



# *Impluvium*

Periódico digital de divulgación de la Red del Agua UNAM  
Número 2, Julio - Septiembre 2014

# Agua y Energía



# PRESENTACIÓN

GIAN CARLO DELGADO RAMOS  
INVESTIGADOR DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES  
INTERDISCIPLINARIAS EN CIENCIAS Y HUMANIDADES, UNAM

**D**el total del agua en el planeta, unos 1,400 millones de m<sup>3</sup>, sólo el 2.5% es agua dulce, misma que es la principal fuente de abastecimiento del ser humano ya que la desalación de agua es energética y económicamente muy costosa y, en todo caso, sólo viable en algunas zonas costeras.

Dado los crecientes niveles de contaminación, el agua dulce es cada vez de menor calidad, y no sólo, su localización está cambiando debido a la alteración del ciclo hidrológico, entre otras cuestiones por efecto del cambio climático. Las tendencias históricas y las estimaciones para el 2050 consideran que hay razones suficientes

para proyectar un aumento de la disponibilidad de agua en altas latitudes y zonas tropicales y un decremento en latitudes medias y regiones secas; escenario en el que claramente las comunidades más pobres serán las más vulnerables, en particular las mujeres y niños. De hecho, esas son hoy día las personas más vulnerables de entre las aproximadamente mil millones de personas que carecen de acceso a fuentes de agua y de entre los 2.5 mil millones que carecen de servicio de saneamiento. Y es que las desigualdades en el acceso, gestión y usufructo del agua dulce son notorias.

Hoy por hoy los mayores consumidores del planeta, en términos de las extracciones de agua dentro de las fronteras nacionales (sin considerar el agua virtual que se comercializa en el mercado internacional), son China, India y EUA. No obstante, si se mira ese mismo consumo a nivel per capita, los países desarrollados, comenzando por EUA, consumen mucha más agua que la gente que vive en los países en desarrollo.

La situación ya es compleja y se refleja concretamente en el hecho de que un tercio de la población mundial (casi 2.4 mil millones de personas) vive en regiones con escaso acceso al agua. Además el problema de la calidad del líquido es, como se dijo, también grave, de ahí que unas 3 mil 500 personas mueran al día por enfermedades vinculadas al agua; 98% de las cuales ocurren en los países en desarrollo.

Las asimetrías son pues evidentes, los conflictos por el líquido una realidad que se agudiza y los retos para afrontar el problema son cada

vez mayores pero urgentes de resolver. En tal escenario, la reflexión académica, tanto teórica como empírica, viene contribuyendo en la búsqueda y/o construcción de soluciones puntuales.

En este número, sin dejar de lado la importante discusión de lo político-social, se hace especial énfasis en el tema del nexo agua-energía. Las perspectivas y casos temáticos expuestos son diversos, dando así cuenta de la amplitud de rutas por las que transitan tanto los retos como la búsqueda de soluciones a la crisis del agua y la crisis climática. ♦



# *Impluvium*

***Impluvium*** es una publicación de la Red del Agua UNAM; puede ser reproducida con fines no lucrativos, siempre y cuando no se mutile, se cite la fuente completa y su dirección electrónica. Las opiniones declaradas en la publicación son responsabilidad de sus autores.

---

**Dr. Fernando J. González Villarreal**  
Coordinador Técnico Red del Agua UNAM

Consejo editorial:  
**Malinali Domínguez Mares, Jorge Alberto Arriaga Medina**

Editor invitado:  
**Gian Carlo Delgado Ramos**

Diseño y formación:  
**Joel Santamaría García**

Periódico digital de divulgación de la Red del Agua UNAM.  
Número 2, Agua y Energía,  
Julio - Septiembre 2014

[www.agua.unam.mx](http://www.agua.unam.mx)

---

# CONTENIDO

**Presentación** ..... 2

GIAN CARLO DELGADO RAMOS

## ARTÍCULOS

**Nexo agua-energía en la Zona Metropolitana del Valle de México** ..... 6

GIAN CARLO DELGADO RAMOS

**Agricultura de regadío en México: el nexo agua-energía** ..... 16

IVONNE HERNÁNDEZ-VÁZQUEZ

**Perspectivas de la energía hidráulica en México** ..... 24

FERNANDO GONZÁLEZ VILLARREAL

MALINALI DOMÍNGUEZ MARES

JORGE ARRIAGA MEDINA

## NOTA INFORMATIVA

**Producción de bio-combustibles (hidrógeno y metano) mediante el tratamiento anaerobio de las aguas residuales** ..... 36

CHRISTIAN E. HERNÁNDEZ-MENDOZA

# NEXO AGUA-ENERGÍA EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO

GIAN CARLO DELGADO RAMOS<sup>1</sup>

## RESUMEN

*Se abre con una sucinta descripción de los retos de disponibilidad de agua frente al cambio climático de la Zona Metropolitana del Valle de México. A continuación se presenta desde una perspectiva metabólica el flujo de agua y sus dimensiones para posteriormente ahondar en estimaciones sobre el nexo agua-energía y consecuentemente en las aportaciones de gases de efecto invernadero tanto a nivel de la ciudad como de la zona metropolitana de estudio. Se concluye precisando la necesidad de una planeación metabólica integral.*

Palabras clave: nexo agua-energía, metabolismo urbano, mitigación, cambio climático.

<sup>1</sup> Investigador titular "A", de T.C., definitivo, del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades de la UNAM. Integrante del Sistema Nacional de Investigadores del CONACYT. Este trabajo ha sido publicado como versión similar y extensa, en: Delgado Ramos, Gian Carlo. "Ciudad, agua y cambio climático". Medio Ambiente y Urbanización. Vol. 80. No. 1. Buenos Aires, Argentina, 2014. Pp. 95-123.

El análisis del flujo de agua desde una perspectiva metabólica urbana<sup>2</sup>, pero aún más, de las diversas interconexiones de ese flujo al consumo de energía, resulta relevante tanto en términos socioecológicos y políticos, como climáticos. El caso de estudio comprende la denominada región hidropolitana de la ZMVM (Perló y González, 2009) o lo que Peña (2012) prefiere calificar como ciudad-cuenca y que refiere, en este caso, a la articulación de cuatro cuencas que de modo natural no tienen conexión alguna: la cuenca del Valle de México, la del Alto Lerma, la del Cutzamala y la de Tula.

El resultado de la gestión particular del agua en un contexto socio-ambiental dado, ha sido la apropiación/despojo de agua de cuencas vecinas y la expulsión de agua excedentaria y residual hacia otra. Así, mientras las primeras tres cuencas abastecen los flujos de entrada de agua, la

<sup>2</sup> El metabolismo urbano alude al análisis de las ciudades desde una perspectiva de los flujos de energía y materiales que la abastecen y de los flujos de energía y materiales que disipan (usualmente a otros territorios). Estudios más recientes se han preocupado por analizar el stock material de las ciudades, esto es, de la energía incorporada en los materiales que dan cuerpo a la infraestructura urbana. Wolman (1965) es precursor en los estudios empíricos de metabolismo urbano, seguido de modo destacado por Baccini y Bruner (1990 y 2012), Kennedy, Cuddihy y Engel-Yan (2007), entre otros.

última es destino de los flujos de salida de agua, incluyendo aquella que fluye como resultado de lluvias intensas y que históricamente han tendido a inundar el Valle de México en tanto que, la ciudad, está emplazada sobre un sistema endorreico que ha sido desecado progresivamente desde la colonia y concretamente a partir de la construcción del Real Canal de Huehue-

*El resultado de la gestión particular del agua en un contexto socio-ambiental dado, ha sido la apropiación/despojo de agua de cuencas vecinas y la expulsión de agua excedentaria y residual hacia otra.*

sistema en conjunto permite hoy día expulsar de la cuenca unos 57m<sup>3</sup>/s.

No sobra mencionar que aunque en el Distrito Federal la precipitación normal anual es de 863 mm (con base en la media de 1971 al 2000), las lluvias se han tornado cada vez más

toca (1607) el tajo de Nochistongo (1789), el primer (1905) y segundo (1954) túnel de Tequixquiac, el drenaje profundo (1975), y mas recientemente el emisor poniente (2010). El

intensas y durante periodos más cortos (de Junio a Septiembre), así, desde 1979 se registra un aumento de agua del orden del 7% (en la estación de Tacubaya se pasó de 600 mm en 1900 a 900 mm a fines de la primera década del siglo XXI). Dicha situación, aunado a la proyección en un contexto de cambio climático al 2050 del aumento en la cantidad e intensidad de las precipitaciones, sobre todo en época de lluvias (Aponte, 2013), obliga a mantener a punto tanto el sistema de abastecimiento como el de túneles, emisores y drenaje profundo que expulsa el agua fuera del valle, ello en tanto que hay una relación directa con el grado de vulnerabilidad de la ciudad a inundaciones.<sup>3</sup> Pese a todo, el incremento en la cantidad e intensidad de las precipitaciones al 2050, no significa una disponibilidad futura suficiente de agua para la ZMVM pues la demanda de agua proyectada seguiría siendo mayor (Ibid).

<sup>3</sup> De hecho se verifica de manera persistente la inundación de ciertas zonas de la ciudad, incluyendo el desbordamiento de aguas residuales en zonas como el Valle de Chalco e Ixtapaluca. Producto de la falta de saneamiento del sistema de desalajo de agua afuera de la ciudad y de lluvias cada vez más intensas, en 2010 el desbordamiento dejó a casi 25 mil personas sin hogar.

