

## DESALACIÓN MEDIANTE EL USO DE ENERGÍAS RENOVABLES: UNA REFLEXIÓN DESDE LA PERSPECTIVA ECONÓMICA

Alejandro GUEVARA SANGINÉS\*

Omar STABRIDIS ARANA\*\*

SUMARIO: I. *Introducción*. II. *Panorama de las energías renovables*. III. *Uso de energías renovables para desalación*. IV. *Instrumentos económicos y energías renovables*. V. *Reflexiones finales*. VI. *Bibliografía*.

### I. INTRODUCCIÓN

Sin duda el suministro de agua potable es un problema serio a nivel mundial. Existen lugares donde el consumo *per cápita* del vital líquido es en extremo bajo y ello tiene un impacto importante sobre la calidad de vida de la población, y en particular de grupos vulnerables como las mujeres y los niños. En algunas regiones las mujeres y los niños son los encargados del suministro de agua y emplean varias horas de su tiempo para acarrearla. Además, a menudo los hogares que sufren problemas de accesibilidad al agua potable son los más pobres, lo que exacerba el conjunto de problemas que enfrentan, como la desnutrición, la poca o nula accesibilidad a servicios de salud y de instalaciones sanitarias, aumentando gravemente su estado de vulnerabilidad.

Si bien es cierto que algunos países tienen acceso a grandes reservas de agua dulce, existen otras naciones donde éste es en extremo limitado debido a la escasez o nula presencia de ríos, lagos y lagunas. Ante este proble-

\* Doctor en desarrollo económico por la Universidad Autónoma de Madrid; director de la División de Estudios Sociales de la Universidad Iberoamericana-Ciudad de México.

\*\* Maestro en economía por el Centro de Investigación y Docencia Económicas (CIDE); investigador invitado en el Departamento de Economía de la Universidad Iberoamericana.

ma existen diversas soluciones como la construcción de pozos, embalses y la desalación. No se puede afirmar *a priori* y de forma determinante que una solución sea mejor que las otras; sin embargo, el criterio económico aconsejaría optar por la alternativa más costo-efectiva. En algunos países donde la escasez de cuerpos de agua dulce es notable, sin duda la solución más adecuada puede ser la desalación de agua salobre o agua marina. Mismo que se utiliza como insumo para obtener agua potable mediante un proceso que permite separar las sales disueltas en ella. Entre los países que ya han puesto en práctica este proceso se encuentran los Emiratos Árabes Unidos, Kuwait, España y Libia. También se ha empleado con cierto éxito esta solución en algunas partes del continente europeo y del americano.

Si bien la desalación permite obtener agua apta para consumo humano, es un proceso oneroso, ya que la tecnología que suele utilizarse requiere de petróleo para su funcionamiento. Ello es oneroso no sólo por la volatilidad de precios y los altos costos en el mercado internacional de este insumo, sino también por el empeoramiento de la contaminación ambiental derivada de su combustión en el proceso de desalinización.

Asimismo cabría cuestionarse el motivo por el cual se elige desalinizar el agua de mar en vez de potabilizar agua dulce previamente empleada en actividades humanas. La respuesta nuevamente puede encontrarse en el criterio económico: la abundancia relativa del agua de mar hace que sea relativamente barato emplearla como insumo. Evidentemente que ello sucede en las zonas de marismas y en las costeras.

Del total de agua disponible en el planeta, sólo 2.5% es agua dulce. De este acervo, 60% se encuentra en Sudamérica y una buena parte de ella está contaminada. La sobreexplotación de esta reserva ha generado que en algunas partes del mundo se sufra una grave escasez. Por contraste, las reservas de agua salada representan el 97.5% de la disponibilidad total de este recurso.

Este artículo intenta mostrar un panorama general de la utilización de energías renovables como una opción sustentable ante la opción no sustentable de emplear energías convencionales basadas en la utilización de combustibles fósiles. En la primera sección se presenta un panorama general de la oferta de energías renovables. La segunda sección presenta una valuación de la viabilidad económica de cada tecnología renovable en función de su costo relativo, mismo que esta condicionado a su vez por las características del lugar donde se pretenda utilizar una energía renovable en particular. En esta sección se presentarán ejemplos de aplicación real

en varios países alrededor del mundo. La tercera sección muestra los efectos que tienen los instrumentos económicos en la viabilidad de cualquier tecnología. Por último se presentan las conclusiones de este trabajo.

## II. PANORAMA DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

Las energías renovables representan una opción tecnológica potencial que puede ser aprovechada en reemplazo o como complemento de fuentes de energías que, como los hidrocarburos, dañan el medio ambiente. Los combustibles fósiles se caracterizan por ser no renovable, lo cual provoca que cada vez se observen precios más elevados reflejando su escasez relativa. Además, los combustibles fósiles como fuente de energía generan daños al medio ambiente debido a que los gases que se expulsan durante su combustión al fenómeno del efecto invernadero y por ende al calentamiento global del planeta; sin embargo, lo más grave es quizá el impacto a la salud de las personas. En uno de los estudios más recientes para México<sup>1</sup> se ha demostrado que la contaminación de aire atmosférico es la causa de muerte de aproximadamente 2000 personas al año.

