
Agua potable para microcomunidades con energía solar

Juan Jorge Herмосillo Villalobos*



Introducción

El problema del suministro de agua para uso agrícola, industrial y urbano tiene un componente importante de índole energética y éste, a su vez, es uno de los componentes de sus aspectos económicos. Si suponemos que para el aprovisionamiento de agua de una ciudad o pequeña comunidad se hubieran ya resuelto las cuestiones financieras para dotarla de infraestructura física y la organización humana para operarla, quedaría pendiente para su funcionamiento la energía. Se requiere ésta para llevar el agua de la fuente al lugar de consumo, así como para separar el agua, el solvente universal, de las demás sustancias y organismos indeseables para el consumo humano que pudiera contener.

Desde el punto de vista de los recursos naturales, el contenido o trasfondo energético del agua potable es el aspecto más importante del suministro del vital líquido. Dicho de otro modo: existe tecnología madura y confiable para transportar el agua de donde esté disponible a donde se requiera, para remover sustancias indeseables e incluso para desalar el agua de mar y hacerla potable. Cuando se piensa en grandes obras de ingeniería para el suministro de agua, el meollo del problema no es tecnológico sino financiero, de recursos para el desarrollo de la infraestructura y el suministro de la energía que consumirá en el futuro.

Las tormentas tropicales y los ciclones son los mecanismos naturales de los cuales depende nuestro país para que existan lluvias, que son la única fuente de agua renovable para usos agrícolas y urbanos. La energía solar que mueve estos inmensos sistemas es la única que se recibe gratuita en la tierra, en forma continua y en cantidad muy

superior a toda la energía disponible en nuestro planeta. Si pudiéramos modificar o ajustar su funcionamiento ajustaríamos la disponibilidad de lluvia a nuestras necesidades. Esta posibilidad sería muy controvertida por sus implicaciones ecológicas, económicas y políticas.

Ante la imposibilidad de modificar el clima para producir lluvias donde “se necesitan” y la magnitud de las inversiones para utilizar la infraestructura que puede construirse con la tecnología disponible, algunos grupos de investigadores, ingenieros, científicos y agentes sociales han optado por desarrollar tecnologías para la solución del suministro de agua potable para pequeñas comunidades que utilicen una energía que se encuentra disponible en cualquier lugar: la solar. Las tecnologías descritas en este artículo no son económicamente viables para poblaciones o ciudades. Han sido desarrolladas con vocación de atender la situación de comunidades muy pequeñas, aisladas y al margen de los beneficios del desarrollo convencional. Son sistemas o dispositivos que fueron concebidos sólo para refinar el agua. Ninguno de ellos es adecuado para purificar agua muy sucia o para hacerla potable en un solo paso.

Tres modos de aprovechar la energía solar

Existen tres modos de captar y aprovechar la energía solar para potabilizar agua. La determinación del adecuado aprovechamiento de la energía solar

* Investigador del Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales del ITESO.

depende principalmente del problema específico que se desea resolver, pero también de factores económicos y culturales.

Energía solar térmica

Es el aprovechamiento del sol como fuente de calor. El calor se puede utilizar para elevar la temperatura, evaporar, enfriar e incluso producir movimiento. La tecnología necesaria para producir temperaturas menores a 100 grados centígrados puede ser sencilla, reproducible y transferible, aunque el trasfondo de principios físicos y matemáticos sea en extremo complejo. La eficiencia de conversión de la energía solar es de 30 a 70% cuando la aplicación se conserva en el ámbito térmico, pero depende mucho del diseño específico y de las condiciones de operación. Por ejemplo, cuando se quiere producir movimiento (trabajo mecánico) para bombeo, la eficiencia es mucho menor.

Energía solar fotovoltaica

Es el uso de la energía solar por medio de semiconductores, las fotoceldas, que convierten la luz directamente en electricidad sin pasar por un ciclo térmico ni depender de partes móviles. La salida eléctrica de las fotoceldas es idónea para producir trabajo mecánico e iluminación. La eficiencia de las fotoceldas ha aumentado en forma significativa con el desarrollo tecnológico, pero continúa siendo baja (de 10 a 20%), pero en forma conjunta con un buen sistema eléctrico resulta mejor para producir movimiento e iluminación que por vía térmica, especialmente en pequeña escala. En lugares donde la red eléctrica no se encuentra cerca, la alternativa fotovoltaica, utilizada sin dispendio, resulta más económica. Las fotoceldas y sus periféricos —baterías, motores, bombas, lámparas— no son una tecnología sencilla ni de fabricación distribuida, pero en cambio, son elementos y sistemas confiables y de bajo mantenimiento.