## Análisis metabólico del agua en la ZMVM

Como se observa en la Figura 1, los flujos de entrada al Distrito Federal son principalmente: 1) más de 600 pozos que extraen agua del acuífero del Valle de México ( $\sim 59 \text{ m}^3/\text{s}$ ), actualmente sobreexplotado a un ritmo de hasta un metro de caída anual en el nivel estático (déficit de unos  $\sim 28 \text{ m}^3/\text{s}$ )<sup>4</sup>; 2) el agua proveniente del sistema de las cuencas del Lerma ( $\sim 5 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y Cutzamala ( $\sim 15 \text{ m}^3/\text{s}$ ); y 3) manantiales y ríos urbanos ( $\sim 2 \text{ m}^3/\text{s}$ ) (Burns, 2009). En conjunto abastecen el grueso del agua que se distribuye en el Distrito Federal a través del Sistema de Aguas de la Ciudad - SACMEX<sup>5</sup> y en el Estado de México a través de la Comisión del Agua del

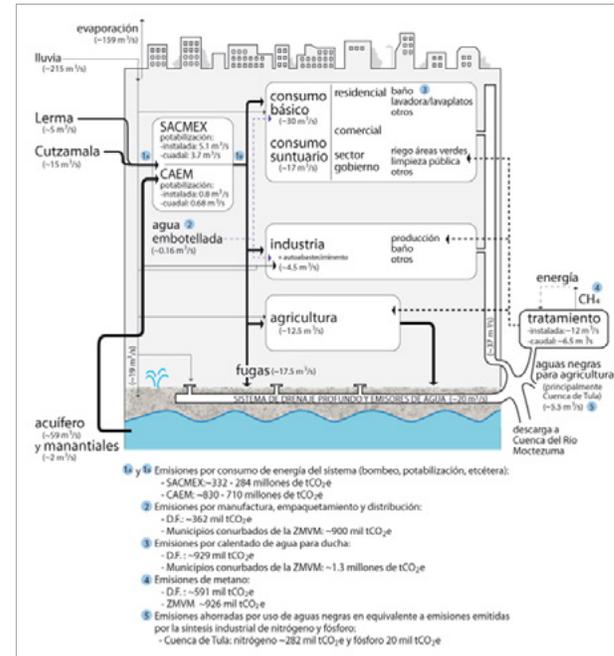


Figura 1. Metabolismo urbano del agua de la ZMVM.

Fuente: elaboración propia con base en Burns, 2009; Delgado, 2014<sup>8</sup>; SMA-DF, 2012; SEMARNAT/CONAGUA, 2012; y datos de INFO-DF.

Diseño gráfico: Ángeles Alegre Schettino.

<sup>4</sup> Los pozos se ubican en la zona limítrofe del antiguo lecho lacustre (por ejemplo: Sierra las Cruces, acuífero de Texcoco) donde las arcillas, que no permiten la infiltración de agua, tienen un espesor menor. El acuífero se encuentra sobre explotado debido, tanto a los ritmos de extracción como también por la pérdida de capacidad de infiltración y de autorregulación de la cuenca con respecto a los picos de lluvia, a causa de la expansión urbana que “sella” o “asfaltiza” el suelo, sobre todo de las sierras que originalmente rodeaban la ZMVM (también por la erosión de las zonas de conservación y de la reducción de la capa de hielo en los volcanes Popocatepetl e Iztaccihuatl). La extracción histórica de agua del agua es: unos  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  en 1870;  $\sim 22 \text{ m}^3/\text{s}$  en 1952 (ya con déficit pues la recarga era sólo de  $19 \text{ m}^3/\text{s}$ ); y a partir de 2007 de unos  $59 \text{ m}^3/\text{s}$  (Burns, 2009).

<sup>5</sup> El Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX) articula las empresas privadas concesionarias del servicio. Para ello, la Ciudad de México se dividió en cuatro zonas, cada una a cargo de un grupo empresarial: 1) Proactiva Medio Ambiente SAPSA de la mexicana ICA y la francesa Veolia; 2) Industrias del Agua de la Ciudad de México S.A. de C.V. de la mexicana Peñoles y la francesa Suez; 3) Tecnología y Servicios de Agua S.A. de C.V también de Peñoles y Suez; y 4) Agua de México, S.A. de C.V. de capital mexicano.

Estado de México (CAEM), a lo que se suman sistemas de autoabastecimiento de la industria, servicio de pipas irregular (no dependiente de las entidades de gobierno antes indicadas) y además, de pozos clandestinos cuyo número exacto se desconoce pero se estima entorno a 2,250 (Peña, 2012).

Asimismo, la ZMVM importa agua para beber embotellada de diversos lugares, el grueso del país, pero no sólo, también del extranjero. El consumo estimado para el Distrito Federal es del orden de 2.07 hm<sup>3</sup>/año y el de los municipios del Estado de México e Hidalgo parte de la ZMVM de 3.1 hm<sup>3</sup>/año, esto es en conjunto unos ~0.16 m<sup>3</sup>/s, no obstante, se calcula que el total de agua embotellada demanda al año por la ZMVM, considerando el agua adicional necesaria para su producción (agua virtual) en 8.78 hm<sup>3</sup>/año.<sup>6</sup> Cabe precisar que 76.94% de la población del D.F. consume agua de garrafón o embote-

llada mientras que sólo el 10.84% la hierve, el 4.37% la filtra o purifica por otros métodos y el 4.58% la toma tal y como la recibe (Jiménez et al, 2011). Consumos similares se observan en los municipios conurbados de la ZMVM.

Sin considerar el agua embotellada, el consumo de agua en el DF, el área del la ZMVM con mayores problemas de disponibilidad del líquido, promedia unos 327 litros per cápita al día, cantidad a la que hay que restar una pérdida en fugas de entre el 35% y el 40% (Jiménez et al, 2011; Peña, 2012). El dato no es menor en términos ambientales, sobre todo cuando se toma nota de que poco menos de la tercera parte del agua, y que llega del complejo Lerma-Cutzamala, debe ser bombeada 1,100m adicionales sobre el nivel del mar (la energía empleada para ello representa el 80% de los costos de operación del sistema) (Aponte, 2013).<sup>7</sup> Y aún más, en el caso

<sup>6</sup> Estimación con base al consumo per cápita nacional para 2009 de 235 litros al año (Delgado, 2014a). Para calcular el agua virtual se utiliza el promedio de agua indirecta que demanda cada litro de agua embotellada, mismo que se estima en 700 ml adicionales según datos de 2010 de FEMSA Coca-Cola y Nestlé-México.

<sup>7</sup> Las presas del Sistema Cutzamala (tres de almacenamiento y cuatro derivadoras) almacenan agua del río del mismo nombre, excepto la presa Chilesdo, que aprovecha el agua del Río Malacatepec. La ubicación de las presas en orden ascendente de acuerdo a la trayectoria de los ríos es: a) Tuxpan y El Bosque, en Michoacán; b) Colorines, Ixtapan del Oro, Valle de Bravo, Villa Victoria y Chilesdo, en el estado de México. Las presas derivadoras son: Tuxpan con una capacidad de cinco hectómetros cúbicos, se encuentra a una elevación de 1751 msnm; la presa Ixtapan del Oro con capacidad de medio hectómetro cúbico, a una elevación de 1741 msnm; Colorines y Chilesdo con una capacidad de uno punto cinco millones de metros cúbicos cada una y a una

del Lerma, la capacidad instalada se ha reducido de  $15\text{m}^3/\text{s}$  a  $\sim 5\text{m}^3/\text{s}$  debido a hundimientos registrados a lo largo del sistema derivados del sobre-bombeo de acuíferos de la zona (ello ha incrementado además los costos en bombeo de agua de las ahora zonas bajas del sistema a las altas).

Con todo, la disponibilidad de agua es sin embargo asimétrica pues la distribución va de 177 litros en la delegación Tláhuac hasta los 525 litros en la delegación Cuajimalpa. Las delegaciones con los asentamientos de mayores ingresos se ubican en el rango de consumo de los 400 a 525 litros al día per cápita (con base en Jiménez et al, 2011).<sup>8</sup>

A la cuestión de la cantidad de agua también se suman las desigualdades en la calidad del agua recibida (Jiménez et al, 2011; Díaz-San-

---

elevación de 1629 y 2396 msnm, respectivamente. Las presas de almacenamiento son: El Bosque, con una capacidad de  $202\text{Mm}^3$  a una altura de 1741 msnm; Valle de Bravo, con  $394.4\text{Mm}^3$  a una elevación de 1768 msnm; y Villa Victoria, con  $186\text{Mm}^3$  a una elevación de 2545 msnm. Este Sistema está integrado por seis macroplantas de bombeo, que en conjunto vencen un desnivel que supera los 1100 m (Aponte, 2013).

<sup>8</sup> El 38.4% de la población del D.F. recibe agua algunas horas al día mientras que el 61.5% la recibe todo el día. No obstante, en promedio el 52%-53% de la población más pobre y medianamente pobre recibe agua sólo algunas horas al día, porcentaje que en las zonas menos pobres se ubica en tal sólo el 18%-19% (Jiménez et al, 2011).

tos, 2012), situación que refleja las limitaciones de capacidad real de potabilización por parte del SACMEX, entidad que cuenta con 38 plantas potabilizadoras en operación con una capacidad instalada de  $5.1\text{m}^3/\text{s}$  y un caudal potabilizado de sólo unos  $3.7\text{m}^3/\text{s}$  (SEMARNAT/CONAGUA, 2012; INEGI, 2014). A tal capacidad se suman 3 plantas más correspondientes a los municipios del Estado de México que corresponden a la ZMVM (dos en Chimalhuacán y una en Tlaxmalco) con una capacidad instalada de  $0.8\text{m}^3/\text{s}$  y un caudal real de  $0.68\text{m}^3/\text{s}$  (SEMARNAT/CONAGUA, 2012).

### Nexo agua-energía: una estimación de emisiones GEI.

Ahora bien, en lo que respecta al nexo agua-energía del descrito flujo metabólico del agua, tal y como se indica en la Figura 1, cabe precisar que el SACMEX utilizó un total de 570.98 millones de KWh con lo que, entre otras cuestiones, se bombearon 715,141.8 millones de  $\text{m}^3$  de agua de un total de 953,522 millones de  $\text{m}^3$  dis-

tribuidos (el volumen restante se mueve por gravedad) (INFODF, 2014: FOLIO 0324000009414). Las emisiones asociadas por m<sup>3</sup> de agua gestionado por el SACMEX en el 2013 ascienden a 0.349gr - 0.298gr de CO<sub>2</sub>, lo que totaliza emisiones para ese año del orden de 332,712 a 284,349 tCO<sub>2</sub>.<sup>9</sup> Del lado de los flujos de agua residual, las emisiones de metano para la ZMVM se estiman en ~1.5 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>e (SMA-DF, 2012).

A lo anterior se suman las emisiones a nivel del usuario final, dimensión en la cual las emisiones residenciales son las de mayor peso. El uso de energía responde a procesos de calentamiento (o enfriamiento) de agua, lo cual demandó en 2005 alrededor del 17% de la energía total consumida en los hogares de países desarrollados (IEA, 2008), una proporción que se estima

mucho mayor para el caso de países en desarrollo donde por lo general se usan tecnologías menos eficientes. En el caso de México, la Secretaría de Energía (SENER, 2014) estima que el calentado de agua es el tercer gasto más grande en los hogares al representar un 13% del total de energía consumida en ese sector, razón por la cual se recomienda tomar una serie de medidas para su disminución: usar menos agua caliente, bajar la temperatura del termostato del calentador el cual idealmente debe ser nuevo y eficiente (los de paso, o sin tanque de agua, ahorran hasta 30%)<sup>10</sup>, o instalar sistemas solares para calentar el líquido.