Por los problemas expuestos anteriormente, es nuestra convicción que la viabilidad a largo plazo de las energías convencionales es cada vez más cuestionable. El uso de energías renovables se presenta cada vez más como una alternativa con más posibilidades de utilización a gran escala. A continuación, presentaremos un breve panorama de las energías renovables susceptibles de utilización y sus distintas modalidades.

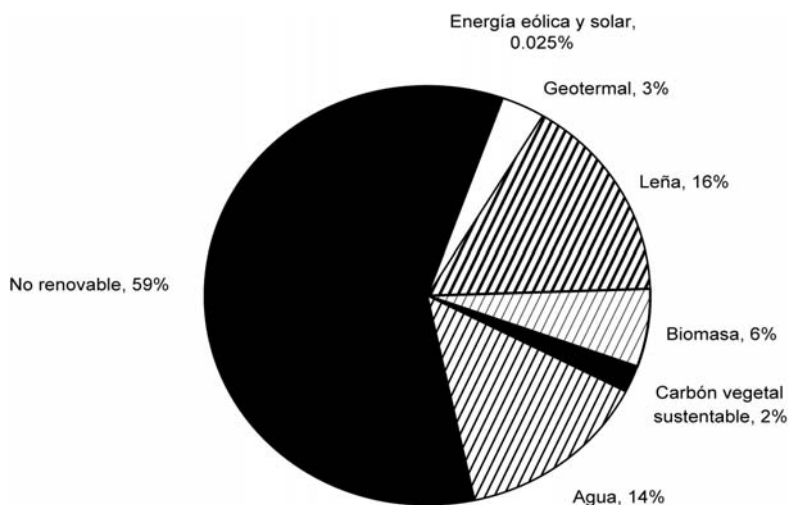
Las energías renovables se definen como aquellas fuentes de energías que son técnicamente sustentables, sin daños considerables al ambiente. Entre éstas se encuentran la energía eólica, la solar, la geotérmica, la leña, la biomasa, el carbón vegetal sustentable y la energía proveniente del agua; Wolpert y Guevara<sup>2</sup> las definen como aquellas energías que seguirán existiendo a pesar del consumo humano y cuya duración será mayor que la existencia de la especie humana. Según el reporte de la Comisión Económica para América Latina CEPAL-GTZ de 2003, para Latinoamé-

<sup>1</sup> Guevara *et al.*, *An Economic Valuation of Damages to Air and Water Resources in México*, Forthcoming, 2006.

<sup>2</sup> Wolpert *et al.*, "Solar Adsorption Cooling Box for Fishing Boats in Mexico", *Proceedings of the 4th International Conference on Sustainable Energy Technologies*, Jinan China, 2005.

rica, las energías renovables representan el 41% del total de energías utilizadas en la región (véase figura 1); sin embargo, si consideramos una definición estricta de sostenibilidad dicha cifra se reduce al 0.025% que es la que contempla la energía eólica y la solar.

*Figura 1. Energías renovables y no renovables en Latinoamérica (CEPAL-GTZ)*



Fuente: GUEVARA *et al.*, “Sustainable Energy Technologies in Latin America: A Perspective”, *Proceedings of the 3er International Conference on Sustainable Energy Technologies*, Nottingham, núms. 28-30, junio de 2004.

Los problemas (sociales, económicos, ambientales y de salud) generados por la utilización de combustibles fósiles han obligado a los gobernantes a considerar la difusión de diversos tipos de energías renovables en sus respectivos países. A continuación, se expondrá una breve explicación de cada tipo.

### 1. *Energía solar*

Es la fuente de energía renovable con mayor potencial, ya que es una fuente abundante proveniente de la radiación solar. La superficie terrestre recibe grandes cantidades de energía solar que podría suplantar la energía proveniente de combustibles fósiles y la energía eléctrica que se

utilizan para todas las actividades humanas. Se han desarrollado diversas tecnologías para el aprovechamiento de esta importante fuente de energía como paneles solares constituidos por celdas fotovoltaicas y platos parabólicos concentradores de calor, entre las principales se cuenta con las celdas solares o fotovoltaicas, que captan a través de paneles la energía proveniente del sol.

Desde la perspectiva económica, a diferencia de un sistema tradicional de abasto de energía eléctrica, la energía generada por celdas fotovoltaicas se caracteriza, en general, por tener costos fijos en función de la energía a producir y ello implica versatilidad en la magnitud de los proyectos que se desean echar a andar. Desde el punto de vista físico implica que la cantidad de energía generada esta relacionada de forma muy directa con la cantidad de paneles solares que conforman el sistema. Por ello, al no necesitar de una gran infraestructura inicial como lo supone la red de distribución tradicional (piénsese en una hidroeléctrica o una termoeléctrica), es idónea para aquellos lugares aislados o muy lejanos a la red. En México, por ejemplo, este tipo de energía se emplea con bastante frecuencia en comunidades rurales que se encuentran bastantes alejadas de la red de distribución.

