



# POTABILIZAR AGUA CON ENERGÍA SOLAR, UNA ALTERNATIVA PARA LAS COMUNIDADES MÁS ALEJADAS DE LOS CENTROS URBANOS

Making drinking water by means of solar energy, an  
alternative for the most remote communities that  
are far from urban centers

Javier Ernesto Castrillón Forero\*

Diego Andrés Hincapié Zuluaga\*\*

**Resumen:** la tecnología es el conjunto de conocimientos aplicados que facilitan la adaptación del medio ambiente para satisfacer las necesidades y deseos de los grupos humanos, y también el sistema que dinamiza y organiza dichas sociedades; por esto las aplicaciones científicas y tecnológicas, y el pensamiento tecnológico en general deben tener un énfasis en lo social, y especialmente servir a aquellas comunidades que más necesitan de ella. Este estudio es un ejemplo de la tecnología al servicio de la sociedad, que muestra las ventajas de implementar equipos de energía solar para potabilizar agua y de esta manera, lograr el suministro de agua potable y mejorar la calidad de vida de comunidades rurales pequeñas, alejadas de los grandes centros urbanos.

**Palabras clave:** tecnologías alternas, energía solar, potabilizar, zonas rurales.

**Abstract:** technology refers to a group of applied knowledge that permits adaptation to the environment in order to satisfy needs and desires of human groups, and this also makes reference to the system that makes active and organizes such groups; thus, all scientific and the technological applications as well as the scientific thought, must have a social emphasis and specially to be useful to those communities that need them. This study is an example of technology at the service of society that shows the advantages of implementing solar energy equipments to make water drinkable and in this way to achieve the supply of drinking water and improve the life quality of small rural communities that are far from urban centers.

**Keywords:** alternative technologies, solar energy, drinkable, rural zones.

## EL AGUA POTABLE UNA NECESIDAD PRIMARIA

Una gran parte de la población rural en Colombia no cuenta con agua potable suficiente y segura por estar lejos de los centros urbanos. Muchas comunidades, especialmente las

\*Facultad de Ingeniería, aspirante a magíster en Gestión Energética Industrial, ITM. Correo electrónico: jcastrillon@gmail.com

\*\*Facultad de Ingeniería, Magíster en Física. Correo electrónico: diego.hincapie@itm.edu.co

Fecha de Recepción: 11 de noviembre de 2011

Fecha de Aceptación: 22 de mayo de 2012

que se encuentran más lejos de las redes de acueductos, no disponen de los recursos para invertir en el tratamiento de agua para el consumo.

En Colombia el 29% de la población habita en el campo y el 48% no tiene acceso a una red de suministro. Del 52% restante, entre los que sí cuentan con agua, solo 12% tiene líquido seguro para el consumo humano (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial –MMAVDT-, 2010). En Colombia es evidente que aunque existe una legislación sobre el recurso hídrico en el territorio nacional, muchos de los acueductos establecidos fuera de las zonas urbanas han sido realizados por los propios habitantes mediante sistemas de tubos conectados a una fuente hídrica, sin ningún tipo de tratamiento ni purificación. (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000 y MMAVDT, 2010).

En los últimos años se han estudiado los efectos en la salud ocasionados por el agua sin tratamiento y esto se hace desde lo público para garantizar condiciones de vida. Sin embargo las coberturas de servicio de agua potable aun son insuficientes en muchas regiones del mundo. En los países de América Latina existen limitaciones de cobertura para la prestación del servicio de agua potable (Banco Interamericano de Desarrollo - BID - 2010), y a pesar de que se inviertan grandes sumas de dinero en tecnologías y estructuras para ampliar el servicio, no necesariamente se garantiza la buena calidad, pues no todas las soluciones van de acuerdo con las necesidades o condiciones de cada población (Hegewisch, 2009).