En 2006 la estimación del consumo de energía en la ZMVM relacionado a calentar el agua fue de 31.2 PJ o el 46% del total del consumo de energía en el sector residencial; las emisiones asociadas ascendieron a 1,949,224 ton de CO<sub>2</sub> (SMA-DF, 2008: 45); datos para 2010 precisan un

<sup>9</sup> Cálculo con base en las dos metodologías de estimación del factor de emisión por electricidad en México: 1) la de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía que supone con base en el consumo de energía eléctrica una emisión por MWh de 0.5827 tCO<sub>2</sub>; y 2) la del Programa México que parte de la generación de energía eléctrica y estima una emisión por MWh de 0.498 tCO<sub>2</sub> (SEMARNAT/INECC, 2012: 42). El costo económico por energía empleada y derechos pagados fue de \$0.035 pesos por m<sup>3</sup>, cálculo con base en un costo por kWh para 2013 de \$2.2 pesos (el promedio de tarifa especial para servicios públicos). El monto total por energía empleada se estima para el 2013 en 1256 millones de pesos, mientras que el pago a CONAGUA por derechos fue de 2,086 millones de pesos (con base en solicitud INFO-DF, folio: 032400009414-1/2014).

<sup>10</sup> En México el consumo aproximado de un calentador convencional a gas LP para una ducha diaria se ubica en unos 110kg/año, los de gas natural en unos 150m<sup>3</sup> al año y los de electricidad en 383.25 kWh/año, siendo los factores de emisión anuales de 330 kg de CO<sub>2</sub>, 322.5 kg de CO<sub>2</sub> y 202 kg de CO<sub>2</sub>, respectivamente (<http://vivienda.inecc.gob.mx/index.php/energia/los-usos-en-el-hogar/calentamiento-de-agua>).

consumo de energía en dicho rubro de 33 PJ, es decir un consumo anual per cápita de 1,654 GJ y emisiones anuales per cápita promedio de 105 kg de CO<sup>2</sup>e (SMA-DF, 2012).<sup>11</sup> Si se asume una población actual para la ZMVM de 22 millones de habitantes, las emisiones para calentar agua rondan los 2.3 millones de toneladas de CO<sup>2</sup>.

Por su parte, las emisiones asociadas al consumo de agua embotellada, considerando la manufactura, el empaquetamiento y distribución ascienden a 362.4 mil ton de CO<sup>2</sup>/año para el D.F. y a 900.9 mil ton de CO<sup>2</sup>/año para la ZMVM.<sup>12</sup> No sobra agregar que los residuos plásticos generados por el consumo de agua embotellada suman a unas 80,351 toneladas para el caso del D.F. y a 199,742.4 toneladas para la ZMVM.<sup>13</sup> Se trata de residuos que deberán ser recogidos y en su caso reciclados o desechados, cuestión que demanda consumos de energía importantes que

bien podrían ser disminuidos o evitados (a lo que se agregan los impactos ambientales derivados de la disposición de crecientes cantidades de plásticos en el medio ambiente).

De modo similar, las emisiones evitadas por el uso de aguas negras, un proceso que recupera los nutrientes del agua (fósforo y nitrógeno) y que por lo tanto ya no han de ser sintetizados industrialmente, se estiman tanto para la superficie del Tula como del Valle de México en unas 414.5 mil toneladas de CO<sup>2</sup>e.<sup>14</sup> En este contexto debe advertirse que si bien existen medidas para el uso seguro de aguas residuales (Duncan y Cairncross, 1989), éstas ciertamente no se implementan en el caso de análisis en tanto que, por ejemplo, es necesario remover sustancias tóxicas y patógenos mediante procesos de tratamiento previos a la irrigación.

Por todo lo antes dicho, y considerando que las emisiones totales de GEI por uso de electricidad en ZMVM, el calentado de agua a nivel

<sup>11</sup> El cálculo para ambos años asume cuatro duchas a la semana por cada habitante de la ZMVM con un uso de 45 litros por ducha (SMA-DF, 2008; SMA-DF, 2012). Desde luego tal cálculo depende de los hábitos por lo que una persona que se ducha seis veces a la semana, empleando 65 litros de agua caliente, emitirá en cambio 208 kg de CO<sup>2</sup>e al año (SMA-DF 2012).

<sup>12</sup> Estimación de emisiones con base en un factor de 175gr por litro de agua embotellada, según información de Nestlé-México (en Delgado, 2014a).

<sup>13</sup> Estimación de generación de residuos plásticos de 38.8gr (botella + empaques secundarios) por litro de agua embotellada, según información de Nestlé-México (en Delgado, 2014a).

<sup>14</sup> Las aguas residuales contienen un 97% agua y 3% materiales sólidos (orgánicos e inorgánicos). Los factores utilizados para el cálculo de emisiones son: 6.41 kg de CO<sup>2</sup>e por kilogramo de nitrógeno y 1.18 kg de CO<sup>2</sup>e por kilogramo de fósforo (con base en estimaciones de García et al, 2011).

residencial, el consumo de agua embotellada y la emisiones de metano de las aguas residuales, ascienden a unos 5 millones de ton de CO<sub>2</sub>e (el 9% de las emisiones de GEI contabilizadas en 2010)<sup>15</sup>, es válido sostener que la planeación del metabolismo urbano del agua puede claramente generar sinergias positivas cuando se la hace a la par de otras dimensiones como lo es la energética (incluyendo el tratamiento de aguas residuales asociado a la captura de metano), la gestión de residuos y el mantenimiento de sistemas de agua que en muchas ocasiones arrastran consigo grandes cantidades de plásticos y otros residuos orgánicos e inorgánicos. A ello se suma el beneficio del cierre del ciclo de nutrientes mediante el uso de aguas residuales en la agricultura y que, en el caso de estudio tal y como se dijo, ayuda a evitar la emisión de poco menos de medio millón de toneladas. Se trata de una medida que

<sup>15</sup> El total de emisiones de la ZMMM para 2010 fue de 54,700 Gg de CO<sub>2</sub>e (SMA-DF, 2012). Dado que se desconoce si la energía empleada por las plantas de tratamiento está o no incluidas en las emisiones inventariadas bajo el rubro de "tratamiento de agua" del Inventario de Emisiones de la ZMMM, no se han contemplado las emisiones de operación de dichas plantas de tratamiento con el fin de evitar una doble contabilidad. Y es que nótese, las emisiones de operación de las plantas de tratamiento son distintas al metano liberado por las aguas residuales. En todo caso, la estimación es la más conservadora.

bien implementada, tomando las medidas necesarias para proteger la salud y el medio ambiente, sería deseable tanto ambiental como climáticamente hablando.

## Conclusión

En términos de mitigación climática es central reducir el consumo energético de todo el sistema de aguas y el destinado al calentamiento de la misma dentro de los hogares. Asimismo, el consumo de agua embotellada debería evitarse tanto por el costo energético como y ambiental que representa (el emplazamiento de bebederos en escuelas públicas, contemplado en la recién aprobada reforma a la Ley General de la Infraestructura Física Educativa, en Marzo de 2014, bien puede ayudar en este sentido aunque la iniciativa debería ser ampliada a todos los espacios públicos posibles; al respecto léase Delgado, 2014b). Otras medidas incluyen normas de construcción y diseño y codiseño de infraestructuras urbanas para promover sinergias y reducir ineficiencias derivadas de una aproxi-

mación especializada (en lugar de cada vez más integral). Lo dicho a nivel de departamentos, casas, edificios, oficinas y fábricas, incluye tanto medidas para el reuso de aguas grises como para disminuir la energía necesaria para el bombeo (se estima que cada seis pisos de construcción agrega un consumo energético asociado al bombeo de agua de 0.15 KWh por m<sup>3</sup>; Cheng, 2002). Y aunque los impactos más allá de las fronteras de un asentamiento seguramente persistirán, se afirma que es posible sin embargo reducir la huella hídrica y la huella de energía conforme nuevos principios de diseño en la gestión del agua se incorporen a los proyectos de construcción y renovación de infraestructura (Nelson, 2012), pero más aún, a esquemas de planeación integral, con justicia socioambiental, desde una perspectiva propia del metabolismo urbano. ♦

## Referencias

- Aponte Hernández, Nidya Olivia. 2013. “Metodología para evaluar la disponibilidad del agua para uso municipal y sus costos bajo los escenarios de cambio climático”. Programa de Posgrado en Ingeniería Ambiental. Posgrado de Ingeniería, UNAM. México.
- Baccini, P., y Brunner, P. 1990. *Metabolism of the Anthroposphere*. First Edition. MIT Press. Cambridge, MA. / Londres.
- . 2012. *Metabolism of the Anthroposphere. Second Edition*. MIT Press. Cambridge, MA. / Londres.
- Burns, Elena (coordinadora). 2009. *Repensar la Cuenca: la gestión de los ciclos del agua en el Valle de México*. UAM-X/USAID. México.
- Cheng, C. 2002. “Study of the Inter-Relationship Between Water Use and Energy Conservation for a Building.” *Energy and Buildings*. Vol. 34. No. 3. Pp. 261-266.
- Delgado-Ramos, Gian Carlo. 2014a. “El negocio del agua embotellada”. *Realidad Económica*. No. 281. Instituto Argentina para el Desarrollo Económico. Buenos Aires, Argentina. 1ro de Enero al 15 de Febrero.
- . 2014b. “Agua, obesidad y política pública”. La Jornada de Oriente. Puebla, Puebla. 27 de Enero.
- Duncan Mara y Cairncross, Sandy. 1989. *Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture*. Orga-

