

Agua y energía: implicaciones energéticas de su aprovechamiento y manejo.

*Por Odón de Buen R.
Energía, Tecnología y Educación, S.C.*

Introducción

El agua y la energía se relacionan de múltiples maneras. Desde un punto de vista térmico, el estado mismo del agua (líquido, sólido o gaseoso) está determinado por los niveles de energía que contiene. Desde un punto de vista mecánico, la energía asociada al agua está relacionada con su movimiento (flujo) y/o con la altura a la que se ubica en la superficie terrestre y sobre el nivel del mar.

Así, si el agua reduce su temperatura - y, en un cierto punto, pasa de estado gaseoso a líquido o de líquido a sólido - está entregando parte de la energía que contiene en forma térmica.¹ Igualmente, si disminuye su velocidad o baja aunque sea unos milímetros, libera una fracción de su energía cinética².

Por otro lado, si estos procesos se llevan a cabo en sentido inverso (de estado sólido a líquido o a gaseoso, o si sube el agua de nivel), es necesario que tomemos energía de otro lado para dársela al agua; y esto podemos realizarlo de diversas maneras.

En fin, que el agua y la energía están muy relacionadas, y en este artículo describiremos las implicaciones energéticas del aprovechamiento y uso que la humanidad en general le da hoy día al vital líquido y, en particular, cómo y con qué dimensiones ocurre eso en México.

El kWh, nuestra unidad de referencia

Aunque existen muchas unidades aplicables a la medición de la energía y sus flujos, en este artículo estaremos utilizando el kilowatt-hora (kWh) como unidad de referencia. El kWh es una medida usada, principalmente, para la energía eléctrica y equivale, por dar un ejemplo, a la que se requiere para mantener diez focos de 100 Watts prendidos durante una hora.

En cuestiones relacionadas con el agua, 1 kWh por es la energía contenida en un caudal de 100 litros por segundo que, durante una hora, baja una altura de 1 metro.

De arriba para abajo

Todos sabemos que la mayor parte del agua que aprovechamos, en algún momento fue lluvia, y que ésta es el resultado de un proceso generado por la energía del Sol, el cual evapora el agua de los océanos, ríos, lagos, humedales y de la propia superficie terrestre; la eleva por encima de las montañas hacia las capas altas de la atmósfera, donde se condensa; luego, cae a tierra y toma su camino de vuelta al mar.

¹ Bajo presión atmosférica o la misma presión.

² La energía cinética es la energía contenida en los cuerpos en movimiento.

Aunque ese camino de vuelta al mar se explica por Ley de la Gravedad, el agua puede tomar la vía más rápida de la superficie, o bien un sendero mucho más largo, que resulta de filtrarse y moverse lentamente entre las capas de la corteza terrestre.

Por lo pronto, nos interesa lo que ocurre en la superficie y en el camino que recorre el agua de regreso al mar, pues es donde podemos aprovechar la energía potencial que nos ofrece por la altura a la que se ubica respecto del nivel del mar, o bien la cinética, que es la que se evidencia en el movimiento de los ríos.

Es ésa, precisamente, la forma en la que aprovechamos la energía mecánica del agua para convertirla en electricidad, lo cual se hace en cantidades significativas en nuestro planeta, pues representó 6.4% de las fuentes primarias en 2008. En México, el porcentaje fue un poco menor: 5.1% [1].³

Esta proporción es mayor si nos referimos a la hidroenergía como parte de la canasta de energéticos utilizados para generar electricidad.

En México, la generación de electricidad a partir de hidroenergía representó en 2008 17% del total generado en el país, con una producción de 38,892 millones de kWh, la cual se realizó en más de 166 unidades, entre las que resaltan las ubicadas en los estados de Chiapas, Guerrero y Nayarit (Tabla 1) [2].