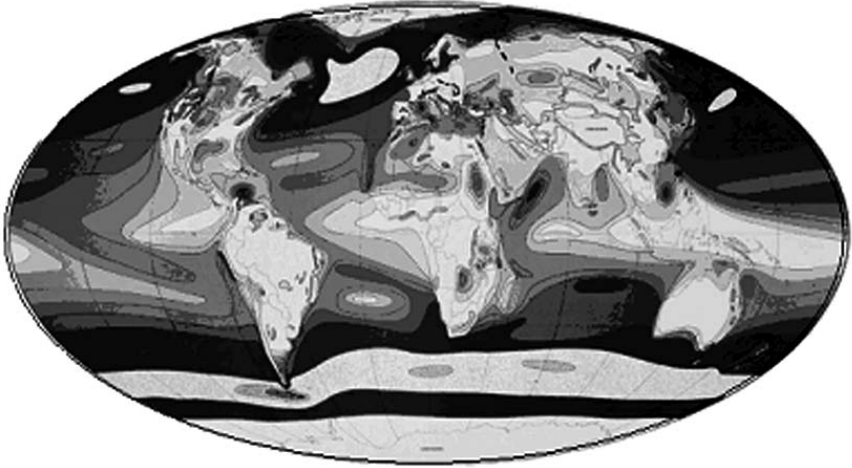
La disponibilidad de la energía solar no es uniforme en el mundo, en ese sentido, Latinoamérica es una región privilegiada pues en ella existe una gran disponibilidad del recurso debido a su cercanía al ecuador. La figura 2 muestra la disponibilidad de radiación solar en el mundo.

## *2. Energía eólica*

Es la energía que proviene de la velocidad del viento, que a su vez es consecuencia del diferencial de procesos de calentamiento de la superficie de la tierra, de acuerdo a las condiciones meteorológicas y geográficas. El Departamento de Energía de Estados Unidos estima que el potencial de energía eólica que existe en el mundo excede por 10 a la demanda actual de energía a nivel global. En Latinoamérica, específicamente en México, existen regiones con alto potencial de dicha energía como la región de la Ventosa en Oaxaca. La figura 2 muestra el mapa mundial de energía de viento.

En términos de costos, y en contraste con la energía solar, la, energía eólica requiere de cierta escala de inversión inicial (generadores de viento), aunque una vez realizada los costos de mantenimiento son exiguos.

*Figura 2.* Potencial eólico en el mundo



Fuente: Departamento Estadounidense de Energía, página web, mapa 11a.

### *3. Energía geotérmica*

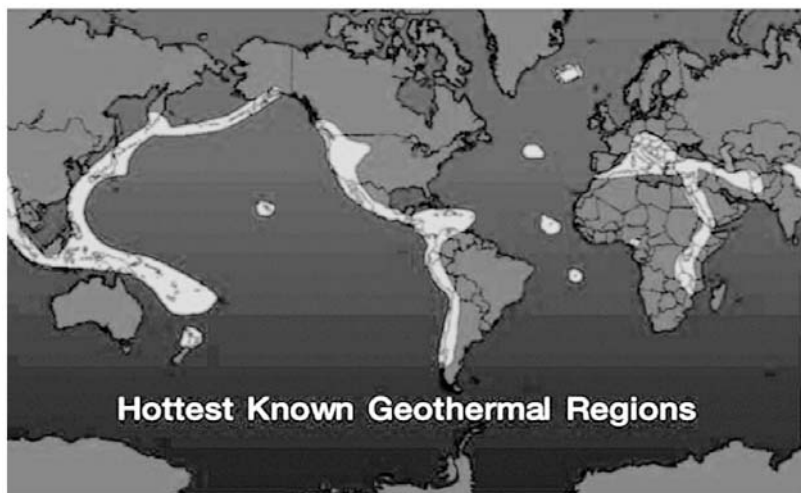
La energía geotérmica se refiere al calor almacenado en la capa que se encuentra debajo de la corteza terrestre. El potencial de energía geotérmica es mayor en lugares donde hay mayor actividad volcánica relacionada con el movimiento de las placas tectónicas. Las reservas geotérmicas se forman cuando el agua caliente y el vapor que suben son capturados por las rocas permeables y porosas que se encuentran debajo de las rocas impermeables. Las temperaturas que alcanzan las reservas llegan a 370 grados celsius. En América, específicamente desde el sur de Chile hasta el norte de México, existe una fuerte actividad tectónica debido a la presencia del “anillo de fuego” que es un sistema de placas que pasa por las costas del pacífico de América Latina. La figura 3 muestra el potencial de energía geotérmica en el mundo. Una parte importante de los costos de producción de este tipo de energía tiene que ver con la inversión necesaria para establecer la planta geotérmica. En ese sentido es menos versátil económica y geográficamente que la energía solar.