Energía solar ultravioleta

Alrededor de 4% de la energía solar que incide sobre la tierra es del tipo “ultravioleta cercana”. Ésta es la parte de la radiación solar que causa las quemaduras en la piel cuando se expone al sol por periodos de tiempo significativos. Es radiación con más energía que la radiación visible. Ese

mismo efecto se puede utilizar para destruir microorganismos. La radiación ultravioleta, al mismo tiempo, se puede utilizar tanto por la vía térmica como por la fotovoltaica.

Costos, confiabilidad y viabilidad

La energía solar es gratuita y llega directa y en abundancia en la zona intertropical, en la que se encuentra la mayor parte del mundo subdesarrollado. Sin embargo, aunque esta energía es gratuita, su utilización y aplicación generalmente no lo es.

Cualquier alternativa debe competir con las demás que estén disponibles. Un desalador solar puede ser la alternativa más económica y confiable en una localidad de Baja California, pero no resulta adecuado en Tabasco. Un sistema de refrigeración fotovoltaico puede ser absurdamente caro para conservar alimentos en una comunidad alejada pero ser ahí mismo la solución para conservar vacunas y medicamentos.

Por ejemplo, en Guadalajara los precios del agua para uso doméstico, según las tarifas del Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado, oscilan entre dos y 14 pesos por metro cúbico, según el volumen mensual de consumo familiar.¹ Si se considera la escasez del líquido en las cercanías de la ciudad, la infraestructura necesaria para poder utilizarla y su calidad de origen y de entrega, estos precios están subsidiados. Es imposible encontrar una tecnología alternativa para proveer agua en pequeña o gran escala que resulte competitiva en lo económico en estas condiciones.

Sin embargo, la gran mayoría de los hogares de diferentes estratos económicos están dispuestos a comprar agua en envases de vidrio o plástico. El precio del agua entregada a domicilio en la presentación de garrafón de 19 litros (cinco galones) es de 12 a 15 pesos,² lo que equivale a pagar entre 600 y 800 pesos por metro cúbico, es decir, alrededor de 300 o 400 veces más de lo que se paga por el agua entubada.

Todavía más factible resultaría si los costos de referencia para la evaluación de alternativas fueran las aguas embotelladas. La presentación de 1.5 litros varía según la marca entre cinco y ocho pesos por unidad en puntos de venta ordinarios. Esto equivale a pagar entre 3,300 y 5,300 pesos por metro cúbico, alrededor de 1,000 o 2,000 veces más de lo que se paga por el agua entubada (la presentación de medio litro equivale a 9,000 pe-

sos por metro cúbico). Conviene hacer notar que estas botellas de agua se han vuelto de consumo popular tanto en la ciudad como en el campo, lo que debe considerarse al evaluar las diversas alternativas.

Desalación de agua

Este procedimiento, también llamado “destilación”, consiste en imitar el proceso natural dentro de una cavidad artificial con las dimensiones adecuadas. La desalación solar es una alternativa viable en lugares que dispongan de una fuente de agua salada, salobre o con presencia importante e indeseable de alguna sal mineral. En México esto es muy común en la península de Baja California y en la costa de Sonora, así como en otros lugares del país como Yucatán y la comarca Lagunera. Generalmente no es adecuada en lugares que cuentan con una fuente de agua dulce debido al costo del dispositivo desalador.

El desalador solar básico consta de una charola extensa con una cubierta transparente. Sobre la charola, de color negro, se vierte el agua que se quiere purificar. Gracias al color negro, que retiene más calor, al recibir la luz solar el agua se va calentando y comienza a evaporarse. Con aislantes térmicos idóneos en los lugares adecuados es común lograr temperaturas mayores de 60 grados centígrados a las cuales la rapidez de evaporación puede ser relativamente alta. La cubierta transparente funciona como condensador pues se mantiene a menor temperatura. En estas condiciones, el vapor de agua se condensa y el líquido escurre hacia unos canales recolectores. Si al construir el desalador se tiene el cuidado de que la cubierta y los canales recolectores estén limpios, además de otras medidas, el agua que se obtiene es pura, 100% libre de sales y microorganismos.