- nización Mundial de la Salud. En línea: <http://whqlibdoc.who.int/publications/1989/9241542489.pdf>
- García, Carlos., Fuentes, Alfredo., Hennecke, Anna., Riegelhaupt, Enrique., Manzini, Fabio y Masera, Omar. 2011. “*Life-cycle greenhouse gas emissions and energy balances of sugarcane ethanol production in Mexico*”. *Applied Energy*. Vol. 88. No. 6. Pp. 2088-2097
- IEA - International Energy Agency. 2010. *Key World Energy Statistics*. International Energy Agency. Paris, Francia.
- Jiménez Cisneros, Blanca., Gutiérrez Rivas, Rodrigo., Marañón Pimentel, Boris., y González Reynoso, Arsenio (coord.). 2011. *Evaluación de la política de Acceso al agua potable en el Distrito Federal*. PUEC-UNAM. México.
- Kennedy, C., Cuddihy, J., y Engel-Yan, J. (2007). *The Changing Metabolism of Cities*. *Journal of Industrial Ecology*, 11(2), 43-59.
- Nelson, Valerie. 2012. “*Achieving the water commons - the role of decentralised systems*”, en: Howe, Carol y Mitchell, Cynthia. *Water Sensitive Cities*. IWA Publishing, Londres, Reino Unido.
- Peña Ramírez, Jaime. 2012. *Crisis del agua en Monterrey, Guadalajara, San Luis Potosí, León y la Ciudad de México (1950 – 2010)*. PUEC-UNAM. México.
- Perló, Manuel y González, Arsenio. 2009. *¿Guerra por el agua en el Valle de México? Estudio sobre las relaciones hidráulicas entre el Distrito Federal y el Estado de México*. PUEC-UNAM. México.
- SEMARNAT/CONAGUA. 2012. *Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación*. México, 2012.
- SEMARNAT/INECC. 2012. *México – Quinta comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. México. En línea [consultado el 29/03/14]: [www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/685.pdf](http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/685.pdf)
- SENER – Secretaría de Energía. 2014. “*Calentador de Agua*”. Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. México. En línea: [www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/calentadores\\_de\\_agua](http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/calentadores_de_agua)
- SMA-DF – Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal. 2008. *Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México, 2006*. Gobierno del Distrito Federal. México.
- . 2012. *Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México, 2010*. Gobierno del Distrito Federal. México.
- Wolman, A. 1965. “*The metabolism of cities*.” *Scientific American*. 213(3): 179-190.
- Villalonga, A., (2007) *El imperialismo hidráulico de los Aztecas en la cuenca de México*, en *Tecnología del Agua*, Año nº 27, Número 288, México.
- Conagua (2009) *Semblanza histórica del agua en México*. <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGP-28SemblanzaHist%C3%B3ricaM%C3%A9xico.pdf> [Consultado en noviembre de 2013].

# AGRICULTURA DE REGADÍO EN MÉXICO: EL NEXO AGUA- ENERGÍA

IVONNE HERNÁNDEZ-VÁZQUEZ<sup>1</sup>

El presente texto tiene como propósito mostrar algunos datos importantes sobre la relación agua-energía en el sector agrícola. Se parte de la premisa que el nexo entre estos recursos es indisociable y que la eficiencia en la gestión de la energía y del agua debe garantizar la sustentabilidad en la agricultura mexicana.

México ocupa el sexto lugar a nivel mundial en infraestructura productiva agrícola, con 6.3 millones de hectáreas irrigadas. La agricultura de riego aporta el 50% del producto agrícola nacional y el 70% de las exportaciones sectoriales (CONAGUA, 2013).

La agricultura en México es el mayor uso consuntivo de agua. En el año 2012, registró el 76.7% de la extracción total de agua en el país, preponderantemente de origen superficial (40,570 hm<sup>3</sup>), seguido del subterráneo (20,920

.....  
*... el nexo entre estos recursos es indisociable y la eficiencia en la gestión de la energía y del agua debe garantizar la sustentabilidad en la agricultura mexicana.*  
.....

hm<sup>3</sup>). La agricultura es entonces el uso consuntivo que tiene el mayor volumen concesionado en el Registro Público de Derechos de Agua, con un total de 56 589.7 hm<sup>3</sup> y 159,590 títulos de concesión. De estos títulos, el 81.7% concesiona aguas subterráneas y el 18.28% aguas superficiales, con un volumen de extracción del 34.7% y 65.3%, respectivamente.

Los mayores volúmenes concesionados o asignados para uso agrícola se dan en las regiones hidrológico-administrativas VIII-Lerma Santiago-Pacífico (11,944.9 hm<sup>3</sup>), III-Pacífico Norte (9,679.6 hm<sup>3</sup>) y VI-Río Bravo (7,818.3 hm<sup>3</sup>), debido a que éstas concentran la más importante

<sup>1</sup> Licenciatura en ciencias ambientales, Centro de Investigaciones en Ecosistema, UNAM.

superficie sembrada en el territorio nacional. En el año agrícola 2011-2012, la región Pacífico Norte registró 752,116 Ha. de superficie sembrada, la de Lerma Santiago-Pacífico, 385,510 Ha. y la del río Bravo, 378,130 Ha.

La agricultura de regadío en México ha tenido notables incrementos desde la década de 1920. A partir de esta época, la mayor parte de las inversiones en materia de riego fueron encaminadas a desarrollar grandes zonas regables y obras hidráulicas (FAO, 2000).

La superficie bajo riego está conformada por los Distritos de Riego (DR) y las Unidades de Riego para el desarrollo rural (UR). Los DR son proyectos de irrigación desarrollados por el gobierno federal en 1926 -año de creación de la Comisión Nacional de Irrigación- e incluyen obras, como vasos de almacenamiento, derivaciones directas, plantas de bombeo, pozos, canales, entre otros (CONAGUA, 2012). Los UR o Urderales, se proponen en la Ley de Aguas de 1972 y se conforman oficialmente en la Ley de Aguas de 1992, éstas proceden de la organiza-

ción del ejido o comunidad para el agua de riego (Palerm, 2009).

Para el año 2012, existían 85 DR, con una extensión de 3.4 millones de hectáreas (CONAGUA, 2013). Mientras que para el año 2007, el INEGI (2009) reportó 630,313 unidades de producción de regadío en 5, 310, 622 hectáreas.

Al analizar la serie histórica de superficie sembrada en el país, obtenida de las Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego, se observa que de

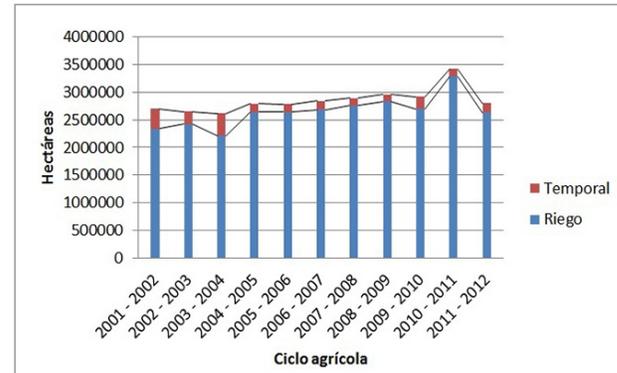


Figura 1. Superficie sembrada (Ha), relación agricultura de Temporal y Riego. Años 2001-2012. Elaboración propia.

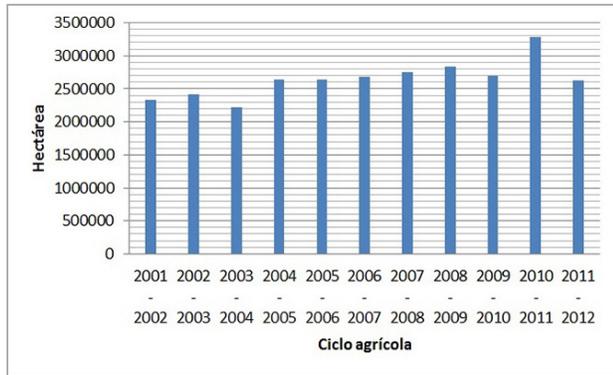


Figura 2. Superficie sembrada (Ha.) en agricultura de riego. Años 2001-2012. Elaboración propia.

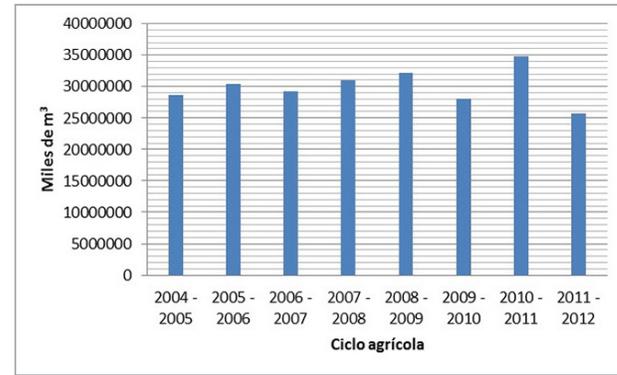


Figura 4. Volumen distribuido en la agricultura de riego. Serie histórica 2001-2012. Elaboración propia.

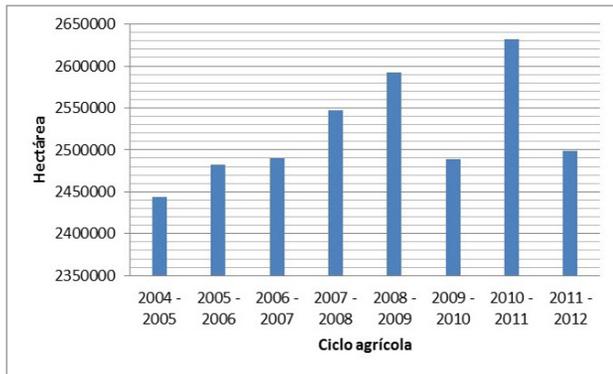


Figura 3. Superficie física regada (Ha.) Serie histórica 2001-2012. Elaboración propia.

los años 2001 a 2012, la agricultura de temporal mostró un decremento en su superficie del 55%, Véase Figura 1. El año agrícola 2010-2011, registró la mayor superficie de riego sembrada y regada en los DR, así como el mayor volumen de agua distribuida durante los últimos 12 años, Véase Figuras 2, 3, 4. Asimismo, durante estos once años, el número de usuarios de regadíos se incrementó un 10%, Véase Figura 5.

De los años 2001 a 2012, un promedio de 62.5% de usuarios agrícolas de los DR utilizan

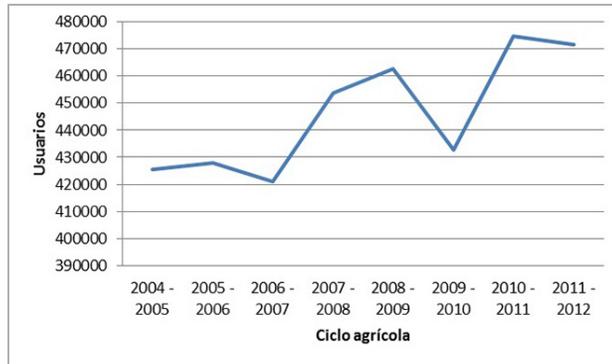


Figura 5. Total de usuarios de agua en regadíos. Serie histórica 2001-2012. Elaboración propia.

como fuente de aprovechamiento la gravedad por presas, seguido por el 27.5% de usuarios que utilizan la gravedad por derivación. En promedio, el 71.5% y 69.3% de los usuarios de ambas formas de aprovechamiento tienen tenencia social de la tierra.