En Colombia, según estudios realizados por el Ministerio de Medio Ambiente y presentados en su informe sobre recursos hídricos en los sistemas de tratamiento de agua potable del país (MMAVDT, 2010), se encontró que aunque el 53.4% de las comunidades cuentan con cobertura de agua, solo al 11.8% se le puede garantizar la calidad de este suministro. La situación de dichas comunidades es

difícil ya que no cuentan con los recursos económicos para pagar por un buen servicio de agua; esto se observa en el informe entregado por el Ministerio de Medio Ambiente donde muchas comunidades rurales colombianas en los llanos orientales, la alta Guajira, y zonas del litoral del Pacífico, que por sus condiciones geográficas están alejadas de las redes de tratamiento y se hace necesario transportar el agua potable grandes distancias, o por la necesidad se debe usar el recurso disponible con métodos de tratamiento no apropiados. Los proyectos de potabilización deben ser diseñados para ser sostenibles y viables técnicamente y económicamente (OMS/UNICEF, 2012).

Por lo anterior,

---

es importante diseñar proyectos de abastecimiento de agua potable que tengan en cuenta a la comunidad y sus posibilidades, esto en cuanto a capacidad de pago, de operación y mantenimiento de las tecnologías. Igualmente estos proyectos se deben realizar tomando en consideración las necesidades reales y particulares de cada población.

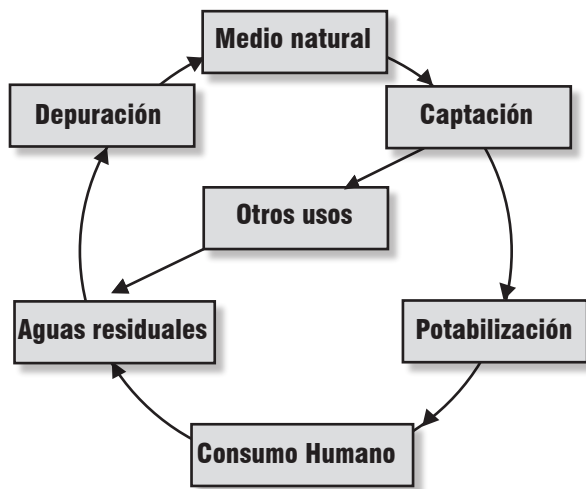
---

Al diseñar sistemas sostenibles se pueden observar dificultades en la implementación, en casos como los de la costa atlántica colombiana y la Guajira, el agua debe transportarse a lugares muy alejados, por ello los diseños deben ser apropiados para potabilizar las aguas salinas o aguas lluvias que se acumulan para poder contar con el recurso hídrico.

Existen diversos métodos de potabilizar el agua (figura 1). El proceso del agua comienza en la fuente disponible y termina en el consumidor que busca encontrar agua de excelente calidad. Muchas comunidades rurales no cuentan con los

recursos económicos para instalar un sistema convencional de potabilización de agua, ya que estos métodos implican sistemas de filtrado que de antemano requieren una alta inversión en instalación y mantenimiento, pero es posible que algunas comunidades puedan instalar un sistema con energía solar que comparativamente con otros métodos es eficiente y puede resultar más económico para comunidades de bajos recursos (Madrid, 2009).

Figura 1: ciclo de potabilización de agua.



Fuente: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010

## TECNOLOGÍAS DE ENERGÍA SOLAR PARA POTABILIZAR AGUA

Potabilizar el agua con energía del sol es una alternativa que muchas comunidades han implementado desde la antigüedad, y para ello utilizan el principio de transformación del agua en la naturaleza -ciclo del agua- (Díez, 2007), (Restrepo, Sánchez, Gavis, Rojas y Sanabria, 2007), aplicándolo a sistemas pequeños donde se aprovechan cambios de temperatura para hacer cambiar el agua de fase y limpiarla de sus contaminantes más pesados, por ejemplo las sales disueltas en aguas salinas o elementos que enturbian las aguas como minerales disueltos (Madrid, 2009).

Los colectores solares son dispositivos que aprovechan la energía proveniente del sol en un área de captación expuesta a la radiación y que transfieren dicha radiación a un fluido que se necesita calentar, en este caso hasta la temperatura necesaria para potabilizar agua. (Méndez y Cuervo, 2008).

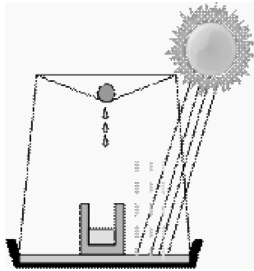
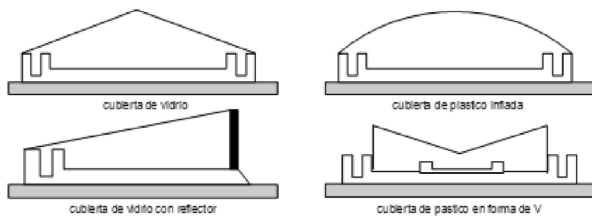
Existen diversos tipos de colectores solares y difieren entre sí en la capacidad de transferir calor a un fluido, es decir, dependiendo de su sistema de captación se puede llevar un fluido a diferentes temperaturas (Fernández, 2008).