Este tipo de destilador utiliza la energía solar por vía térmica. Existen diversas variedades geométricas, unas que operan con suplementos de energía convencional, otras con elementos sofisticados por su geometría o los materiales utilizados, pero las más sencillas se pueden construir localmente con diversos materiales.³ Para la charola puede utilizarse metal, madera recubierta con plástico, así como plástico reforzado con fibra de vidrio, mampostería, ferrocemento, etc. Para la cubierta transparente lo más común es utilizar vidrio ordinario, pero pueden usar también algunos plásticos. Su construcción es sencilla y está sujeta a

cuidados específicos fáciles de llevar a cabo con diversas herramientas y tecnologías al alcance de un técnico medio mexicano.

En México los destiladores solares han sido ampliamente estudiados por académicos del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM),⁴ de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) Azcapotzalco⁵ e Iztapalapa, del Centro de Investigaciones Biológicas de La Paz, Baja California Sur, y del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO). Los rendimientos típicos son de tres a seis litros de agua purificada por día por metro cuadrado de área de desalador. El rendimiento depende en gran medida de los detalles de construcción y de las condiciones meteorológicas. En comunidades dispersas, que suelen tener espacio disponible, este rendimiento no es una limitación importante, pero sí lo es en aquellas donde la densidad de población es medianamente alta. Una casa habitación unifamiliar tiene un área de azotea suficiente para suministrar el agua para beber para todos sus habitantes (no es el caso de las viviendas multifamiliares).

En el territorio mexicano el uso de desaladores solares es más común en la península de Baja California, y se utilizan básicamente para potabilizar agua de mar. El uso más frecuente es en pequeñas unidades que proporcionan agua potable para una familia. En Puerto Chale, Baja California, investigadores de la UNAM y de otras instituciones han desarrollado sistemas de mayores dimensiones, con el objetivo de proveer agua a pequeñas comunidades. En otros lugares donde el problema es la remoción de sales minerales, la energía solar está disponible y el área requerida tiene un costo bajo (terreno o azotea) esta alternativa tecnológica puede ser interesante y útil.

Los costos de fabricación de un pequeño desalador dependen en gran medida de los materiales utilizados y del volumen y método de su fabricación. Un destilador, a costo de prototipo (muy caro por ser de fabricación única) y con materiales “de lujo” como acero inoxidable puede costar unos 1,100 pesos de materiales y 1,500 pesos de mano de obra, por metro cuadrado. Estos precios equivalen, con referencia al agua de garrafón, mencionada arriba, al valor del agua que el desalador solar puede producir en dos y medio o tres años; a precios de agua embotellada, este tiempo se reduce al valor del agua que produciría el desalador en menos de cinco meses. Si se utilizan materiales

más accesibles, y se considera el precio real del agua en lugares alejados (o en la ciudad comparada con el agua potable comercial) y evaluando con tasas de interés con tendencia a la baja, aumenta la factibilidad económica de los desaladores solares.

Ósmosis inversa

Ósmosis es el paso selectivo de sustancias a través de una membrana semipermeable. En el caso de sales disueltas en agua lo típico es hacer pasar el agua a través de la membrana, mientras que los diversos solutos quedan confinados en el otro lado de la misma. Por razones que explica la termodinámica, el agua tiende a pasar en forma espontánea del lado de la membrana donde está pura o con pocas sales disueltas al lado en que se encuentra en forma de solución con sales disueltas a mayor concentración. Ésta es la ósmosis natural. Sin embargo, mediante la adición de energía es posible invertir el proceso, es decir, se puede extraer el agua de donde está mezclada con sales al otro lado de la membrana, dejando las sales "aguas arriba". Por eso recibe el nombre de ósmosis "inversa".