En promedio, el 68.4% de la superficie física irrigada se da a través de gravedad por presas, mientras que la superficie física con sistemas de riego tecnificado, representa el 13.5% de hectáreas, es decir, el 11.6% corresponde al bombeo

de pozos y el 1.9% al bombeo de corrientes. La tenencia de la tierra en las superficies físicas irrigadas es social en los sistemas por gravedad (60% presas; 66% derivación), mientras que el sistema de bombeo de pozos se presenta en tenencia privada (57%).

El volumen promedio distribuido de los años 2001 a 2012 por las presas fue de 18, 177, 764.9 miles de m<sup>3</sup> (63%), por derivación correspondió a 6, 668, 767.3 miles de m<sup>3</sup> (24%), el bombeo de pozos a 3, 266,936.5 miles de m<sup>3</sup> (12%) y el bombeo de corrientes 439, 939 miles de m<sup>3</sup> (2%). El volumen que se distribuyó por presas ocurre preponderantemente en tenencia social de la tierra (62%), contrariamente, el bombeo de pozos ocurre primordialmente en tenencia de tierra privada (53%).

En las unidades de producción con superficie de riego las presas, los pozos profundos y los ríos son las principales fuentes de agua para el riego, contrariamente las fuentes con menor incidencia en la irrigación, son los pozos a cielo abierto, los bordos y los manantiales, Véase Figura 6.

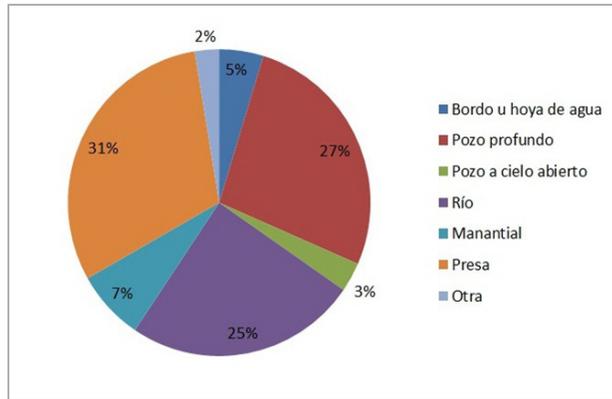


Figura 6. Unidades de riego según fuente de agua utilizada para irrigación, año 2007.  
Elaboración propia.

Lógicamente, al ser las fuentes antes mencionadas, la calidad de agua para la irrigación de los cultivos en México es blanca. En el año 2007, las aguas negras representaron el 11.6% del agua utilizada para este fin, sin embargo, minoritariamente se utiliza agua tratada en el país y en el sector, Véase Figura 7.

Los principales sistemas de irrigación para el año 2007 fueron de gravedad a través de canales de tierra y recubiertos. Los sistemas de riego tec-

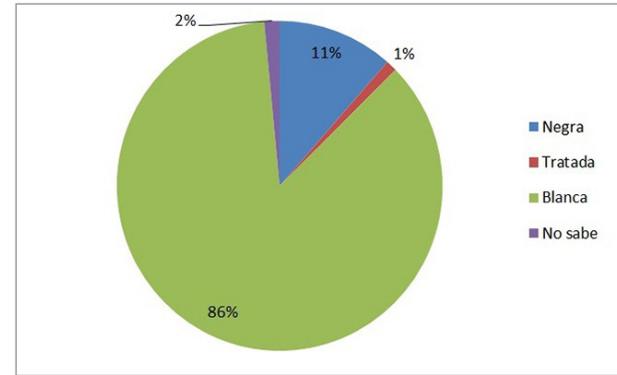


Figura 7. Unidades de riego según calidad de agua utilizada para irrigación, año 2007.  
Elaboración propia.

nificado se dieron a través de la aspersión, goteo y microaspersión, con un porcentaje de entre el 7%, 3% y 1%, respectivamente, Véase Figura 8.

El consumo de energía en la agricultura de regadío en México es variable, depende de muchos factores como son las fuentes de agua, las técnicas de riego empleadas, las fuentes de energía, las condiciones climáticas, edáficas, de los cultivos, los fertilizantes, entre otras. Sin embargo, a continuación se muestra una simplificación que relaciona el consumo de energía

eléctrica en la etapa de captación a través de la extracción de pozos profundos.

Watergy (2011) menciona que en México existen 118 mil pozos para uso agrícola, cuyos típicos sistemas de bombeo son en un 93% pozos profundos con suministro eléctrico. De éstos, alrededor del 70% tienen potencial para mejorar su eficiencia en consumo energético a través de su rehabilitación.

El consumo de energía eléctrica por la agricultura registró un importante incremento en el año 2011, con un aumento del 27.6%. En el periodo 2000-2011 el consumo para bombeo presentó una tasa de 3.0% promedio anual, comportamiento que se asoció a la reducción del riego de temporal en el país por la extensión del periodo de sequía (SENER, 2012).

De 1995 a 2011, las ventas del sector fueron en promedio de 7,984 GWh, Véase Figura 9. Durante ese último año, el bombeo representó un 5.4% de las ventas totales de energía eléctrica del país (SENER, 2012).

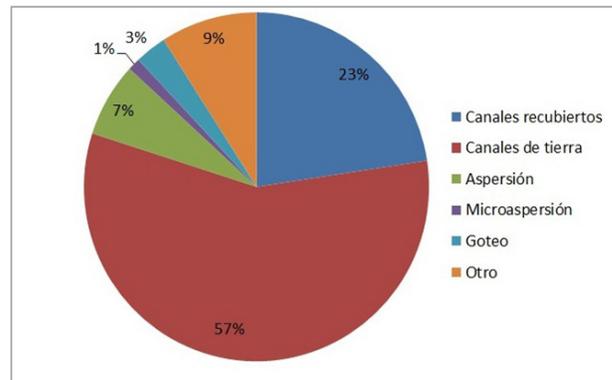


Figura 8. Unidades de riego según sistemas de irrigación utilizado, año 2007. Elaboración propia.

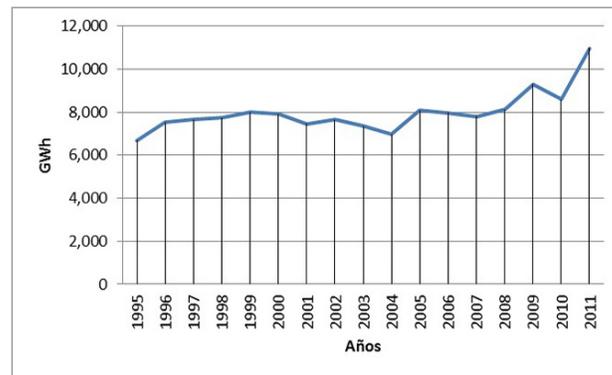


Figura 7. Ventas internas de energía eléctrica sin exportación (GWh) en el bombeo agrícola. Serie histórica 1995-2011. Elaboración propia.

Sobre los costos que supone la electricidad empleada para el bombeo, la mayoría de los usuarios agrícolas son beneficiarios de los estímulos establecidos en la Ley de Energía para el Campo y están clasificados en las tarifas agrícolas de estímulo. Estas tarifas conllevan un subsidio muy elevado y contienen cargos únicos que se ajustan al inicio de cada año, en un monto que se ha mantenido fijo desde su creación en 2003 (2 centavos por kWh para la tarifa diurna y 1 centavo por kWh para la tarifa nocturna) (Ibíd.).

De ahí que el sector agrícola haya recibido la tarifa más baja y casi sin variación en los últimos 15 años. En el 2011, el subsidio a las tarifas agrícolas ascendió a 12,522 millones de pesos. Dichos subsidios se canalizaron en su mayor parte a las tarifas de estímulo, las cuales cubrieron, en 2010, tan solo el 24% del su costo total de suministro (Ibíd.).

Como ha sido posible observar, la agricultura de regadío en México presenta enormes retos en

garantizar la eficiencia del agua y de la energía, debido básicamente a que:

- Los costos reales del agua y la energía hasta el momento no reflejan un precio justo que considere una recuperación íntegra de los recursos y sus externalidades negativas, lo que impide transitar hacia la sustentabilidad del sector agrícola.
- Los programas de modernización y rehabilitación del regadío deberán tener un fin, propósito o justificación más allá de la mejora en el uso y consumo del agua, ya que estos proyectos o programas en su mayoría soslayan los gastos energéticos que supone la tecnificación.
- Otro aspecto a considerar es la relación que puede suponer el incremento entre el gasto eléctrico y la minimización en la disponibilidad hídrica ante periodos de sequía, y lo que ello supondría ante escenarios de cambio climático.
- También es necesario posibilitar el reciclamiento de agua en el sector, para minimizar

la presión consuntiva superficial y subterránea de los cuerpos de agua.

- Es necesario que se amplíe la generación de información sobre el sector agrícola en el país, ya que esto permitiría cuantificar procesos y analizar ampliamente el binomio agua-energía con la consideración de múltiples variables. 💧

### Referencias bibliográficas

CONAGUA. 2012. *Estadísticas del agua en México, edición 2012*. SEMARNAT-CONAGUA.

———. 2013. *Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego. Año agrícola 2011-2012*. Comisión Nacional del Agua. SEMARNAT-CONAGUA. México, D.F.

FAO. 2000. *El riego en América Latina y el Caribe en cifras. Informe sobre temas hídricos* Water Reports. Roma, ISBN: 92-5-004459-3

INEGI. 2009. *Censo Agropecuario 2007, VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal*. Aguascalientes, Ags. 2009.

Palerm, J. 2009. *Las juntas de agua y las unidades de riego en Palerm, J. y Martínez, T. (2009) Aventuras con el agua. La administración del agua de riego: Historia y teoría*. Texcoco, México. Colegio de Posgraduados.

SENER. 2012. *Prospectiva del sector eléctrico 2012-2026*. Secretaría de energía.

Watergy. 2011. *Estudio de sistemas de bombeo agropecuarios en México*. CONUEE/GIZ. México, D.F.

# PERSPECTIVAS DE LA ENERGÍA HIDRÁULICA EN MÉXICO

FERNANDO GONZÁLEZ VILLARREAL<sup>1</sup>

MALINALI DOMÍNGUEZ MARES<sup>2</sup>

JORGE ARRIAGA MEDINA<sup>3</sup>

El desarrollo no es posible sin un acceso universal, sostenible y confiable de energía, sin embargo, de acuerdo a la UN-Energy Knowledge Network, alrededor del 28 por ciento de las personas que habitan en los países en desarrollo y un 70 por ciento en los países menos desarrollados no tienen acceso a la energía eléctrica en la actualidad (UN-Energy Knowledge Network, 2012). A pesar de los esfuerzos que se realizan en la materia para revertir esta condición, la Agencia Internacional de Energía estima que para el 2030, 1.4 mil millones de personas

continuarán careciendo de este servicio si no se adoptan programas y políticas adecuadas a los contextos locales y regionales. Este reto debe afrontarse considerando los principios de sustentabilidad y respeto al ambiente, tal como lo sugirió la Organización de las Naciones Unidas al declarar el 2012 como el Año Internacional de la Energía Sustentable para todos.