#### 4. Biomasa

La biomasa es quizá la fuente de energía renovable más fácil de explotar debido a su simple proceso de conversión a combustible. Se puede nutrir de fuentes como leña, caña de azúcar, basura orgánica, rastrojos, estiércol de animales, entre otros. Esta energía es muy utilizada en países que no cuentan con suficientes reservas de hidrocarburos. El país que va a la vanguardia en esta materia es Brasil ya que cuenta con la mayor producción de energía derivada de esta fuente. En América Latina es una fuente de energía con gran potencial debido a una fuerte presencia de industrias relacionadas con la biomasa.

De manera similar a la energía solar, la energía derivada de la biomasa puede gozar de gran versatilidad en el tamaño de escala. Además, a diferencia de la utilización de combustibles fósiles, el proceso de utilización de la biomasa es “carbón neutra”, ya que las emisiones de gases que se derivan de su generación, son compensadas por la captura de carbono integrado en la biomasa a emplearse en el ciclo subsiguiente (en el caso de la caña de azúcar, es el carbono contenido en la propia caña).

*Figura 3.* Las regiones de mayor potencial geotérmico



Fuente: Departamento Estadounidense de Energía, página web, mapa 11b.

## 5. *Energía mareomotriz*

La energía mareomotriz proviene de las olas generadas por el mar y está presente en todas las costas marítimas del mundo. Esta energía puede ser transformada en electricidad usando generadores cinéticos y turbinas fluidas (que implican altos costos fijos). Este tipo de energía se podría usar de forma mixta con la energía eólica y la energía solar. Al contar con una amplia extensión de costas, México tiene amplias posibilidades de utilizar dicha energía, en especial en áreas donde existe fuerte oleaje.

A pesar de las ventajas que se presentan de la utilización de las energías renovables, existen factores que dificultan su utilización. Entre los argumentos de tipo económico se encuentran los altos costos de implementación de estas tecnologías y la existencia de mercados crediticios imperfectos que no permiten financiar las mismas de manera adecuada. Asimismo, se argumenta que no se puede obtener un costo único de implementación incluso de una misma tecnología debido a que el costo de inversión y producción de dicha tecnología varía con relación al contexto geográfico y las características físicas necesarias para su funcionamiento. En parte las dificultades económicas están relacionadas con fallos de política pública debido al desconocimiento de su viabilidad y de sus ventajas. En particular, no se establecen impuestos a las tecnologías basadas en combustibles fósiles para desalentar los altos niveles de contaminación, ni se subsidia la implementación de energías renovables lo cual tendría el mismo efecto. La recomendación económica más importante es que al analizar la adopción de cualquier tipo de tecnología deben tomarse en cuenta todos los costos y todos los beneficios de dicha decisión, incluidos los costos ambientales. Sólo así podría compararse a las tecnologías con las que compete.

Este documento se basa en el hecho de que si este análisis integral se hiciera más a menudo, estaríamos utilizando con mayor intensidad energías renovables. Además es importante que el análisis realizado sea completo tomando en cuenta todas las fuentes potenciales a utilizar. Un ejemplo de esto último se puede observar en el trabajo titulado “Analysis of potential for Market Penetration of Renewable Energy Technologies in Peripheral Islands”,<sup>3</sup> en donde se muestra un análisis integral de las fuentes potenciales de energía en la isla de Cabo Verde, en África.

3 Monteiro, Luis *et al.*, “Analysis of Potential for Market Penetration of Renewable Energy Technologies in Peripheral Islands”, *Renewable Energy*, núm. 19, 2003, pp. 311-317.



### III. USO DE ENERGÍAS RENOVABLES PARA DESALACIÓN

La desalación de las aguas de mar se utiliza cuando la alternativa de implementar la misma es más viable que otras alternativas de obtención de agua potable. Además, los recursos del agua de mar son abundantísimos en relación a los del agua dulce; sin embargo, la desalación del agua de mar siempre resultó costosa debido a la utilización de combustibles fósiles que suelen tener altos precios además de contaminar el medio ambiente. Quizá las excepciones se encuentran en zonas desérticas como la región del Golfo Pérsico que es muy rica en hidrocarburos pero tiene muy pocas reservas de agua dulce, ríos o lagos y es una región de pocas lluvias, lo que facilitó a los países de esta región utilizar plantas desalinizadoras de agua de mar para obtener agua potable. Una de las medidas aplicadas es utilizar tecnologías de desalación que se alimentan de energías renovables; sin embargo, no todos los países con acceso a agua marina tienen reservas de combustibles fósiles, y ello da un motivo más para aquilatar el valor de incorporar energías renovables en este proceso.

#### 1. *Utilización de energía solar*

Desde hace un par de décadas se ha venido difundiendo el uso de plantas desalinizadoras que utilizan energía solar y eólica, y otras que emplean como fuente de energía los hidrocarburos y la energía solar de forma combinada o complementaria.