Algunos tipos de colectores solares para potabilización (Perales, 2008 y Madrid, 2009) son: cajas de efecto invernadero, colectores de placa plana y concentradores solares. Los procedimientos utilizados para potabilizar realizan el siguiente proceso: se toma un fluido con contaminantes y se le genera un aumento de temperatura que hace que el fluido cambie de fase y se vaporice, en este caso el agua; este proceso deja los contaminantes más pesados en el recipiente, el líquido vuelve posteriormente a su fase líquida debido a que esta cede calor en una región de transferencia, posteriormente este fluido es recolectado en un depósito de almacenamiento donde al condensarse presenta condiciones para el consumo humano. Este proceso se puede entender como el ciclo del agua, en una escala reducida (UPME, 2007 y Fernández, 2008).

Las tecnologías solares para hacer cambiar de fase un fluido varían con respecto a la temperatura generada, esta variación depende del área de captación expuesta o el tipo colector utilizado. En los colectores de efecto invernadero (Harper, 2007)(figura 2), se tiene un recipiente de color negro que absorbe la radiación solar y tiene un vidrio inclinado sobre el recipiente donde el agua que cambió de

fase se adhiere al vidrio más frío y se condensa cediéndole calor al mismo; por acción de la gravedad esta agua ya líquida se desplaza lentamente hasta un recipiente para acumularse y ser usada posteriormente para consumo humano. Esta tecnología es buena pero se necesita tener un área de captación grande, y el tiempo total de potabilización es más largo que los demás modelos (Trobajas, 2012 y Sánchez, 2008). (Figura 2)

Figura 2: diagramas de destiladores solares

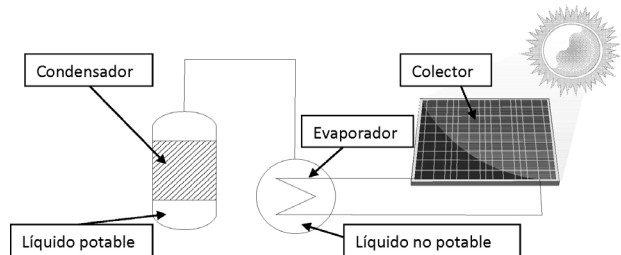


Fuente: Castrillón e Hincapié, 2012

Los colectores de placa plana tienen un área de captación expuesta al sol de color negro para absorber la radiación, encerrada en una caja de vidrio para evitar que se disperse esta radiación al ambiente, pues las ondas infrarrojas luego de pasar el vidrio se quedan atrapadas dentro de la caja creando un efecto invernadero. En la zona de captación hay un serpentín de tubos de cobre también de color negro que absorben calor y lo transfieren a un fluido que circula por ellos a más baja temperatura, generando un diferencial térmico al transferir el calor al fluido hasta equilibrarlo, es decir igualar su temperatura con la de la placa; esta temperatura debe ser suficiente para hacer que el fluido llegue a evaporarse o a elevar y sostener su temperatura para eliminar las bacterias o sustancias que se encuentran disueltas en él (Ibáñez y Rosell,

2005). Estos dispositivos de placa plana necesitan aparte del sistema de serpentín, un sistema donde se condense el fluido nuevamente, se filtre y se le eliminen los elementos que contaminan el agua. Este dispositivo hace que el agua circule por una placa captadora lo cual hace que el ciclo de transferencia del sol al fluido sea más rápido, pero requiere equipos más complejos y de un ciclo de recirculación diseñado de forma precisa (figura 3). Las ventajas de este sistema se encuentran en la posibilidad de que el sistema recircule un fluido y le transfiera el calor al agua a potabilizar; ambos sistemas son independientes y utilizan intercambiadores de calor. Al utilizar recipientes aislados térmicamente se pueden obtener más altas temperaturas y sostener el fluido a una presión constante para evaporarlo, aunque al ser un sistema más complejo su costo puede ser más elevado (Maadrid, 2009 y Goulding, 2012).