El llamado a transformar el actual sistema energético por otro más acorde con los principios de sustentabilidad ha sido bien recibido a nivel internacional, no obstante, la transición requiere de importantes inversiones en infraestructura, ciencia, tecnología y formación de capital humano; de transformaciones en las instituciones y legislaciones nacionales e internacionales de energía para favorecer la gobernabilidad; y, quizá el factor más importante, de un cambio en el comportamiento de los consumidores. El aumento en la participación de las energías renovables es, en este sentido, una condición invariable para empatar los objetivos.

<sup>1</sup> Coordinador Técnico de la Red del Agua UNAM; investigador del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

<sup>2</sup> Coordinadora Ejecutiva de la Red del Agua UNAM.

<sup>3</sup> Coordinador del Observatorio Hídrico del Programa de Apoyo al Desarrollo Hidráulico de los Estados de Puebla, Oaxaca y Tlaxcala.

Las energías renovables han aumentado su participación dentro del consumo total de energía en los últimos años. En 2009, éstas suministraron en conjunto un 16 por ciento del consumo energético global final. Para 2010, este tipo de energías representaron aproximadamente la mitad de los 194 GW de la nueva capacidad de generación eléctrica desarrollada ese año, lo que representó un incremento del 8 por ciento con respecto al año anterior. Actualmente, las energías renovables contribuyen con casi un cuarto de la capacidad mundial de generación y un 20 por ciento de la electricidad del planeta (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2011, p.17).

### Interacciones agua-energía

La relación agua-energía es de carácter dialéctico y mutuamente determinante. El agua es un recurso renovable

susceptible de utilización para la generación de energía. A su vez, diversos procesos relacionados con la recolección, producción, procesamiento, distribución y tratamiento de los recursos hídricos requieren también de un uso intensivo de energía, tal como puede observarse en la tabla siguiente.

Tabla 1. Etapas de la secuencia de operaciones de un sistema de agua potable y residual

ETAPA	NOMBRE DE LA OPERACIÓN	SISTEMAS ELECTROMOTRICES UTILIZADOS	ENERGÉTICO UTILIZADO
CAPTACIÓN	Extracción de Pozo profundo	Sistemas de bombeo de pozo profundo sumergibles o de turbina de flecha.	Electricidad
	Captación de fuente superficial	Sistemas de bombes centrífugos horizontales o verticales.	Electricidad
ACONDICIONAMIENTO	Desinfección	Bombas de dosificación tipo pistón.	Electricidad
	Potabilización	Sistemas de bombeo, ventiladores, agitadores, sopladores centrífugos.	Electricidad
CONDUCCIÓN	Envío de agua potable a la red de distribución	Sistemas de bombeo de pozo profundo sumergibles, de turbina de flecha, centrífugos horizontales o verticales.	Electricidad
DISTRIBUCIÓN	Almacenamiento	No aplica.	
	Rebombeo	Sistemas de bombes centrífugos horizontales o verticales.	Electricidad
	Transporte por pipas	Motores de combustión interna.	Diesel

ETAPA	NOMBRE DE LA OPERACIÓN	SISTEMAS ELECTROMOTRICES UTILIZADOS	ENERGÉTICO UTILIZADO
SANEAMIENTO Y MANEJO DE AGUA PLUVIAL	Captación de Aguas Residuales y pluviales	No aplica.	
	Almacenamiento de Aguas Residuales y/o pluviales	No aplica.	
	Conducción de Aguas Negras y/o pluviales	Sistemas de bombes centrífugos horizontales o verticales.	Electricidad
	Tratamiento y disposición de aguas residuales	Sistemas de bombeo, ventiladores, agitadores, sopladores centrífugos.	Electricidad
OTRAS OPERACIONES	Telemetría y Control	Sistemas de iluminación, equipos electrónicos y en algunos casos sistemas de aire acondicionado.	Electricidad
	Operaciones adicionales y administrativas	Sistemas de iluminación, equipos electrónicos y en algunos casos sistemas de aire acondicionado.	Electricidad

Fuente: Watergy México A.C., 2011, p.3

El consumo de energía eléctrica está presente en la mayor parte del ciclo de operaciones que los Organismos Operadores realizan para conducir el agua potable a los hogares y tratar las aguas residuales. Si se considera que únicamente el 0.008 por ciento de los recursos hídricos del planeta son de fácil acceso para el uso humano directo, es comprensible que aproximadamente el 7 por ciento del consumo mundial total de energía (6,552 petacalorías) esté destinado al suministro de agua. Esta cifra es igual a la suma del consumo energético conjunto de Japón y Tai-

wán. (Alianza para el Ahorro de Energía, Watergy, 2003, p.4)

De acuerdo con la Alianza para el Ahorro de Energía, “en Latinoamérica se gastan entre 1,000 y 1,500 millones de dólares anualmente sólo para bombear agua que nunca llega al usuario final, debido a las fugas del sistema, robos y equipo defectuoso.” (Alianza para el Ahorro de Energía, Watergy, 2003, p.6) Coincidentemente, esta misma cantidad de recursos son los necesarios para proporcionar servicios sanitarios y de agua a toda la población de la región que actualmente no cuenta con ellos. Las características del sistema de bombeo, dentro de las que deben ser incluidas las ineficiencias mencionadas, generan dos efectos colaterales que influyen en el consumo de energía adicional.

El primero de ellos es el resultado de contar con un servicio discontinuo

y de poca presión. Los usuarios construyen cisternas o instalan tinacos, por lo que utilizan bombas centrífugas o sistemas hidroneumáticos conectados a la red eléctrica que, aproximadamente, consumen 15 kWh/año (Watergy México A.C., 2011, p.26). El segundo efecto de la ineficiencia en el sistema es la necesidad de tandeo. Los Organismos Operadores utilizan pipas para complementar el servicio, generando un consumo energético de hidrocarburos, que también debe ser incorporado en el sistema de cuentas.

Si al Índice de Consumo Energético del sistema de bombeo, que representa la relación exacta entre la energía utilizada por un sistema de bombeo de agua potable para producir y distribuir el agua a la población así como el tratamiento después de su uso y disposición final, se le agrega la energía eléctrica en bombeo de agua adicional y el consumo energético de combustible en distribución por pipas, se obtiene el consumo total de energía a nivel nacional relacionado con el sector agua. Según estimaciones de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Ener-

gía, en México se consumen alrededor de 4,300 millones de kWh/año, del total el 88 por ciento corresponde a bombeo municipal, 9 por ciento a pipas y 3 por ciento a bombeo de cisternas.

Además del consumo energético relacionado con el suministro y tratamiento de agua, el recurso hídrico es también productor de energía. La energía hidráulica, a pesar de estar sujeta a un fuerte

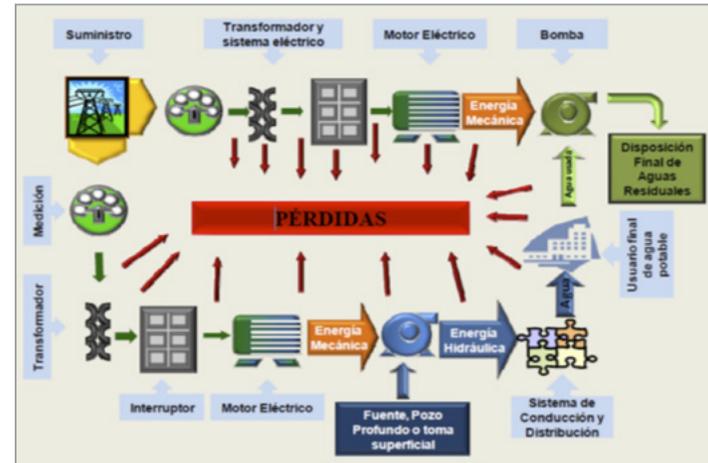


Figura 1. Esquema de un sistema típico de suministro y consumo energético en sistemas de agua potable y saneamiento.

Fuente: (Watergy México A.C., 2011, p.8)

debate sobre si debe ser considerada una energía renovable dados sus efectos sobre el ambiente, es reconocida por Estados Unidos, Canadá, la mayoría de los miembros de la Unión Europea y la propia Organización de las Naciones Unidas como tal. Aunque para algunos sólo deben ser incluidas las pequeñas tecnologías de energía hidráulica instaladas en canales y ríos y que no alteran el flujo natural del agua dentro de la categorización de renovables, lo cierto es que este argumento está ligado a un criterio de sustentabilidad y no al de renovación del recurso. Adicionalmente, el sustituir la producción de electricidad por esta vía requeriría de al menos 1,112 millones de toneladas de carbón, o 4,449 millones de barriles de petróleo, o 26,696 mil millones de pies cúbicos de gas natural, (Gary Frey y Deborah Linke, 2002, p.1264) recursos todos no renovables y con altos impactos ambientales ya comprobados.

### **Energía hidroeléctrica en el mundo**

Dentro de la participación de las energías renovables en el consumo energético mundial, la

energía hidráulica tiene un papel destacado. Ésta constituye un 3.4 por ciento y se estima que tan sólo en 2011 se instalaron entre 25 y 30 GW de capacidad de generación en el planeta por esta vía, fundamentalmente gracias a los proyectos desarrollados en China (International Hydropower Association, 2012, p.5). La energía hidráulica representa alrededor del 16 por ciento de la producción mundial de electricidad y alcanzaba en 2010 una capacidad estimada de 1,010 GW (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2011, p.25).

A pesar de que las tecnologías asociadas a la energía hidráulica, en comparación con las de otras de este tipo, han aumentado a tasas más bajas su capacidad total global –entre 3 y 9 por ciento por año en términos generales y entre 1 y 4 por ciento adicionales para algunos países en desarrollo - (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2011, p.17), se espera que presenten un aumento progresivo para los próximos años como resultado de la creciente adopción de políticas de energías renovables,

materializadas en la continuación gradual de los Mecanismos de Desarrollo Limpio (CDM, por sus siglas en inglés) tras la paulatina recuperación de la crisis económica mundial.