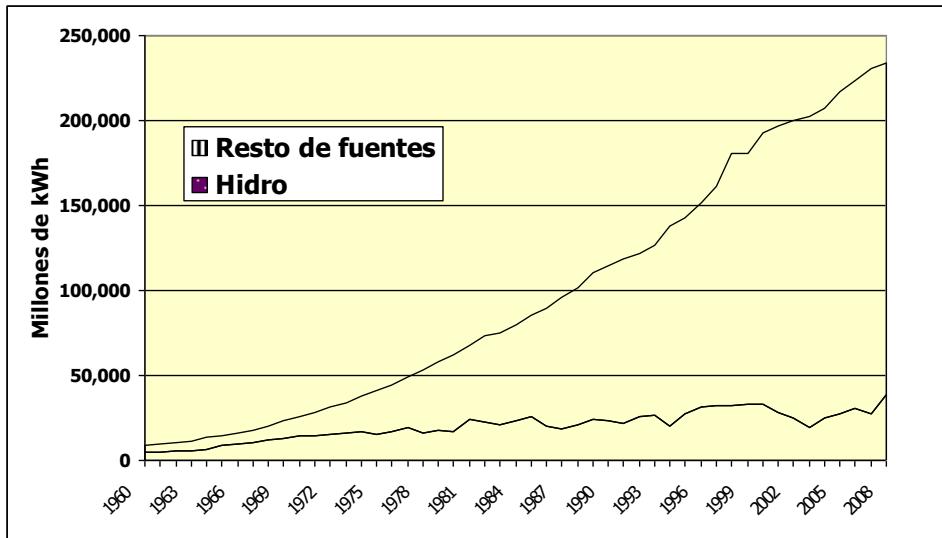
Tabla 1. Principales centrales eléctricas en México

Nombre	Capacidad (MW)	Estado en el que se localiza
Chicoasén	2,499	Chiapas
Malpaso	1,080	Chiapas
Infiernillo	1,000	Guerrero
Aguamilpa	960	Nayarit
Angostura	900	Chiapas
El Cajón	750	Nayarit
El Caracol	600	Guerrero
Luis Donaldo Colosio	422	Sinaloa
Peñitas	420	Chiapas
Temascal	354	Oaxaca

Esta proporción, sin embargo, se ha venido reduciendo significativamente desde finales de los años 60, cuando llegó a representar el 62% del total de la electricidad producida en México (Fig. 1).

Figura 1. Generación de electricidad en México 1960-2008.

³ Las fuentes primarias de energía



Fuente: Elaboración del autor de fuentes varias.

De abajo para arriba

El mover agua es una forma importante de consumir energía. Se estima que entre 2 y 3 por ciento de la energía que se consume en el mundo se usa para el bombeo y tratamiento de agua destinada a las poblaciones urbanas y el sector industrial [3].

En México, la clasificación de las tarifas eléctricas identifica a aquellos usuarios que utilizan electricidad para el propósito específico del manejo de agua. Éstos quedan comprendidos en la tarifa 6, que se aplica a los municipios, y para uso agrícola (tarifas de la 9 a la 9-N) [4], como a continuación se describe:

- **Tarifa 6.** *Servicio para bombeo de aguas potables o negras, de servicio público.* Se aplica al suministro de energía eléctrica para servicio público de bombeo de aguas potables o negras.
- **Tarifa 9.** *Servicio para bombeo de agua para riego agrícola en baja tensión.* Se aplica, exclusivamente, a los servicios en baja tensión que destinen la energía para el bombeo de agua utilizada en el riego de tierras dedicadas al cultivo de productos agrícolas y al alumbrado del local donde se encuentre instalado el equipo de bombeo.
- **Tarifa 9-M.** *Servicio para bombeo de agua para riego agrícola en media tensión.* Se aplica, exclusivamente, a los servicios en media tensión que destinen la energía para el bombeo de agua utilizada en el riego de tierras dedicadas al cultivo de productos agrícolas y al alumbrado del local donde se encuentre instalado el equipo de bombeo.
- **Tarifa 9-CU.** *Tarifa de estímulo para bombeo de agua para riego agrícola con cargo único.* Se aplica a la energía eléctrica utilizada en la operación de los equipos de bombeo y rebombeo de agua para riego agrícola por los sujetos productivos inscritos en el padrón de beneficiarios de energéticos agropecuarios, hasta por la