Figura 3: sistema de potabilización de agua con colector de placa plana



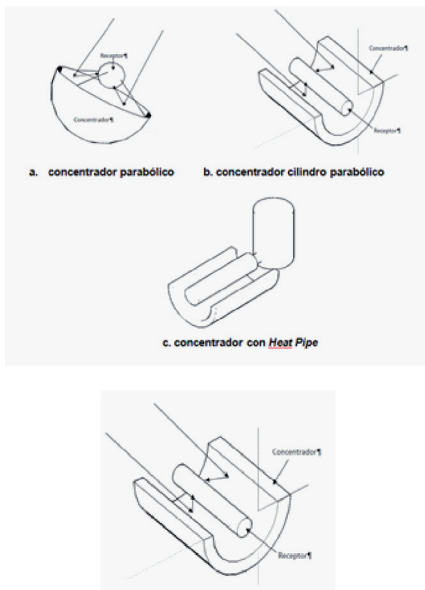
Fuente: Castrillón e Hincapié, 2012

Los colectores concentradores utilizan principios ópticos de reflexión para concentrar la radiación solar sobre una zona específica comúnmente llamada foco, donde se puede transferir al fluido por diferencial térmico la energía radiante del sol hasta hacerlo cambiar de fase para limpiarlo (Díez, 2007 y Restrepo, Sánchez, Galvis, Rojas y Sanabria, 2007).

Un colector concentrador (ver figura 3), tiene la capacidad de obtener mayores temperaturas que los de caja de efecto invernadero y los de placa plana, y puede ser más eficiente que los otros métodos antes mencionados si se desarrolla un

método eficiente para transferir la radiación al fluido; en estos procedimientos se buscan tecnologías que permiten obtener mejores resultados en la transferencia de calor. Existen diferentes métodos, entre otros el de la tubería acoplada en el foco del concentrador para captar la radiación en el fluido mientras pasa por el tubo que funciona similar a los de placa plana, necesitando un sistema para hacer cambiar de fase el fluido vaporizado (Celada y Marques, 1993 y Perales, 2008). En otros casos el fluido está confinado en un recipiente puesto en el foco, y al cambiar de fase se transfiere el vapor por una tubería hasta un sistema de condensación. Para obtener los mejores resultados se utilizan dispositivos que transfieran el calor de la zona del foco a un fluido confinado fuera del área de captación, en este método se utilizan sustancias que se evaporen a temperaturas y a presiones más bajas que las del agua a temperatura ambiente, y a una presión atmosférica más baja, es decir, utilizando fluidos de alta capacidad de transferencia confinados en recipientes al vacío (Zinian, 2003).

Figura 4: tipos de colectores concentradores

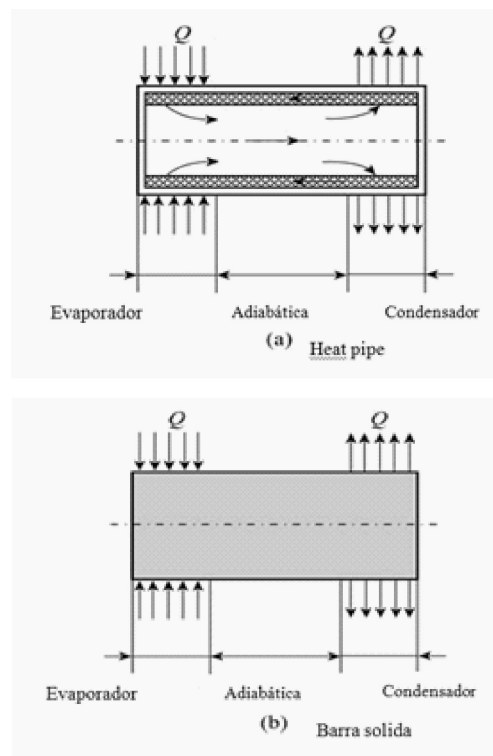


Fuente: Sánchez, 2008

Una de las maneras más eficientes de transferir el calor son los tubos de calor (Vassilis, 2002), donde un fluido en un recipiente aislado necesita menos temperatura para