Alrededor de 150 países en el mundo utilizan la energía hidráulica, aunque con claras diferencias regionales. Los países miembros de la OCDE representan el 41.7 por ciento del total de producción de energía hidráulica, le sigue Asia con el 25.9 por ciento y América Latina con el 20.1 por ciento. China, Brasil, Canadá, Estados Unidos y Rusia son, en escala descendente, los mayores productores; en conjunto suman un 52 por ciento de la capacidad mundial instalada. Cuando se habla del porcentaje de generación de energía eléctrica para los hogares, destaca en primer lugar Noruega, seguido por Brasil, Canadá, Venezuela y Suiza (IEA, 2011, pp. 18-19).

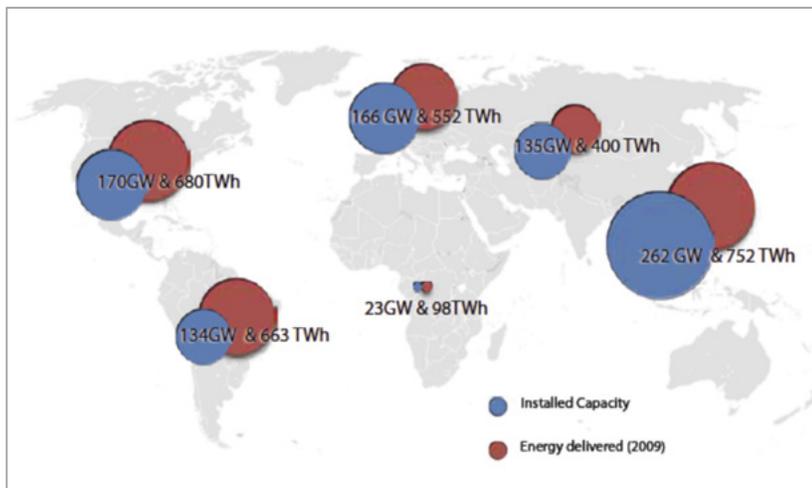


Figura 2. Regional hydropower: Installed capacity and generation.  
Fuente: (International Hydropower Association, 2012, p. 4)

### Energía hidroeléctrica en México.

La energía hidráulica ha sido vital para el desarrollo energético de México. Mientras que en 1960 la capacidad instalada de generación era de unos 3,021 MW (CFE, 2011, pp.1-2) y el suministro se efectuaba mediante diversos sistemas aislados, el desarrollo de grandes proyectos hidroeléctricos y termoeléctricos de las siguientes déca-

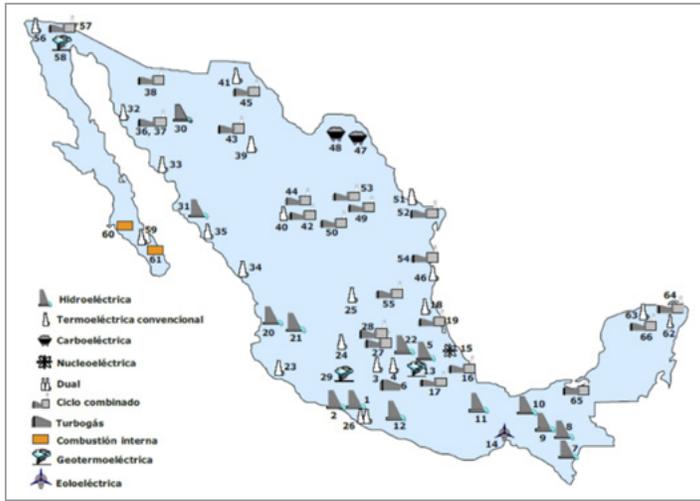
das, en conjunto con una mayor diversificación del parque de generación, permitieron que las redes regionales se interconectarán, alcanzando en 2010 una cobertura de 97.8 por ciento de viviendas con acceso a electricidad (INEGI, México en cifras, 2012) y una generación bruta de energía de casi 197 millones de MW (SENER, Sistema de Información Energética, 2012).

Según datos de la Secretaría de Energía, de los 171.5 millones de MW de generación bruta de electricidad en 2011, alrededor del 21 por ciento se debieron a la energía hidráulica. Esto fue gracias a que el sector hidroeléctrico tenía para el mismo año una capacidad efectiva de generación de 137,767 MW mientras que, por ejemplo, la eólica apenas tenía unos 1,032 MW (SENER, Sistema de Información Energética, 2012).

El mayor desarrollo hidroeléctrico del país se localiza en la cuenca del río Grijalva y está integrado por las centrales Angostura, Chicoasén, Malpaso y Peñitas. A éste le sigue el ubicado en la cuenca el río Balsas, que incluye las centrales Caracol, Infiernillo y La Villita.

Después se encuentra la central El Cajón en la cuenca del río Santiago y la de Aguamilpa, que se localizan en Nayarit. Las centrales Huites, en el noroeste, y Zimapán, en el centro del país, completan el cuadro de los principales desarrollos, aunque en las regiones centro y sur se pueden encontrar centrales de menor capacidad (CFE, 2011, pp. 2-6).

El consumo energético nacional experimentará un crecimiento constante en los próximos años. La penetración de los programas sociales en los grupos más vulnerables, la paulatina recuperación económica tras la crisis mundial de 2008, el mayor impulso a la industria y la agricultura, entre otros factores, impactarán en el consumo energético a la alza. En 2011, para generar la electricidad necesaria para el sector residencial, comercial, servicios, agrícola e industrial se consumieron 10 mil millones de litros de combustóleo, 480 millones de litros de diesel, 15 mil millones de kilogramos de carbón y 11 mil millones de metros cúbicos de gas natural (CFE, 2011, pp.2-6). Este consumo de recursos no



Principales centrales generadoras en 2009, servicio público  
Fuente: (CFE, 2011, pp.2-4)

renovables y altamente contaminantes no puede continuar a la alza si, como el propio gobierno lo ha afirmado, se pretende alcanzar una transición energética que privilegie el aprovechamiento de energías renovables. Adicionalmente, es necesario considerar que el sistema energético mundial presenta como una característica casi permanente

la volatilidad de los precios de los hidrocarburos y una creciente competencia internacional por los cada vez más escasos recursos, por lo que la dependencia hacia éstos vulnera en medida creciente la seguridad energética nacional.

Considerando los factores anteriores y los altos montos de inversión asociados tanto al desarrollo de centrales termoeléctricas como a la implementación de otras energías renovables, la rehabilitación y modernización de las unidades hidroeléctricas se presenta como una opción altamente viable. Su realización permite, entre otros, los siguientes beneficios: renovación de la vida útil de las unidades generadoras; mejora de la eficiencia y, en consecuencia, aumento de la generación; disminución de los costos de operación del sistema interconectado nacional; incremento de la capacidad efectiva instalada, y aumento de la participación de las energías renovables. A esta estrategia han apostado las últimas administraciones.

Las centrales de Villita e Infiernillo, por ejemplo, han logrado aumentar su capacidad

de generación en 200 MW, pasando de 1,280 a 1,480 MW, gracias a la rehabilitación de sus unidades y a la modernización de sus turbinas. Con estas modificaciones, el sistema hidroeléctrico Balsas incrementará significativamente su generación utilizando la misma agua que escurre anualmente en la zona. El mismo caso se presentó con algunas hidroeléctricas menores que, de 2002 a 2005, fueron también sujetas a modernización para aumentar su capacidad en 41.8 MW (CFE, 2011, pp.A-13).

De acuerdo con el Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico de la Comisión Federal de Electricidad para el periodo 2011-2025, además de la rehabilitación y modernización de las hidroeléctricas, entrarán en servicio once centrales nuevas con capacidades que van desde los 17 MW (El Pescado) hasta los 750 MW (La Yesca) (Véase Tabla No. 2). A pesar de estas incorporaciones al sistema hidroeléctrico nacional, en las proyecciones realizadas para este mismo periodo, se observa una marcada disminución de la participación de la energía hidráulica

en la generación de electricidad en el Sistema Interconectado Nacional, pues pasará de un 12.8 por ciento en 2011 a 10.2 por ciento en 2025.

Tabla 2. Centrales hidroeléctricas definidas en el PRC, 2010-2025

Central	Capacidad bruta (MW)	Año
La Yesca	750	2012
Copainalá	225	2017
La Parota	450	2017
Río Moctezuma	190	2019
El Pescado (Balsas)	17	2019
Sistema Pescados (La Antigua)	120	2019
Xúchiles (Metlac)	54	2019
Tenosique	420	2021
Paso de la Reina	540	2023
Acala	135	2023
Cruces	490	2024
Total	3,391	

Fuente: CFE, 2011, pp. A-13

### Consideraciones finales

Como se ha analizado, la energía hidráulica tiene un papel importante en el sistema energético mundial actual gracias a su carácter de ener-

gía renovable. En el impulso o retraimiento de ésta en los próximos años deberán ser consideradas algunas tendencias que son identificadas a continuación:

a) Energía. Tanto a nivel nacional, con la publicación en 2008 de la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética, como en el internacional, existe un amplio consenso en la necesidad de transitar hacia un sistema energético que dé mayor participación a las energías renovables cuyos efectos en el ambiente son mucho menores que los desprendidos de la utilización de los hidrocarburos. En consecuencia, es de esperarse: mayores movilizaciones de capital hacia el sector, gran innovación en ciencia y tecnología, creciente involucramiento de diferentes sectores en su promoción y utilización, condiciones más favorables para la gobernanza de los energéticos. Bajo estas con-

diciones, la energía hidráulica podría experimentar un renovado interés.

- b) Cambio climático. Los efectos del cambio climático afectan de manera directa e indirecta en la planeación de la política hidroeléctrica y es de esperarse que cada vez lo hagan en mayor medida. En este sentido, será necesario considerar que cada vez más impera una condición de incertidumbre, pero que, con los análisis suficientes, pueden ser explotados otros beneficios de las centrales hidroeléctricas, por ejemplo, el control de inundaciones.
- c) Mercado. Las grandes inversiones necesarias para extender el uso de las energías renovables a niveles significativos no pueden ser únicamente absorbidas por los gobiernos nacionales, por lo que se prevé una mayor apertura del sector energético a la iniciativa privada. Los casos y sectores deben ser analizados de manera particular de acuerdo a condiciones sociales e históricas, sin embargo, un debate serio debe ser

abierto en todos los niveles para considerar los beneficios o perjuicios de permitir la entrada del capital privado en el sector hidroeléctrico.