Entre los países del Golfo Pérsico que cuentan con plantas de desalinización que utilizan energía solar se encuentran los Emiratos Árabes Unidos, que poseen una planta de capacidad de desalinización de 120m<sup>3</sup>/día;<sup>4</sup> en la región de Hzag, en Túnez, se cuenta con una planta que se maneja con energía solar;<sup>5</sup> Kuwait también cuenta con una planta que tiene una capacidad de 100 m<sup>3</sup>/día.

En otras regiones del mundo también se cuenta con plantas que funcionan con energía solar en forma parcial o total. En Berken, Alemania, se cuenta con una planta que tiene capacidad de 10 m<sup>3</sup>/día; en España

4 El-Nashar, A. M., "Abu Dhabi Solar Distillation Plant", *Desalination*, núm. 52, 1985, pp. 217-234.

5 García M., Lourdes, "Renewable Energy Applications in Desalination: State of Art", *Solar Energy*, núm. 75, 2003, pp. 381-393.

existen varias plantas de desalación en las regiones de Murcia y en las Islas Canarias. En Chipre el gobierno ha construido plantas que funcionan con energía solar y también plantas mixtas.

Existen varios tipos de tecnologías que utilizan energía solar pero difieren en algunas características técnicas, entre éstas se tiene la que usa energía solar para un sistema de destilación y la de celdas fotovoltaicas. La primera consta de un colector solar y un destilador que calientan el agua y la separan de la sal, el vapor de agua formado es capturado por el colector y este se conduce a un recipiente donde se almacena el agua tratada (se denomina también desalinización solar indirecta). El colector dota de calor al sistema para que éste pueda realizar el proceso de destilación. En algunos casos, debido a que la energía solar sólo se obtiene de día, ésta se combina con la energía proveniente de combustibles fósiles. En algunos casos para que el proceso se vuelva más costo-efectivo se requiere la utilización de tecnologías mixtas.<sup>6</sup> Algunos ejemplos de plantas de desalinización solar indirecta existentes en el mundo son la de La Paz, Baja California Sur, en México. También se tiene la implementada por el Centro Español de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), la cual fue resultado de un trabajo experimental. Este trabajo tuvo resultados positivos y se localiza en Almería, una región de alta irradiación solar. Por otra parte, Kalogirou<sup>7</sup> realiza un análisis económico para determinar si una planta de desalinización solar indirecta a instalarse en Chipre es más costo-efectiva que una que funcione con energía mixta (combustibles fósiles y energía solar) o con energía proveniente de combustibles fósiles. El autor concluye que la planta de desalinización que utiliza energía de combustibles fósiles es más costo-efectiva a nivel residencial pero que puede ser más conveniente un sistema mixto en los hoteles, debido a que los precios del agua son más altos en estos últimos.

Otra alternativa tecnológica que utiliza como fuente de energía el sol es la de celdas fotovoltaicas. En esta tecnología la energía solar es directamente transformada en electricidad mediante la conversión fotovoltaica. Las celdas son hechas de silicón. Esta tecnología es eficaz, su principal problema es que la fabricación de las celdas fotovoltaicas tiene un

<sup>6</sup> *Idem.*

<sup>7</sup> Kalogirou, S., "Economic Analysis of Solar Assisted Desalination System", *Renewable Energy*, vol. 12, núm. 4, 1997, pp. 187-203.

costo alto. Además, ésta es susceptible al tamaño de la planta para que sea factible su puesta en marcha (regularmente, en plantas grandes). A pesar de esto, existen plantas de este tipo en Arabia Saudita, Canadá y Portugal.<sup>8</sup> La principal ventaja de utilizar esta opción tecnológica es que reduce la dependencia de la utilización de combustibles fósiles.<sup>9</sup>

## 2. Utilización de energía eólica

La utilización de energía eólica para procesos de desalación es menos popular que el uso de energía solar para el mismo fin. A pesar de ello la utilización de este tipo de energía renovable va en aumento.<sup>10</sup> Asimismo, también existen algunas plantas que funcionan con tecnologías mixtas de energía solar y eólica.<sup>11</sup> Al igual que la utilización de tecnologías basadas en energía solar, la energía eólica también requiere que la región analizada cuente con las condiciones suficientes para que sea costo-efectiva. Se ha demostrado<sup>12</sup> que la viabilidad de una planta de desalación que utilice energía eólica no es algo lejano. Inclusive, explican que se tienen dos opciones tecnológicas para la utilización de la energía eólica. Por otro lado, en el número 153 de la revista *Desalination*,<sup>13</sup> los autores demostraron que la viabilidad de una planta de desalación en Libia (un país con una gran extensión de desierto) que utilice una tecnología mixta de energía eólica y solar es casi igual de viable que una que sólo utiliza combustibles fósiles. Por último,<sup>14</sup> en “Economic analysis of wind-powered desalination in the south of Morocco”, los autores muestran que es factible la instalación de una planta de desalación que utilice una tecnología mixta eólica-eléctrica en Marruecos.