La ósmosis inversa es casi como una filtración a través de un medio tan fino que puede retener incluso moléculas y no sólo partículas como los filtros ordinarios, o microorganismos como algunos dispositivos de ultrafiltración. El principal problema tecnológico consiste en el desarrollo de materiales y métodos de obtención de membranas confiables, resistentes y durables en uso intensivo. La siguiente dificultad consiste en suministrar la energía para hacer pasar el agua que se quiere purificar a través de la membrana. Esta energía no es despreciable pues consiste en la suma de la energía necesaria para hacer pasar el agua a través de la membrana mencionada, cuyos poros son extremadamente pequeños, lo que produce una gran caída de presión, más la energía necesaria para separar las sales disueltas. Estas sales normalmente están ligadas a las moléculas de agua mediante algún proceso que libera energía, por eso se disuelven. En la ósmosis es necesario devolver al sistema esa energía para poder separar el agua de lo que tenga disuelto. Esta energía no interviene en los procesos ordinarios de filtración pues las partículas macroscópicas no se encuentran disueltas.

Aunque el principio de su operación es conceptualmente sencillo, los sistemas solares de ósmosis inversa no son de tecnología simple, en particular por las dificultades para la fabricación de la membrana semipermeable. Un sistema de ósmosis inversa opera por lo normal con energía eléctrica para el bombeo. En lugares aislados, esta energía se puede suministrar con eficacia mediante fotoceldas. En principio, un sistema de ósmosis inversa solar es similar a otro que utilice fuentes convencionales de energía excepto en la fuente de electricidad que utiliza la bomba. El agua que produce un sistema de este tipo está por completo libre de sales y microorganismos sin necesidad de dar un tratamiento posterior.

En México se han utilizado en forma experimental sistemas de ósmosis inversa en comunidades donde parecía adecuado, pero su uso no ha prosperado. En los países del Golfo Pérsico, donde la energía y el capital son abundantes, se utilizan ordinariamente. Un pequeño sistema comercial de ósmosis inversa con una capacidad de 100 litros diarios cuesta alrededor de 6,000 pesos. A esto se suma el costo significativo de la energía o, si se quiere hacer solar, el costo de las fotoceldas, que puede ser mayor que el de la propia planta de ósmosis inversa. Esta alternativa tecnológica puede ser más económica que la desalación solar pero depende mucho de elementos de alta tecnología, que son muy confiables. En los lugares donde la tecnología avanzada es un problema, la factibilidad cultural puede impedir que la ósmosis inversa sea más adecuada que la desalación solar.

Pasteurización

La desalación y la ósmosis inversa son dos sistemas adecuados para potabilizar agua salada o salobre, sin embargo, ambas tecnologías tienen un alto consumo de energía en relación con la cantidad de agua que purifican. Estos costos son inherentes al fenómeno fisicoquímico en el que se basan e independiente de si los sistemas son solares o utilizan otras fuentes de energía. En lugares donde se cuenta con agua dulce o con cantidades tolerables de sales disueltas ninguna de las alternativas es adecuada porque resultan demasiado costosas.

Las aguas superficiales del país por lo general están contaminadas con microorganismos. El agua es la principal causa de enfermedades gastroin-



Adán y Eva, óleo sobre tela, 70 x 60 cm, 1980, colección particular, cortesía Galería Arvil.

testinales, uno de los más grandes problemas de salud pública en México. Asimismo, es medio de cultivo para organismos transmisores de enfermedades. Cuando la potabilización de agua consiste sólo en la eliminación o desactivación de microorganismos existe otra alternativa que funciona con energía solar: la pasteurización.

En el medio académico de la energía solar se entiende por pasteurización el proceso térmico por el cual se mata o desactiva a los microorganismos. El agua se mantiene a una temperatura adecuada durante el tiempo necesario para lograr esa desactivación. Cada microorganismo tiene una serie de condiciones de temperatura y tiempo que se debe

cumplir para matarlos o desactivarlos. Por ejemplo, la amiba muere en menos de una hora a 50 grados centígrados, o de forma instantánea a 57 grados. La salmonela muere en una hora a 55 grados centígrados y en 20 minutos a 60 grados, con más datos se puede trazar una región en un diagrama de tiempo contra temperatura dentro de la cual un organismo muere o se desactiva. Si nos referimos al conjunto de organismos patógenos que pueden estar presentes en un lugar, habrá un conjunto de condiciones de temperatura-tiempo que depende de las condiciones de los organismos más resistentes, de modo que si sometemos una muestra de agua a esas condiciones queden desactivados todos los microorganismos. Con este enfoque de temperatura-tiempo no es necesario que el agua llegue a la temperatura de ebullición para garantizar que esté libre de microorganismos. En cambio, es indispensable que transcurra el tiempo indicado según la temperatura que se logre.

