitado. Por ende, no era necesario medir ni pagar su consumo.

El segundo mito tiene que ver con la creencia de que la tecnología puede resolver cualquier problema que enfrente la humanidad. Por ello, para atender los incrementos de la demanda de agua, los recursos hídricos del país han sido explotados, desviados y trasladados sin tener en cuenta los impactos ambientales de estas prácticas.

El tercer gran mito tiene que ver con el nivel de gobierno más adecuado para tomar las decisiones. Por muchas décadas se pensaba que la autoridad federal era la que debía ser responsable de cómo se administra el agua; en la actualidad, cada vez se reconoce más que el suministro y el monitoreo de la calidad del agua deben estar en manos de las autoridades locales. Sin embargo, el traslado de la responsabilidad de la administración del agua de un nivel de gobierno a otro no es automático, sino que se tienen que crear las capacidades institucionales para ello.<sup>15</sup>

Un prerequisite para conseguir una adaptación exitosa a la creciente incertidumbre en la cantidad y calidad del agua se remite a la generación y sistematización de información, ya que la adaptación es un proceso continuo que requiere ser monitoreado. La utilización de ciertas medidas no garantiza su éxito, éstas deben reajustarse hasta reducir al máximo los impactos negativos a abordar. La urgencia de la implementación de cada medida de adaptación (planificada)

depende de la vulnerabilidad del sistema y de la magnitud temporal, espacial y material de los daños. Por consiguiente, es indispensable estimar los costos asociados a la ejecución de las medidas de adaptación y los que se generarían de no llevarse a cabo estas acciones.

Finalmente, las variaciones en la cantidad y calidad de agua han creado nuevas áreas de estudio que no han sido todavía exploradas a profundidad. Por ejemplo, se carece de estudios sobre el efecto que estas variaciones tienen en las plagas o en especies invasoras que pudieran afectar la biodiversidad y la salud de la población. Asimismo, todavía es necesario identificar los impactos que la escasez-abundancia del agua y el deterioro en su calidad, tienen sobre la generación de vectores de enfermedades de origen hídrico en México.

#### NOTAS

1. *Atherholt et al., 1998; Chen et al., 2002; Charron et al., 2004; IPCC, 2007.*
2. *Parmesan y Yohe, 2003; Nielson et al., 2005; WWAP, 2009; IPCC, 2007.*
3. *WWAP, 2009.*
4. *Conagua, 2008.*
5. *Ibid.*
6. *Ibid.*
7. *Conapo, 2003.*
8. *Conagua, 2008.*
9. *Ibid.*
10. *Ibid.*
11. *Ibid.*
12. *IPCC, 2007; Klein et al., 2007.*
13. *Smithers y Smit, 1997; Smit et al., 1999.*
14. *Stern et al., 2006.*
15. *Sosa Rodríguez, 2010.*

## BIBLIOGRAFÍA

- ATHERHOLT, T.B.; LE CHEVALLIER, M.W.; NORTON, W.D. y ROSEN, J. (1998). "Effects of Rainfall on Giardia and Cryptosporidium", *Journal of the American Waterworks Association*, 90, pp. 66-80.
- BRYANT, C.R.; SMIT, B.; BRKLACICH, M.; JOHNSTON, T.R.; SMITHERS, J.; CHIOTTI, Q. y SINGH, B. (2000). "Adaptation in Canadian Agriculture to Climatic Variability & Change", *Climatic Change*, 45(1), pp. 181-201.
- CHARRON, D.F.; THOMAS, M.K.; WALTNER-TOEWS, D.; ARAMINI, J.J.; EDGE, T.; KENT, R.A.; MAAROUF, A.R. y WILSON, J. (2004). "Vulnerability of Waterborne Diseases to Climate Change in Canada: A Review", *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 67, pp. 1667-1697.
- CHEN, Z.; GRASBY, S.E. y OSADETZ, K.G. (2002). "Predicting Average Annual Groundwater Levels from Climatic Variables: An Empirical Model", *Journal of Hydrology*, 260, pp. 102-117.
- CONAGUA (2008). *Estadísticas del Agua*, México, Conagua.
- CONAPO (2003). *Proyecciones de población 2000-2030*, México, Conapo.
- ENVIRONMENT CANADA (1998). "Climate Change Impacts and Adaptation in Canada: Highlights for Canadians", *Environment Canada*, Ottawa.
- FÜSSEL, H. y KLEIN, R.J.T. (2006). "Climate Change Vulnerability Assessments: An Evolution of Conceptual Thinking", *Climatic Change*, 75(3), pp. 301-329.
- IPPC (2001). "Summary for Policy Makers", en McCarthy, J.J.; Canziani, O.F.; Leary, N.A.; Dokken, D.J. y White, K.S (Eds.), *Climate Change Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, Cambridge, Cambridge University Press, pp. 1-18.
- IPPC (2007). "Summary for Policymakers", en Parry, M.L.; Canziani, O.F.; Palutikof, J.P.; Van der Linden, P.J. y Hanson, C.E. (Eds.), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, Cambridge, Cambridge University Press, pp. 7-22.
- INEGI (2004). *Censo Económico 2004*, México, INEGI.
- KLEIN, R.J.T.; HUQ, S.; DENTON, F.; DOWNING, T.E.; RICHOLS, R.G.; ROBINSON, J.B. y TOTH, F.L. (2007). "Inter-relationships between Adaptation and Mitigation", en Parry, M.L.; Canziani, O.F.; Palutikof, J.P.; Van