<sup>8</sup> García M., Lourdes, *op. cit.*, nota 5.

<sup>9</sup> Kalogirou, S., “Effect of Fuel Cost on Price of Desalination Water: a Case for Renewables”, *Desalination*, núm. 138, 2001, pp. 137-144.

<sup>10</sup> García M., Lourdes, *op. cit.*, nota 5.

<sup>11</sup> Kershman, S. *et al.*, “Seawater Reverse Osmosis Powered form Renewable Energy Sources – Hybrid Wind/Photovoltaic/Grid Power Supply for Small- Scale Desalination in Libya”, *Desalination*, núm. 153, 2002, pp. 17-23.

<sup>12</sup> García M., Lourdes, “Economic Analysis of Wind-Powered Desalination”, *Desalination*, núm. 137, 2002, pp. 259-265.

<sup>13</sup> Kershman, S. *et al.*, *op. cit.*, nota 11.

<sup>14</sup> Zejli, D. *et al.*, “Economic Analysis of Wind-Powered Desalination in the South of Morocco”, *Desalination*, núm. 165, 2004, pp. 219-230.

### 3. *Utilización de biomasa*

La utilización de energía proveniente de biomasa para una planta de desalación es normalmente inviable debido a varias razones. Una de éstas es que los lugares donde normalmente se construyen plantas de desalación se caracterizan por tener muy poca humedad (como las zonas desérticas) y por tanto muy poca vegetación, lo que no permite la existencia de árboles o arbustos, materia prima para la biomasa. Con frecuencia se tiene la situación de que saldría más caro plantar árboles y mantenerlos para su posterior uso como biomasa, que poner en funcionamiento una planta de desalación que funcione con energías renovables o con combustibles fósiles.

### 4. *Utilización de energía geotérmica*

La utilización de energía geotérmica para una planta de desalación es viable desde un punto de vista técnico y económico.<sup>15</sup> Una vez realizada la inversión inicial la energía geotérmica presenta precios bajos para su funcionamiento, aunque las aguas termales deben observar temperaturas menores a 100 grados celsius para facilitar su manejo. Karytsas<sup>16</sup> realizó un análisis económico acerca del uso de la energía geotérmica a instalarse en las Islas Cícladas, en Grecia. También se instaló una planta de desalación que utiliza energía geotérmica en Túnez.

### 5. *Utilización de energía mareomotriz*

La utilización de la energía mareomotriz se basa en el poder de las ondas marinas. Se han hecho revisiones de sus aplicaciones, por ejemplo, en “Wave energy in Europe: Current Status and Perspective” los autores<sup>17</sup> hacen una revisión del presente y de las perspectivas de este tipo de energía en la desalación de agua marina en Europa. El problema princi-

<sup>15</sup> García M., Lourdes, *op. cit.*, nota 5.

<sup>16</sup> Karytsas, C., “Mediterranean Conference on Renewable Energy Sources for Water Production”, *European Commission, EURORED Network, CRES, EDS*, Santorini, Greece, 10-12 de junio de 1996, pp. 128-131.

<sup>17</sup> Clément, A. *et al.*, “Wave energy in Europe: current status and perspectives”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, núm. 6, 2002, pp. 405-431.

pal que tiene es su alto costo de inversión inicial; sin embargo, en “Production of desalinated water using ocean thermal energy”<sup>18</sup> se demuestra que un sistema mixto de energía mareomotriz y energía térmica proveniente del océano es técnica y económicamente viable.

En resumen, se observa que la viabilidad económica depende de los recursos potenciales de energías renovables en la región a analizar, por ello, no todos los países pueden utilizar energía solar o eólica sino aquellos que cuentan con el recurso en abundancia de tal modo que sea costo-efectivo. Por ejemplo, a pesar de ser una tecnología cara, las celdas fotovoltaicas son adecuadas en regiones poco accesibles pues compiten favorablemente ante la costosa opción de extender la red de distribución. En algunos países será mucho más rentable la aplicación de tecnologías mixtas tanto renovables como combinaciones de energías renovables y no renovables.

#### IV. INSTRUMENTOS ECONÓMICOS Y ENERGÍAS RENOVABLES

El uso de instrumentos económicos en la política pública es una práctica común en el mundo. Los gobiernos otorgan subsidios para financiar proyectos sociales o aminorar el precio de venta de bienes con efectos sociales positivos que es pagado por los integrantes de una sociedad. Un ejemplo de esto son los subsidios al consumo de agua, medicinas y educación, entre otros. En otras partes del mundo los gobiernos han utilizado subsidios para financiar proyectos que disminuyen la contaminación atmosférica, como es el caso de la utilización de energías renovables. Para observar el impacto de los instrumentos económicos en la viabilidad de proyectos se presentará el caso de Chipre.