Cuota Energética determinada por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

- **Tarifa 9-N.** *Tarifa de estímulo nocturno para bombeo de agua para riego agrícola.* Se aplica a la energía eléctrica utilizada en la operación de los equipos de bombeo y rebombeo de agua para riego agrícola por los sujetos productivos inscritos en el padrón de beneficiarios de energéticos agropecuarios, hasta por la Cuota Energética determinada por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. La inscripción a esta tarifa será a solicitud del usuario.

Cabe señalar que estos conjuntos de usuarios sumaron un total aproximado de 143 mil en 2008, y consumieron más de 9,500 millones de kWh (GWh), que equivale a cerca del 5% del consumo total de energía de México (190 mil GWh al año) (Tabla 2).

Tabla 2. Usuarios y consumo de energía eléctrica en tarifas específicas para bombeo de agua en México (2008) [5].

Tarifas	Usuarios	Consumo (GWh)
6	29,204.00	1,514
9	11,051.00	60
9 M	16,084.00	1,125
9 CU	43,722.00	1,680
9 N	42,727.00	5,183
TOTAL	142,788	9,563

Un dato importante sobre el consumo de estos usuarios son las tarifas a las que están sujetos. Así, para la gran mayoría de los usuarios y del consumo (9 CU y 9 N), el precio está altamente subsidiado (menos de 0.42 \$/kWh), mientras que los servicios municipales y una tercera parte de los usuarios de bombeo agrícola pagan tarifas que, al parecer, sí reflejan el costo real de la energía (Tabla 3).

Tabla 3. Precio promedio de energía eléctrica en tarifas específicas para bombeo de agua en México (2008) [4].

Tarifas	Precio promedio por kWh
6	1.28
9	1.70
9 M	1.71
9 CU	0.42
9 N	0.20

Sin embargo, estos usuarios no son los únicos que utilizan energía eléctrica para mover agua. Si se consideran otros consumos –como el de los hogares y el bombeo de agua que no entra en las tarifas señaladas arriba- hay un 25% más de energía eléctrica dedicado a mover agua verticalmente en México.

En el sector residencial, se estima que un hogar promedio de cuatro personas en la Ciudad de México consume cerca de un metro cúbico de agua por día. Suponiendo que, como

generalmente ocurre, ésta es bombeada a un tinaco, a una altura de diez metros, la casa del ejemplo consumirá 10 kWh al año para mover esa agua. Ahora bien, si suponemos que 10 millones de hogares en México necesitan bombear el agua a la azotea, la cantidad agregada se convierte en 200 GWh al año, destinados a ese propósito específico.

No obstante, lo realmente significativo no es el bombeo local de agua, sino que una considerable proporción de los habitantes de nuestro país vive en el Altiplano, donde una tercera parte del agua que se consume procede del Sistema Cutzamala, ubicado a más de mil cien metros de distancia vertical de la Ciudad de México [6]. En este caso, la energía que se utiliza para mover un metro cúbico diario por casa supera los 2,000 kWh, lo cual es un valor superior a la energía que consume la casa de referencia.⁴

El Sistema Cutzamala - que está contratado como usuario industrial de energía y no como sistema de bombeo municipal - mueve 14.7 m³ por segundo (1.3 millones de m³ por día) hacia la Ciudad de México, en un recorrido vertical de 1,100 metros y un horizontal cercano a los 140 kilómetros [6]. En esas condiciones, el Sistema Cutzamala debe estar consumiendo cerca de 2,800 GWh al año.

Sumando consumos (el de las casas, sistemas agrícolas y municipales, así como el estimado para el del Cutzamala) nos encontramos con un total cercano a 13,000 GWh, lo que es equivalente al 6.5% del consumo de electricidad en el país y a una tercera parte de los 38,892 GWh que entregan las plantas hidroeléctricas.