- d) Sustentabilidad. La energía hidráulica es una energía renovable que cuenta con múltiples beneficios históricamente comprobados (control de inundaciones, abastecimiento de agua, producción de energía, irrigación, mejoras en la navegación, actividades de recreación y turísticas), no obstante, también tiene algunas externalidades (conflictos sociales, desplazamiento de comunidades, degradación de ecosistemas acuáticos). Ambos factores deben ser analizados y valorados para la planificación del sistema energético nacional, ello a la luz de los objetivos de sustentabilidad asumidos en instrumentos nacionales e internacionales. 💧

## Bibliografía

Alianza para el Ahorro de Energía, Watergy, (2003). *Agua y Energía: Aprovechando las oportunidades de eficiencia de agua y energía aún no exploradas en los sistemas municipales de agua*. Washington DC: Alianza para el Ahorro de Energía-USAID.

CFE, (2011). *Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico 2011-2025*. México: CFE.

Frey, Gary y Linke, Deborah, (2002), “*Hydropower as a renewable and sustainable energy resource meeting global energy challenges in a reasonable way*” en *Energy Policy*, No. 3, Elsevier, Estados Unidos.

IEA, (2011). *Key World Energy Statics*. París: IEA.

INEGI, (2012), *México en cifras*, consultado el 6 de agosto de 2012 <http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx>.

International Hydropower Association, (2012). *2011-2012 Activity Report*. Londres: International Hydropower Association.

Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, (2011). *Global Status Report, Renewables 2011*. París: REN21.

SENER, (2012), *Sistema de Información Energética*, consultado el 3 de agosto de 2012, <http://sie.energia.gob.mx/sie/bdiController?action=login>.

UN-Energy Knowledge Network, (2012). “*Energy Access*”. Consultado el 2 de agosto de 2012, [http://www.un-energy.org/cluster/energy\\_access](http://www.un-energy.org/cluster/energy_access).

Watergy México A.C., (2011). *Estudio integral de sistemas de bombeo de agua potable municipal*. México: CONUEE-GIZ.

# PRODUCCIÓN DE BIO-COMBUSTIBLES (HIDRÓGENO Y METANO) MEDIANTE EL TRATAMIENTO ANAEROBIO DE LAS AGUAS RESIDUALES

CHRISTIAN E. HERNÁNDEZ-MENDOZA<sup>1</sup>

La disponibilidad del agua y la energía son dos factores que, además de tener una fuerte interrelación y dependencia, son críticos para el bienestar y el desarrollo socio-económico sustentable. El agua se necesita para producir energía, mientras que la energía se requiere para la extracción, el tratamiento y la distribución del agua, así como para el tratamiento posterior a su uso (WWAP, 2014).

Por mucho tiempo la energía de origen fósil ha favorecido la industrialización de los países, y los estándares de vida de sus habitantes son cada vez más altos. La demanda de agua y energía seguirá incrementándose significativamente durante las próximas décadas para satisfacer las necesidades de la población, incrementando con ello la presión ejercida sobre los recursos naturales limitados (WWAP, 2014).

Aproximadamente el 85% de las necesidades energéticas mundiales se satisfacen mediante el empleo de los combustibles fósiles (IPCC, 2011), cuya combustión emite diversos agentes contaminantes, como el CO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, C<sub>x</sub>H<sub>x</sub>, hollín, cenizas y otros compuestos, los cuales, al liberarse a la atmósfera, contribuyen al proceso de cambio climático.

Por otra parte, las aguas residuales son aquellas aguas que se han empleado en las actividades cotidianas de una población (domésticas, industriales, comerciales y de servicios). La disposición de estas aguas, sin un tratamiento previo, tiene asociada la generación de impactos ambientales

<sup>1</sup> Profesor e Investigador, Universidad del Mar, campus Puerto Ángel.

negativos como la contaminación de las fuentes de agua superficial y subterránea, la contaminación del suelo y la generación de enfermedades.

En México, de acuerdo a las cifras reportadas por el INEGI (2014), en el año 2012 se generaron un total de 25 794 Mmm<sup>3</sup> de aguas residuales, de los cuales 5 055 Mmm<sup>3</sup> tuvieron algún tipo de tratamiento antes de ser retornados al medio ambiente. Esto implica que más del 80% de las aguas residuales generadas en el país no recibieron ningún tratamiento. Una posible solución, tanto para la producción de energía como para la protección al ambiente, puede estar en la investigación y desarrollo de las fuentes de energía renovables mediante el tratamiento anaerobio de las aguas residuales.

El tratamiento anaerobio (sin la presencia de oxígeno en el medio) es un proceso biológico complejo que involucra la interacción de diferentes microorganismos, los cuales se encargan de degradar la materia orgánica presente en el agua residual durante una serie de etapas metabólicas bien diferenciadas. Estas etapas inclu-

yen la hidrólisis de las proteínas y carbohidratos complejos, la producción de subproductos valiosos como el hidrógeno durante la acidogénesis, la acetogénesis y, finalmente, la metanogénesis, en la cual se obtiene el agua tratada y el biogás.

El biogás es una fuente versátil de energía renovable. Está compuesto principalmente por metano (60-70%), el cual se puede emplear para reemplazar a los combustibles de origen fósil en la producción de electricidad y calor, así como combustible para los vehículos automotores. Del mismo modo, a nivel mundial se ha sugerido el empleo del hidrógeno como vector energético del futuro, debido a que presenta varias ventajas sobre el empleo de los combustibles fósiles, por ejemplo, un alto contenido energético por unidad de peso (122 kJ/g) en comparación con otros combustibles (gasolina: 48 kJ/g, gas natural: 44 kJ/g) y a que su combustión genera agua.

El uso del hidrógeno como combustible para los vehículos automotores ya es una realidad. Durante la última década se ha puesto mucha atención en el uso potencial del hidrógeno como

fuente de combustible para el servicio de transporte y la generación de energía. En países como Holanda, República Federal de Alemania, Reino Unido, Canadá, Estados Unidos de América y la República Federativa del Brasil, se han implementado algunos autobuses para el transporte público de pasajeros que utilizan hidrógeno como combustible.

Desafortunadamente, la percepción pública que se tiene del riesgo en el uso del hidrógeno como combustible ha limitado su uso a gran escala. No obstante, una opción para reducir el riesgo asociado con el hidrógeno consiste en mezclarlo con otros gases, e. g. el gas natural, el cual está compuesto principalmente por metano (85% - 98%).

El uso del hidrógeno como un aditivo del gas natural comprimido en los motores de combustión interna reduce la emisión de gases de efecto invernadero y de hidrocarburos no quemados, además de mejorar la eficiencia del ciclo térmico. Durante los últimos 20 años se ha promovido intensamente el uso de la mezcla de hidrógeno

y metano en la infraestructura para el transporte público alrededor del mundo. Tal es el caso de los vehículos para el traslado hacia el aeropuerto en San Francisco, en los Estados Unidos de América, y los autobuses en Pekín, en la República Popular China (Midha et al., 2011).

Hasta el momento, el uso de la mezcla de hidrógeno y metano podría ser una opción rentable para usar el hidrógeno debido a que se puede emplear la infraestructura existente para el gas natural. Además, el uso de esta mezcla de gases sería una buena opción para obtener energía y proteger al ambiente, a la vez que mejoraría la percepción pública sobre el uso del hidrógeno como combustible.

Debido a las características de ambos vectores energéticos, resulta interesante obtenerlos durante el tratamiento de las aguas residuales, las cuales, lejos de verlas como un residuo a tratar, se convertirían en un insumo para la obtención tanto de agua como de energía que pueden reutilizarse y/o comercializarse. Una opción para obtener ambos gases es mediante el trata-

miento de las aguas residuales en dos etapas. En la primera etapa se llevaría a cabo la obtención del hidrógeno y los ácidos grasos volátiles. En la segunda etapa los ácidos grasos generados previamente servirían de alimento para que los microorganismos puedan producir el biogás y depuren el agua residual suministrada.

Actualmente, el acoplamiento de estas etapas es materia de estudio por diferentes grupos de investigación en todo el mundo. Aunque ya se cuenta con información sobre el desempeño de estos sistemas, aún existen muchos retos por vencer a fin de definir las condiciones que favorezcan la integración exitosa de dichos procesos. 💧

### Bibliografía consultada

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). *Estadísticas a propósito de... Día mundial del agua* (22 de marzo). Datos económicos nacionales. Aguascalientes, Ags. México. 20 de marzo de 2014.

IPCC. *IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. En: Edenhofer O, Pichs-Madruga R, Sokona Y, Seyboth K, Matschoss P, Kadner S, Zwickel T, Eickemeier P, Hansen G, Schlömer S, von Stechow C (Editores). Cambridge University Press. Cambridge, UK and New York, USA, 2011.

Middha P, Engel D, Hansen OR (2011). *Can the addition of hydrogen to natural gas reduce the explosion risk?* Int J Hydrogen Energy; 36:2628–2636.

WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). *The United Nations World Water Development Report 2014: Water and Energy*. UNESCO, Paris, 2014.



Participa en el próximo número  
del periódico digital

# Impluvium

dedicado al tema de

## Calidad del Agua

a través de las siguientes categorías:

/ Artículo / Nota informativa / Reseña de libro /  
/ Resumen de proyecto /

Tienes hasta el 21 de septiembre de 2014  
para enviar tu colaboración, consulta  
los detalles de la convocatoria en

[www.agua.unam.mx](http://www.agua.unam.mx)

### Guía para la presentación de contribuciones

1. La contribución debe ser un texto de corte académico; no debe personalizarse.
2. Los trabajos deben contener: título, nombre del autor o autores y su profesión, introducción, desarrollo, conclusiones y bibliografía consultada.
3. Las contribuciones deberán entregarse en formato de procesador de textos Microsoft Word, con letra Arial de 12 puntos e interlineado doble.
4. Los textos no deberán exceder 1,700 palabras, incluyendo la bibliografía.
5. Las imágenes que deseen utilizarse en el texto deben entregarse en archivo independiente en formato jpg a 150 dpi. En el documento de Word se referirán de la siguiente manera: Véase Figura 1.
6. Se utilizará el sistema de citas y referencias bibliográficas Harvard-APA. Este estilo presenta las citas dentro del texto del trabajo, utilizando el apellido del autor, la fecha de publicación y la página, por lo que no se requieren notas al pie de página. Ejemplo (González Villarreal, 2013, p. 25). Al final del trabajo la bibliografía se agrupará en el apartado “Bibliografía” y se colocará de la siguiente manera: autor, título, editorial, lugar de publicación y año de publicación.
7. Los editores realizarán una corrección de estilo y consultarán con los autores cualquier modificación sobre el contenido de la contribución.



# *Impluvium*

Periódico digital de divulgación de la Red del Agua UNAM  
Número 2, Julio - Septiembre 2014  
[www.agua.unam.mx](http://www.agua.unam.mx)