Con tecnología solar térmica es posible y relativamente sencillo elevar la temperatura del agua y mantenerla en la región temperatura-tiempo en la que se eliminan los microorganismos. Esto puede hacerse con un calentador solar convencional o con otros diseñados para ello. En días medianamente soleados, es decir, aun con presencia de nubes, es posible mantener el agua a más de 60 grados centígrados por varias horas. Desde luego, esto depende del balance de entradas y salidas. Por esta razón no es adecuado emplear como pasteurizador un calentador solar que se utilice al mismo tiempo para suministrar agua caliente para otros usos en la vivienda, porque sometido a mayores demandas de agua es menos probable que alcance las temperaturas requeridas y durante el tiempo necesario.

La pasteurización mediante calentadores solares es una alternativa que puede funcionar por largo tiempo sin mantenimiento. Aunque puede operar de diversos modos, supone la disponibilidad de agua entubada. Es más económica que las dos opciones anteriores porque con el mismo capital invertido se puede producir un volumen diario de agua potabilizada mucho mayor. Por eso donde no hay que remover sales sino sólo microorganismos la pasteurización es más adecuada.

Agentes sociales en África central y algunos lugares de Centroamérica han puesto en práctica con éxito una variante de la pasteurización solar que funciona donde no hay agua entubada. Consiste en utilizar estufas solares para “cocinar” fras-

cos con agua. Esta alternativa es técnicamente viable pero requiere, como la mayoría de las estufas solares de baja complejidad tecnológica, que una persona “esté al pendiente”, lo cual es una limitación cultural en algunos ambientes. Las estufas solares de reflectores, con un manejo apropiado, pueden alcanzar la temperatura de ebullición del agua. Esta alternativa equivale a hervir el agua pero sin consumir leña ni otro combustible.

Desinfección

En la etapa final de los sistemas convencionales para potabilizar agua existe la posibilidad de desinfectarla al pasarla durante el tiempo adecuado debajo de una lámpara de luz ultravioleta, tecnología suficientemente desarrollada que se utiliza por lo general con ventajas respecto de otros sistemas más antiguos como la adición de cloro. Éste, aunque es eficaz en la eliminación de microorganismos, no da mal sabor al agua y puede reaccionar con otras sustancias que ésta contenga o de los conductos para producir sustancias indeseables. La radiación ultravioleta no tiene estos efectos. La luz ultravioleta actúa sobre las moléculas del ácido desoxirribonucleico (DNA) de las células, destruyéndolas en algunos puntos sin pasar por el efecto térmico que se emplea en la pasteurización. Con esto la célula muere y se desactiva su reproducción, razón por la cual la piel humana sufre daños al exponerse a ella durante mucho tiempo.

Una lámpara ultravioleta puede recibir la energía eléctrica de fuentes convencionales u obtenerla mediante fotoceldas. De esta forma se podría hacer un sistema de desinfección solar de agua. Sin embargo, en lugares donde existen sistemas terciarios de tratamiento de agua hay energía eléctrica, que es más barata que la fotovoltaica.

La desinfección solar consiste en aprovechar de forma directa la porción ultravioleta del espectro solar para eliminar los microorganismos. La intensidad de la radiación ultravioleta proveniente del sol que llega a la superficie terrestre es pequeña en comparación con una fuente artificial de esta radiación. Sin embargo, como ocurre con el efecto térmico en la pasteurización, la intensidad de la radiación se relaciona con el tiempo de exposición.

La técnica más sencilla, estudiada y divulgada por el Departamento de Agua y Saneamiento en Países en Desarrollo del gobierno suizo,⁶ en investigación para adaptarla a México por científi-

cos del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua⁷ y de la UNAM, consiste en exponer al sol el agua lo más limpia posible en pequeñas botellas transparentes de plástico o vidrio. En condiciones de pleno sol un día de exposición es suficiente para potabilizar el agua. Si hay nublados se necesitan dos días de exposición. Este aspecto no ha sido por completo estudiado para las condiciones meteorológicas de diversas regiones del país.