cambiar de fase y por estar al vacío se necesita menos radiación para vaporizar dicho fluido, lo que hace que se obtenga una transferencia más eficiente de la energía del sol al fluido a potabilizar y logra que su temperatura aumente más rápido que en los anteriormente mencionados. El sistema es llamado un superconductor de calor (*heat pipe* o tubo de calor). Si se hace una analogía, se puede decir que un tubo de calor es cientos de veces más eficiente que una barra de metal sólido cobre =  $400 \text{ w/m}^{\circ}\text{c}$  / *heat pipe* =  $400000 \text{ w/m}^{\circ}\text{c}$  (figura 4); un dispositivo con tubos de calor es más costoso que un sistema convencional, pero es mucho más eficiente en cuanto a la velocidad con la que se transfiere el calor al fluido (Cengel, 2004 y Zesheng Lu, 2008).

Figura 5: comparativo de transferencia de calor



Fuente: Cengel, 2004

## POTABILIZAR AGUA CON ENERGÍA SOLAR UNA BUENA ALTERNATIVA

En lugares donde existan sistemas de redes de acueducto potabilizar con energía solar podría no ser rentable, pero

en lugares alejados de fuentes confiables de agua potable la energía solar es una de las mejores opciones. Mediante la energía solar es posible producir agua potable a partir de agua no potable, usando tecnología relativamente simple; esta aplicación resulta especialmente útil para regiones alejadas de las comodidades de la civilización, como islas y regiones costeras poco comunicadas, pero también pueden desarrollarse aplicaciones técnica y económicamente factibles en otros lugares (Mora, 2008 y Jardín, Mansilla, Cornejo e Hidalgo, 2002).

Un análisis de los contaminantes existentes en el agua permite saber qué temperaturas se le debe aplicar para lograr la eliminación total de microorganismos. El principio de funcionamiento de estos equipos es que las altas temperaturas tienen un marcado efecto sobre todos los microorganismos; las células vegetativas mueren debido a la desnaturalización de las proteínas y la hidrólisis de otros componentes. En el agua, si bien hay algunas bacterias con capacidad de generar esporas, lo que significa que genera resistencia a las altas temperaturas, para la gran mayoría de las bacterias puede afirmarse que mueren entre los 40°C y los 100° C, mientras que las algas, protozoarios y hongos lo hacen entre los 40°C y los 60°C lo que permite que los sistemas solares sean capaces de limpiar el agua de dichos contaminantes (Coto, 1998, González y Marín, 2003 y González y Martín, 2003). (Tabla 1)

Existe otro proceso llamado desinfección por ebullición que consiste en elevar la temperatura del agua a 100°C y mantener esa condición por espacio de uno a cinco minutos. El resultado es la eliminación de todos los microorganismos presentes. En contraposición, la pasteurización se define como la exposición de una sustancia (normalmente alimenticia, incluida el agua), «durante el tiempo suficiente a una considerable temperatura para destruir los microorganismos que puedan producir enfermedad o dañar las condiciones del alimento». Si bien la susceptibilidad al calor se encuentra condicionada por factores como la turbiedad del agua, la concentración de

células, el estado fisiológico y otros parámetros, el proceso de pasteurización destruye coliformes y otras bacterias no termotolerantes y esto es importante, ya que la mayor parte de los patógenos se encuentran en este grupo (Portuguez y Mora, 2002). (Tabla 1)

Es importante aclarar que los sistemas solares de potabilización de agua no eliminan contaminantes pesados, para estos es necesario someter el agua a procesos de filtrado más profundos, como la ósmosis inversa y la aplicación de productos químicos, pero para condiciones de zonas costeras o zonas donde existan aguas de pozos, ríos o lagos con contaminantes ligeros o salinidad, la tecnología ayuda a potabilizar el agua y a dejarla apta para el consumo humano (Hegewisch, 2009 y Portuguez y Mora, 2002).

De las alternativas descritas, la que más se presta para acoplarla con un sistema solar es la potabilización por evaporación y condensación. En el lenguaje de la Ingeniería Química esto se llama «desalación», sin embargo

---

en el mundo de la energía solar se le conoce como «destilación solar», que se refiere al proceso cuando los componentes que se desean separar no son volátiles,

---

por ejemplo, sales disueltas o contaminantes derivados de contaminación microbiana ligeros o turbiedad del agua (Méndez y Cuervo, 2008 y De Madrid y Lavaire, 1993).