El caso de Chipre es interesante, es un país que carece de combustibles fósiles, además de que no cuenta con ríos permanentes y llueve poco en su territorio; sin embargo, un recurso con que cuenta en abundancia es el alto grado de irradiación solar. Tradicionalmente el gobierno ha subsidiado el petróleo que proviene enteramente de la importación y para paliar el problema de escasez de agua se construyeron presas. En la década de los noventa el gobierno decidió construir plantas de desalación que funcionaran

<sup>18</sup> Rabas, T., y Planchal, C., “Production of Desalinated Water Using Ocean Thermal Energy”, *Oceans*, núm. 1, 1991, pp. 38-45.

con combustibles fósiles o energía solar. Kalogirou<sup>19</sup> realizó un análisis de costo-efectividad de la construcción de plantas de desalación a través de combustibles fósiles, energía solar y un sistema mixto. Los resultados arrojaron la conclusión de que los sistemas mixtos y de combustibles fósiles eran, en ese contexto, los más costo-efectivos, aunque se debe recordar que el petróleo es subsidiado por el gobierno. Cuando se elimina el efecto del subsidio sobre el petróleo, la tecnología a base de combustibles fósiles y la de energía solar son igual de viables económicamente, aunque si consideramos los costos ocultos de la degradación ambiental, la solución favorecerá la opción de energías renovables. Kalogirou<sup>20</sup> analiza, además, dos escenarios: uno que subsidia el petróleo, promoviendo su uso como combustible para plantas de desalación; el otro subsidia la utilización de energía solar en las plantas de desalación. Los resultados muestran que la fuente de energía (la renovable y la de combustibles fósiles) que es subsidiada es más viable que la no subsidiada. De aquí podemos aportar algo al análisis de este caso.

Hay al menos dos razones para creer que es mejor para Chipre subsidiar la energía solar y no el petróleo en materia de abastecimiento de energía de plantas de desalación. En primer término la energía solar es más abundante que el otro tipo de energía. En segundo lugar, los precios del petróleo han tenido (y quizá tendrán) una tendencia alcista en los últimos cinco años debido a la escasez derivada de la guerra civil en Irak y a otros factores de carácter geopolítico.

El problema que se produce por el uso de sistemas puramente solares es que inevitablemente se genera capacidad ociosa, debido a que los rayos solares sólo ocurren durante el día y cuando el cielo está despejado. Una propuesta más viable es comenzar con sistemas mixtos, y poco a poco buscar la conversión a sistemas cuya única fuente sean energías renovables a partir de mejoras tecnológicas.

Se puede observar que los instrumentos económicos, de ser aplicados correctamente, favorecen la aplicación de tecnologías y son económicamente eficientes a la par de ser de bajo impacto sobre el ambiente.

<sup>19</sup> Kalogirou, S., *op. cit.*, nota 7.

<sup>20</sup> Kalogirou, S., "The Energy Subsidization Policies of Cyprus and Their Effect on Renewable Energy Systems Economics", *Renewable Energy*, vol. 28, núm. 4, 2003, pp. 187-203.

Una aplicación propuesta en México en materia de mejorar el balance hídrico fue el propuesto en “Agriculture Demand for Groundwater in Mexico: Impact of Water Right Enforcement and Electricity User-fee on Groundwater Level and Quality”,<sup>21</sup> en este trabajo se analiza la tarifa cobrada por el gobierno a los productores rurales por extracción de agua subterránea para agricultura. Dado que existe sobreexplotación de los mantos acuíferos a los que tienen acceso los productores rurales, y dado que la tarifa está subsidiada en más del 50% del costo real, se propone eliminar el subsidio y transferir éste como un monto monetario a los productores. Mediante modelos estadísticos se demuestra que esta solución permite que se atenúe la sobreexplotación de los mantos acuíferos, sin ir en detrimento del ingreso de los productores.

## V. REFLEXIONES FINALES

Después de hacer el análisis sobre los aspectos económicos de la desalación con base en energías renovables, hemos llegado a las siguientes conclusiones:

- El problema de escasez de reservas de agua dulce en varias regiones del mundo adyacentes a las costas hace inevitable tomar en cuenta la posibilidad de desalar el agua de mar y destinarla al consumo humano. Las reservas de agua de mar son 97% del total de aguas que posee el planeta.
- La utilización de combustibles fósiles como fuente de energía de las plantas de desalación no es viable a largo plazo desde el punto de vista económico por dos motivos: *a)* los altos precios de éstos en el mercado mundial, y *b)* las emisiones derivadas de la combustión de estos afecta la salud de las personas y acentúa el efecto invernadero.
- Existe la suficiente abundancia de fuentes de energía renovable a nivel mundial. América Latina está en una situación privilegiada pues: *a)* se cuenta con buena irradiación solar debido a la cercanía al ecuador; *b)* el potencial de energía eólica es alto también; *c)* de-

<sup>21</sup> Muñoz, C. *et al.*, “Agriculture Demand for Groundwater in Mexico: Impact of Water Right Enforcement and Electricity User-fee on Groundwater Level and Quality”, forthcoming, 2006.

bido a que el continente se encuentra en una zona de placas tectónicas con gran actividad, se cuenta con ventajas en energía geotérmica, y *d)* además, por contar con industrias relacionadas con la biomasa, y con una población grande que genera residuos orgánicos, se cuenta con posibilidades de utilizar energía proveniente de la biomasa.