- der Linden, P.J. y Hanson, C.E. (Eds.), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Cambridge, Cambridge University Press, pp. 745-777.
- LEMMEN, D.S.; WARREN, F.J.; LACROIX, J. y BUSH, E. (Eds.) (2008). *From Impacts to Adaptation: Canada in a Changing Climate*, Ottawa, Government of Canada.
- NEILSON, R.P.; PITELKA, L.F.; SOLOMON, A.M.; NATHAN, R.; MIDGLEY, G.F.; FRAGOSO, H.J.; LISCHKE, M.V. y THOMPSON, K. (2005). "Forecasting Regional to Global Plant Migration in Response to Climate Change", *BioScience*, 55, pp. 749-759.
- PARMESAN, C. y YOHE, G. (2003). "A Globally Coherent Fingerprint of Climate Change Impacts across Natural Systems", *Nature*, 421, pp. 37-42.
- SMIT, B.; BURTON, I.; KLEIN, R.J.T. y STREET, R. (1999). "The Science of Adaptation: A Framework for Assessment", *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 4, pp. 199-213.
- SMITHERS, J. y SMIT, B. (1997). "Human Adaptation to Climatic Variability and Change", *Global Environmental Change*, 7(2), pp. 129-146.
- SOSA RODRÍGUEZ, F.S. (2010). "Exploring the Risks of Ineffective Water Supply and Sewage Disposal: A Case Study of Mexico City", *Environmental Hazards*, 9, pp. 135-146.
- STERN, N.; PETERS, S.; BAKHSHI, V.; BOWEN, A.; CAMERON, C.; CATOVSKY, S.; CRANE, D.; CRUICKSHANK, S.; DIETZ, S.; EDMONSON, N.; GARBETT, S.-L.; HAMID, L.; HOFFMAN, G.; INGRAM, D.; JONES, B.; PATMORE, N.; RADCLIFFE, H. ; SATHIYARAJAH, R.; STOCK, M.; TAYLOR, C.; VERNON, T.; WANJIE, H. y ZENGHELIS, D. (2006). *Stern Review: The Economics of Climate Change*, Londres, HM Treasury.
- WWAP (2009). *Water and Climate Change, World Water Development Report 3: Water in a Changing World*, Paris, UNESCO.

**Fabiola S. SOSA-RODRÍGUEZ**

Profesora investigadora, Área de Crecimiento Económico y Medio Ambiente, Departamento de Economía, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco.

Posdoctorado en la Universidad de Waterloo, Canadá. Doctorado en Estudios Urbanos y Ambientales y Maestría en Estudios Urbanos en El Colegio de México. Licenciatura en Economía, en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), Mención Honorífica de Excelencia. Premio de la Academia Mexicana de Ciencias por la mejor investigación doctoral en Ciencias Sociales. Premio Gustavo Cabrera Acevedo a las mejores tesis en estudios urbanos a nivel nacional. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, Nivel Candidato. Ha sido miembro del equipo investigador del PUEC-UNAM, así como consultor de varias organizaciones internacionales, incluida la UNU-INWEH y el PNUD.

Líneas de investigación: economía y política del agua, gestión integral del agua, análisis de vulnerabilidad y riesgos del agua y la prestación de sus servicios, mitigación y adaptación al cambio climático, política del cambio climático, GCM y RCM. Correo Elec.: fssosa@gmail.com