El proceso de destilación solar consiste en poner agua en un recipiente donde se pueda transferir calor desde algún sistema de captación solar: irradiación directa o colectores. Al calentarse el agua se evapora dejando las sales, y posteriormente se condensa en alguna parte del equipo en donde no pueda mezclarse con el agua contaminada. La delimitación de los tipos de aguas para Colombia se detalla en el decreto 2105 del 26 de julio de 1983 y en

la política del agua del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, en los cuales también se establece la necesidad de evaluar el recurso hídrico y medir los niveles de contaminantes para decidir el proceso idóneo a utilizar.

La potabilización (desalinización o purificación) de agua por medio de la energía del sol aunque puede realizarse de diferentes formas, tiene sus ventajas y desventajas dependiendo del proceso. (Tabla 1)

Aunque la caja de efecto invernadero es una de las aplicaciones más sencillas y benéficas de la energía solar térmica y es una construcción simple, tiene como desventaja que su proceso es lento y las temperaturas sostenidas en el fluido son oscilantes. Por ello para el desarrollo de tecnologías de potabilización más eficientes, se necesita de equipos que eleven la temperatura del fluido hasta la ebullición de una forma más constante y rápida, como se explica a continuación.

La desinfección por ebullición consiste en elevar la temperatura del agua a 100°C para una atmósfera de presión y mantener esta condición por espacio de uno a cinco minutos. El resultado es la eliminación de la mayoría, sino de todos, los microorganismos presentes. Existe otro proceso llamado pasteurización, se define como el «proceso donde una sustancia se somete un tiempo considerable a una temperatura para influir en los microorganismos que puedan producir enfermedades o dañar las condiciones del alimento». Este proceso de pasteurización destruye bacterias no termo tolerantes al neutralizarlas con el aumento de temperatura (Hegewisch, 2009 y González y Martín, 2003). Aunque esta tecnología es de sistemas relativamente simples tiene la desventaja, como la gran mayoría de los equipos solares para potabilización, que el agua sobrepasa los 90°C, exceptuando algunos concentradores, por lo cual su uso para la eliminación de bacterias es limitado. (Tabla 2)

Las mayores ventajas se evidencian en las tecnologías solares de concentradores que utilizan tubos de calor que posibilitan elevar la temperatura por encima de los 100°C, haciéndola cambiar de fase y sosteniendo esta temperatura para enviar el vapor hasta un intercambiador de calor, donde se condensara y podrán realizarse más procesos de filtrado, como por ejemplo los filtros de carbón activado y filtro de iones de plata, que mejoran características del agua como su sabor y termina el proceso de potabilización realizado por el colector. Estos dispositivos garantizan la calidad del agua para el consumo humano, con la ventaja de ser un proceso económico, sin la necesidad de grandes instalaciones (Madrid, 2009 y Portuguez y Mora, 2002), aunque se debe aclarar que las tecnologías de tubos de calor aun esta en desarrollo y todavía no se comercializan en Colombia, aunque garantizando el desarrollo de los tubos de calor o la importación de los mismos, se podrían implementar colectores de potabilización para las regiones más alejadas de nuestra geografía.

El presente trabajo da a conocer que es posible usar la energía solar para potabilizar agua mediante tecnologías novedosas y tratar el agua para que sea aprovechada para el consumo humano con una infraestructura material muy sencilla, o con plantas de relativamente baja complejidad constructiva y de operación. Esta simplicidad se basa en el aprovechamiento inteligente de nuevas tecnologías y conocimientos aplicados a la solución de necesidades. El proceso de destilación nos muestra las posibilidades para ser aplicado en zonas donde el agua no es apta para el consumo humano, como las comunidades rurales, o las zonas costeras; comunidades muy necesitadas de la intervención tecnológica que les mejore su calidad de vida y les muestre sus potencialidades para construir su desarrollo.

A continuación se podrán observar las ventajas y desventajas de la tecnología convencional comparada con la tecnología de

la ósmosis inversa, que como se mencionó, es costosa y difícil de conseguir y manipular para comunidades rurales, lejos de la red de suministro de agua potable.