Las botellas más adecuadas son las de plástico de un litro —las de cualquier bebida embotellada— siempre que sean transparentes e incoloras. Es necesario remover las etiquetas para que la radiación ultravioleta penetre en la botella y haga su efecto. Las botellas más pequeñas también funcionan. Las más grandes, como los garrafones de 20 litros no sirven porque sus dimensiones, material y color impiden que el agua reciba la cantidad de radiación suficiente para que se dé la desinfección en un tiempo razonable.

Si las botellas se disponen de un modo en que además se eleve su temperatura, por ejemplo dentro de una estufa solar o en una cavidad térmicamente aislada, se produce un efecto sinérgico entre la pasteurización y la desinfección, es decir, se elimina una mayor cantidad de microorganismos que si operaran cada uno de estos mecanismos por separado.

Los costos asociados a esta técnica son prácticamente nulos. El principal reto para lograr su factibilidad es el aspecto educativo que se requiere para que las operaciones necesarias se hagan con cuidado para garantizar la desinfección del agua. El potencial de aplicación de esta técnica en México y Latinoamérica es muy alto. La Comisión Nacional del Agua reconoce que en 1999 había en México 12.3 millones de habitantes que no contaban con el servicio de agua potable. De éstos, 8.7 millones se encontraban en áreas rurales.⁸ Este sector de la población es el que puede tener más dificultad para recibir un suministro convencional de agua potable en un futuro cercano y para el que la técnica de la desinfección solar puede ser de gran utilidad.

Otros usos de la energía solar para suministro de agua potable

Las técnicas descritas tienen por objeto remover del agua los elementos que impiden su calidad de potable. En algunas comunidades existe agua con

calidad aceptable para el consumo humano y sólo necesitan energía para la extracción de un pozo o el transporte desde la fuente hasta el lugar de consumo. Cuando esto sucede en una comunidad pequeña donde no hay red eléctrica o ésta se encuentra a más de un kilómetro, el problema se puede resolver con tecnología solar.

La energía eléctrica de la red comercial es mucho más económica que la que puede obtener directamente el usuario. Esto se debe a que la producción masiva de electricidad tiende a bajar costos y a que la forma convencional de producir electricidad tiene muchos costos ocultos o subsidios explícitos que disminuyen la competitividad de otras alternativas.

Sin embargo, cuando no se dispone de una red eléctrica convencional a cierta distancia son viables otras alternativas porque para utilizar la electricidad convencional no sólo habría que considerar su costo sino también el de la inversión en postes, cables, transformadores, contadores y periféricos. En estos casos, para el suministro de agua es posible instalar un sistema de celdas fotovoltaicas y bombas adecuado. En casos extremos este sistema puede ser muy sencillo y económico. En la medida en que los requerimientos son más sofisticados, puede requerirse también un sistema de baterías, controladores de carga, tinacos, tuberías. En lugares donde también existe recurso eólico se han instalado sistemas híbridos solar-eólicos para cargar baterías con el recurso que esté disponible.▲

Notas

1. <http://www.siapa.gob.mx>
2. Los precios indicados en este artículo fueron obtenidos por muestreo directo entre proveedores, excepto los de la referencia anterior.
3. Hermosillo, Juan Jorge. *et al.* "Potabilización solar de agua, notas del curso de especialización", ISES Millenium Solar Forum 2000.
4. Por ejemplo Fernández Zayas, José Luis. "Destiladores solares de flujo continuo en circuito abierto", en *Memorias del XIV Congreso de la Academia Nacional de Ingeniería*, Guanajuato, 1988.
5. Por ejemplo, Mayagoitia, V., R. Santos, H. Solís. "Determinación de algunas propiedades capilares de los textiles, aplicables a la destilación solar", en *Memorias de la X Reunión Nacional de Energía Solar*, Guanajuato, 1986.
6. <http://www.sodis.ch>
7. Martín, Alejandra *et al.* *Desinfección de agua con radiación solar*; Proceedings of the Millenium Solar Forum 2000, ISES-ANES, México.
8. <http://www.cna.gob.mx>