Este consumo de energía no se lleva a cabo, por cierto, de la manera más eficiente, pero existen medidas para hacer mejor las cosas:

- **Reducción de fugas y/o de uso innecesario de agua.** Es evidente, especialmente en la Ciudad de México (en la que se tiene que subir el agua a más de un kilómetro), que una forma de ahorrar energía es no tirar el agua (cada metro cúbico diario desperdiciado por un año representa cerca de 5 kWh de desperdicio de energía).
- **Tratar y reaprovechar el agua.** Tratar el agua para volverla a aprovechar tiene un enorme sentido energético. De manera simple, el tratar 1 m³/seg ahorraría cerca de 200 GWh de energía eléctrica, que ahora se utiliza para bombear el agua del Sistema Cutzamala.
- **Hacer más eficientes los sistemas de bombeo.** El consumo de energía de la mayoría de los sistemas de agua a nivel mundial se podría reducir 25 por ciento, al menos, a través de la aplicación de medidas de eficiencia energética de alto costo-beneficio [3].

De frío a caliente

El uso del agua caliente implica un consumo de energía, principalmente de combustibles fósiles.

⁴ De acuerdo a datos de la CFE, un hogar promedio consumió 1659.6 kWh en 2007.

El calentamiento de agua a bajas temperaturas es un proceso que, en México, se obtiene, predominantemente, mediante la quema de combustibles fósiles: en el sector residencial, utilizando gas LP, gas natural y/o leña (esto último en zonas rurales o periurbanas), mientras que en los sectores productivos, esto se logra con gas LP, gas natural, combustóleo, diésel y, en casos asilados, con electricidad. Se estima que cerca de 6% del consumo energético final del país se utiliza para calentar agua, lo que equivale a 4.6 mil millones de kg de gas LP (cerca de 0.5 kg por casa por día) [7].

Por cierto, podría calentarse esa agua con energía solar, ya que es un proceso que utiliza tecnología muy probada en México y en el resto del mundo, donde a finales del 2004 se tenían instalados 164 millones de m² de área de captación, correspondientes a una capacidad instalada de cerca de 115 GWh [7].

Así, si en México aprovecháramos cabalmente la energía solar para el propósito de calentar agua en nuestros hogares, en el sector servicios y en aplicaciones de baja temperatura en la industria (como la embotelladora), el área que se tendría instalada sería cercana a los 70 millones de metros cuadrados, lo que representaría un ahorro aproximado de casi 5 millones de toneladas de gas licuado y 640,200 metros cúbicos de gas natural, equivalentes a poco más de 49 mil millones de pesos en recursos ahorrados, además de una disminución de alrededor de 4 millones de toneladas en emisiones de CO₂ equivalentes al año [7].

De caliente a frío

Otro uso importante del agua es como vehículo para extraer calor, particularmente en procesos térmicos de generación de electricidad.

En este caso, lo importante es el uso del agua que esto implica, más que la energía involucrada, ya que es significativa la cantidad de líquido que se utiliza en plantas termoeléctricas (en nuestro país son las predominantes).

De acuerdo con datos del US Geological Survey, durante el año 2000, unos 737 millones de metros cúbicos de agua fueron utilizados cada día en Estados Unidos para enfriar las plantas termoeléctricas y representaron el 52% de las extracciones de agua fresca de superficie en ese país [8].

Estudios realizados en la Universidad del Sur de Illinois ubican el consumo de agua de una planta termoeléctrica entre 3.8 y 182 litros por kWh, esto dependiendo del tipo de planta y del sistema de enfriamiento que utilice [8].

Específicamente, una planta termoeléctrica que tiene un sistema por el cual pasa el agua una sola vez, consume 166 litros de agua por kWh; si este sistema incluye lagunas de enfriamiento, la cantidad se reduce a 91 litros por kWh; y si lo que utiliza es un circuito cerrado con torres de enfriamiento, su consumo es de 3.8 litros por kWh [8].