**Tabla 1:** ventajas y desventajas comparativas de tratar el agua por destilación solar *vs* osmosis inversa

VENTAJAS ÓSMOSIS INVERSA	DESVENTAJAS ÓSMOSIS INVERSA
Es un sistema confiable Es un sistema estudiado ampliamente Desinfección total Permite desalinizar fluidos Permite eliminar contaminantes por metales-pesados como agua residual de la minería.	Se necesita una inversión inicial para un sistema de gran complejidad Esta tecnología es más costosa Para contaminantes de metales pesados se requieren químicos-para catalizar reacciones en el agua y liberarla del contaminante.
VENTAJAS SISTEMA DE E. SOLAR	DESVENTAJAS SISTEMA DE E. SOLAR
Es un sistema sencillo Producto comercial de fácil localización Desinfección total Permite desalinizar fluidos	Se necesita un sistema de gran tamaño si se necesitan muchos litros No se puede usar en aguas contaminadas con metales pesados No todos los sistemas son de igual capacidad de potabilización y los más eficientes necesitan mayor investigación.

Fuente: Portuguez y Mora, 2002

**Tabla 2:** comparativo de temperaturas y microorganismos

CONTAMINANTES	TEMPERATURA	PRESIÓN	OBSERVACIONES
Bacterias	Entre 40°C y 100°C	Atmosférica	Potabilizadores de efecto invernadero
Algas, protozoarios y hongos	Entre 40°C y 60°C	Atmosférica	Potabilizadores de efecto invernadero/ potabilizadores de placa plana
Turbiedad bacterias algas, protozoarios y hongos	Por encima de 100°C hasta evaporar	Atmosférica	Potabilizadores de placa plana / concentradores /concentradores de alta transferencia
Microorganismos	Mantener a 100°C durante 5 o 10 min	Atmosférica	Potabilizadores de efecto invernadero/ placa plana
Metales pesados y contaminantes químicos peligrosos	No se eliminan solo con el aumento de temperatura	A presiones más bajas que la atmosférica	Sistemas de ósmosis inversa y filtrado por membranas.

## CONCLUSIONES

Es posible tratar aguas no potables por medio de tecnologías solares, pero debe estudiarse inicialmente el tipo de contaminantes que se encuentra en las aguas para saber elegir el tipo de colector apropiado de tratarla.

Los sistemas de potabilización de agua con energía solar permiten a poblaciones alejadas de las redes convencionales de agua obtener agua tratada potable con un consumo energético bajo.



Los equipos de tratamiento de agua pueden ofrecer diferentes posibilidades, según el costo de implementación, la temperatura o la eficiencia; los equipos de potabilización basados en tecnología solar, pese a sus restricciones con respecto a las variaciones que se pueden presentar en el transcurso de un día, pueden permitir que una comunidad costera obtenga agua potable a partir de agua salina y en zonas desérticas donde la radiación solar es alta y la cantidad y calidad del agua es deficiente.

Sistemas de potabilización de agua con energía solar en diferentes lugares del planeta muestran la gran versatilidad de esta tecnología, como el dispositivo diseñado por Jonathan Liow en Camboya, el modelo experimental alemán *solvatten* en nepal y Kenia, el Proyecto Fitosol en España o el dispositivo *watercone* o *beliotech* que buscan implementar plantas desalinizadoras o potabilizadoras solares en diferentes lugares en América Latina, y que muestran con hechos que en zonas alejadas de la red de agua potable tener una alternativa que use la radiación solar para potabilizar agua, es un acierto pues permite generar reservas de agua usando una energía que es disponible todo el año.

Si se desarrollan equipos más eficientes utilizando superconductores de calor, se pueden obtener mejores resultados al transferir de forma efectiva la radiación solar al fluido para hacerlo cambiar de fase.

La tecnología debe estar al servicio de las comunidades para ayudar a mejorar su calidad de vida. Esto hace parte de la responsabilidad social de la ciencia y la tecnología.

## BIBLIOGRAFÍA

Banco Interamericano de Desarrollo (2010). *Agua potable, saneamiento y los objetivos de desarrollo del milenio en América Latina y el Caribe*. Washington D.C. : BID.

Castrillón, J., & Hincapié, D. (2012). *Análisis experimental de un colector solar parabólico usando tubos de calor para potabilizar agua*. Medellín: ITM.

Celada, C., & Marques, L. (1993). *Uso de la energía solar en la desinfección del agua* para Memorias de la XVII Semana Nacional de Energía Solar, 4.