- En cuanto a la utilización de energías renovables para funcionamiento de plantas de desalación se puede observar que la energía renovable más utilizada es la solar, tanto en colectores solares como en celdas fotovoltaicas. La utilización de sistemas mixtos de energías renovables e hidrocarburos puede ser una primera alternativa de utilización hacia un horizonte de utilización única de tecnologías que funcionen enteramente con energías renovables y que aborde el problema de continuidad.
- Finalmente, es importante considerar que la decisión sobre la utilización de una tecnología en particular debe tomarse en función de los costos y beneficios de su aplicación. Y que el análisis debe hacerse caso por caso, no hay conclusiones generales, puesto que costos y beneficios están en función de las condiciones locales, que incluyen la abundancia relativa de insumos (agua de mar, biomasa, etcétera) y de fuentes de energía (solar, eólica, etcétera). Debe considerarse además el concepto de beneficio y costo total, es decir, aquel que incluya los impactos negativos y positivos de utilizar una fuente de energía en particular. En el pasado se ha ignorado el impacto negativo de la utilización de combustibles fósiles, incorporar este elemento en la ecuación puede sin duda inclinar la balanza cada vez más hacia la adopción de fuentes renovables de energía para desalinizar.

## VI. BIBLIOGRAFÍA

- CLÉMENT, A. *et al.*, “Wave Energy in Europe: Current Status and Perspectives”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, núm. 6, 2002.
- EL-NASHAR, A. M., “Abu Dhabi Solar Distillation Plant”, *Desalination*, núm. 52, 1985.
- “Cogeneration for Power and Desalination—State of the Art Review”, *Desalination*, núm. 154, 2001.



- GARCÍA M., Lourdes, “Renewable Energy Applications in Desalination: State of Art”, *Solar Energy*, núm. 75, 2003.
- *et al.*, “Economic Analysis of Wind-powered Desalination”, *Desalination*, núm. 137, 2002.
- GUEVARA *et al.*, “Sustainable Energy Technologies in Latin America: A Perspective”, *Proceedings of the 3er International Conference on Sustainable Energy Technologies*, Nottingham, núms. 28-30, junio de 2004.
- , *An Economic Valuation of Damages to Air and Water Resources in Mexico*, forthcoming, 2006.
- KALDELLIS, J. *et al.*, “Renewable Energy Desalination Plants for Greek Islands—Technical and Economics Considerations”, *Desalination*, núm. 170, 2004.
- KALOGIROU, S., “Economic Analysis of Solar Assisted Desalination System”, *Renewable Energy*, vol. 12, núm. 4, 1997.
- , “Effect of Fuel Cost on Price of Desalination Water: a Case for Renewables”, *Desalination*, núm. 138, 2001.
- , “The Energy Subsidization Policies of Cyprus and Their Effect on Renewable Energy Systems Economics”, *Renewable Energy*, vol. 28, núm. 4, 2003.
- KARYTSAS, C., “Mediterranean Conference on Renewable Energy Sources for Water Production”, *European Commission, EURORED Network, CRES, EDS*, Santorini, Grecia, 10-12 de junio de 1996.
- KERSHMAN, S. *et al.*, “Seawater Reverse Osmosis Powered form Renewable Energy Sources-Hybrid Wind/Photovoltaic/Grid Power Supply for Small- Scale Desalination in Libya”, *Desalination*, núm. 153, 2002.
- MADWAR, K. y TARAZI, H., “Desalination Techniques for Industrial Wastewater Reuse”, *Desalination*, núm. 152, 2002.
- MOHSEN, M. y AL-JAYYOUSI, Odeh, “Brackish Water Desalination: an Alternative for Water Supply Enhancement in Jordan”, *Desalination*, núm. 124, 1999.
- MONTEIRO, Luis *et al.*, “Analysis of Potential for Market Penetration of Renewable Energy Technologies in Peripheral Islands”, *Renewable Energy*, núm. 19, 2003.

- MUÑOZ, C. *et al.*, “Agriculture Demand for Groundwater in Mexico: Impact of Water Right Enforcement and Electricity User-fee on Groundwater Level and Quality”, forthcoming, 2006.
- RABAS, T., y PLANCHAL, C., “Production of Desalinated Water Using Ocean Thermal Energy”, *Oceans*, núm. 1, 1991.
- WOLPERT *et al.*, “Solar Adsorption Cooling Box for Fishing Boats in Mexico”, *Proceedings of the 4th. International Conference on Sustainable Energy Technologies*, Jinan China, 2005.
- ZEJLI, D. *et al.*, “Economic Analysis of Wind-Powered Desalination in the South of Morocco”, *Desalination*, núm. 165, 2004.