Extrapolando estos datos a México, donde cerca de 188,000 millones de kWh se generaron con plantas termoeléctricas en 2008 (incluyendo a las carboeléctricas y a la nuclear) y considerando un valor bajo de intensidad de uso de agua (de 3.8 litros por

kWh), el consumo diario de agua de estas plantas es de 22.53 metros cúbicos por segundo, equivalentes a 1.5 veces la cantidad de agua que el Sistema Cutzamala entrega al Distrito Federal y al estado de México [9].

Es importante tomar nota de estos impactos de la generación de electricidad en México, en particular a la luz de las crecientes dificultades que se tienen para el suministro de agua en el país y, a su vez, considerar las nuevas alternativas de generación de electricidad, como la que aprovecha el viento (eólica), que no implica consumo de agua.

Conclusiones

El agua y la energía están plenamente relacionadas. Ya sea como energía primaria (potencial y cinética) o como un elemento que hay que mover, enfriar y/o calentar, el manejo del agua implica volúmenes importantes de consumo de energía.

- Como energía primaria, en 2008 el agua representó el 6.4% de las fuentes primarias de energía en el mundo y 5.1% en México. Como electricidad, en México constituyó ese mismo año el 17% del total generado en el país.
- La electricidad utilizada para el bombeo de agua implicó el 6.5% del consumo total del país y una tercera parte de los 38,892 GWh que entregan las plantas hidroeléctricas.
- Se estima que en México se consume al año el equivalente a 4.6 mil millones de kg de gas LP para calentar agua.
- Como elemento para procesos de enfriamiento en plantas termoeléctricas, se estima que el consumo de agua equivale a 1.5 veces la cantidad de agua que el Sistema Cutzamala entrega al Distrito Federal y al estado de México.

Por supuesto, estos volúmenes de agua y de energía pueden ser disminuidos, sin afectar los niveles de beneficio que nos proveen, a través de medidas de eficiencia en el uso de los dos recursos, buscando aprovechar otras fuentes energéticas para calentar el agua y para generar electricidad, sin que se requieran sistemas de enfriamiento.

REFERENCIAS

1. BP, *Statistical Review of World Energy 2009* 2009, British Petroleum. p. 48.
2. CFE. *Hidroeléctricas*. 2009 [cited 2009 15 de septiembre.]; Available from: <http://www.cfe.gob.mx/es/LaEmpresa/queescfe/Listaodecentralesgeneradoras/>.
3. Kevin James, Stephanie L. Campbell, and Christopher E. Godlove, *Watergy. Agua y Energía: Aprovechando las oportunidades de eficiencia de agua y energía aún no exploradas en los sistemas municipales de agua*. 2003, Alliance to Save Energy,. p. 156.
4. CFE. *Conoce tu tarifa*. 2008 [cited 2008 20 de octubre de 2008]; Available from: <http://www.cfe.gob.mx/es/InformacionAlCliente/conocetutarifa/>.

5. CFE. *Estadísticas*. 2009 [cited 1 de febrero de v2009]; Available from: <http://www.cfe.gob.mx/es/LaEmpresa/queescfe/Estadísticas/>.
6. CONAGUA, *El Sistema Cutzamala sólo afectó el 14 % del volumen total que consume el D.F. durante la segunda disminución*, Comisión Nacional del Agua, Editor. 2009: México D.F., . p. 2.
7. CONAE, *Programa para la Promoción de Calentadores Solares de Agua en México (2007-2012)*, Comision Nacional para el Ahorro de Energía, Editor. 2007. p. 96.
8. USGS. *Thermoelectric-power water use*. [cited 2009 17 de septiembre,]; Available from: <http://ga.water.usgs.gov/edu/wupt.html>.
9. SENER. *SECTOR ELÉCTRICO NACIONAL/GENERACIÓN BRUTA*. 2009 [cited 2009 23 de septiembre,]; Available from: http://www.energia.gob.mx/webSener/res/PE_y_DT/ee/Generacion_Bruta_de_Energia_Electrica.pdf.