Cengel, Y. (2004). *Transferencia de Calor*. 2da Edición. México: McGraw-Hill.

Coto, J. (1998). *Abastecimiento de Agua en Costa Rica*. Costa Rica: CYTED.

De Madrid, E., & Lavaire, B. (1993). *Efecto bactericida de la radiación solar sobre las bacterias coliformes y otras bacterias patógenas en el agua*. Tegucigalpa: Universidad Nacional Autónoma de Honduras.

Díez, G. (2007). *Diseño de un laboratorio de tratamientos de agua para sistemas de potabilización*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.

Fernández, J. (2008). *Compendio de energía solar: fotovoltaica, térmica y termoeléctrica*. Madrid: AMV Ediciones.

González, H., & Martín, A. (2003). Desinfección solar, una alternativa para pequeñas comunidades rurales. En C. Díaz, C. Fall, & E. Quentin, Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas (pág. 11). Toluca: Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua.

Goulding, J. (2012). *European Passive Solar Handbook: Basic Principles and Concepts for Passive Solar Architecture*. Chicago: Trafalgar Square Publishing.

Harper, G. (2007). *Solar energy projects for the evil genius*. New York: Mc Graw Hill.

- Hegewisch, E. M. (2009). Agua potable y saneamiento básico en América latina. Un objetivo compartido y alcanzable. *Boletín económico de ICE*, Información Comercial Española, 63-70.
- Ibañez, M., & Rosell, J. (2005). *Tecnología Solar*. Madrid: AMV Ediciones.
- Jardim, W., Mansilla, H., Cornejo, L., & Hidalgo, M. (2002). *Uso de la energía solar para potabilizar agua por tecnologías económicas en zonas aisladas del Mercosur*. 30. Campinas, SP, Brasil.
- M.Sc. Darner Mora Alvarado, B. C. (s.f.). *Situación de cobertura y calidad del agua para consumo humano y disposición de excretas en Costa Rica a finales del año 2001*. Instituto costarricense de acueductos y alcantarillados, 32.
- Madrid, V. (2009). *Energía solar térmica y de concentración*. Manual Práctico de Diseño, Instalación y Mantenimiento. Madrid: AMV ediciones.
- Méndez, J., & Cuervo, R. (2008). *Energía solar térmica*. Madrid: Fundación Confemetal.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Política nacional para la gestión integral del recurso hídrico*. Bogota D.C.: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). *Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico*. Bogotá D.C.: Ministerio de Desarrollo Económico.
- OMS/UNICEF. (2012). *Progress on Drinking Water and Sanitation: 2012 Update*. Ginebra: UNICEF.
- Perales, T. (2008). *Instalación de paneles solares térmicos*. 3ª edición. México D.F.: Alfa - Omega.
- Portuguez, C., & Mora, D. (2002). *Situación de cobertura y calidad del agua para consumo humano y disposición de excretas en Costa Rica a finales del año 2001*. Instituto costarricense de acueductos y alcantarillados, 32.
- Restrepo, I., Sánchez, L., Gavis, A., Rojas, J., & Sanabria, I. (2007). *Avances en investigación y desarrollo en agua y saneamiento para el cumplimiento de las metas del milenio*. Cali: Universidad del Valle.
- Sánchez, M. (2008). *Energía solar térmica*. México D.F.: Limusa.
- Tobajas, M. (2012). *Energía solar térmica para instaladores*. Barcelona: Cano Pina, S.L.
- UPME. (2007). *Estrategia de uso racional de energía en el sector industrial colombiano*. Bogotá D.C.: Ministerio de Minas y Energía.
- Vassilis, B. (2002). A new heat-pipe type solar domestic hot water system. *Solar Energy*, 72.
- Zesheng LU, B. M. (2008). Equivalent thermal conductivity of heat pipes. Higher Education Press and Springer-Verlag, 5.
- Zinian, H. (2003). Advanced evacuated tube solar collectors. *Tech Monitor*, 6.



Avenida 30 • Medellín • Colombia • Año 2012



Título: El velocípedo mecánico

Técnica: Fotografía

(Diafragma: f/20 Tiempo de exposición 1/40 s, ISO 100)

Autor: Alfonso Tobón Botero

Año: 2012