

La energía solar en la Argentina

Por Luis R. Saravia, INENCO, Universidad Nacional de Salta

El tema de la energía solar ha sido objeto de un renovado y creciente interés durante esta década, fundamentalmente por las posibilidades de ofrecer una alternativa al problema de la contaminación energética del medio ambiente.

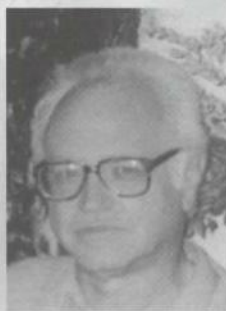
La Argentina tiene una tradición de trabajo en el tema y, si bien la instalación de sistemas aún sigue siendo puntual, es de esperar que vaya tomando una creciente importancia.

A continuación, se presenta una revisión de los usos de la energía solar teniendo como referencia las actividades que se han desarrollado en la Argentina desde 1975.

Luis R. Saravia obtiene el título de Ingeniero Industrial de la Universidad de la República, Uruguay, en 1964. En 1969 recibe el título de Doctor en Física (PhD) de la Northwestern University, Illinois, USA. En 1974 se traslada desde la Facultad de Ingeniería en el Uruguay a la Universidad Nacional de Salta (UNSa), en donde se ha desempeñado desde ese momento como Profesor Titular en la Facultad de Ciencias Exactas. Ha actuado como Director del Instituto de Investigación en Energías No Convencionales (INENCO), creado en 1981 mediante un convenio entre la UNSa y el CONICET. Ingres a la carrera de Investigador del CONICET en 1986 como Investigador Principal. Su actividad de investigación y desarrollo se ha centrado en el aprovechamiento de la energía solar, especialmente en el campo térmico. Posee más de 180 trabajos publicados a nivel nacional e internacional y ha participado en numerosas transferencias de tecnología en la región noroeste del país.

Los estudios sobre el aprovechamiento de la radiación solar como fuente energética a nivel mundial y en particular en la Argentina, comenzaron a evolucionar más rápidamente a partir de 1974, impulsados por la crisis petrolera. La posterior estabilización de precios hizo crecer el fuerte interés inicial en las tareas de investigación y desarrollo en el tema durante la década siguiente. No obstante, en los últimos años se ha comenzado a apreciar un resurgimiento en el interés por esta fuente, principalmente impulsado por la creciente importancia de los problemas de contaminación ambiental. Es de esperar que este nuevo impulso permita apoyar las tareas de desarrollo tecnológico sobre bases duraderas y conduzca al uso masivo de esta fuente a mediano y largo plazo.

Las fuentes de energía renovables, como la solar, la eólica, la biomasa y otras presentan algunas ventajas potenciales, tales como su renovabili-



Luis R. Saravia

dad, su libre disponibilidad, la posibilidad de generación local que evita los costos de distribución y la baja contaminación ambiental que producen en el lugar de uso.

Por otro lado, su utilización debe enfrentar algunos problemas tecnológicos, que es necesario resolver para que sean económicamente factibles. En el caso de la energía solar, se puede mencionar el hecho de que la cantidad de energía que llega por día y unidad de superficie terrestre es baja, por lo que se requiere la instalación de áreas de colección solar grandes que incrementan los costos de la inversión inicial. Otro factor de importancia es la necesidad de disponer de acumuladores energéticos, que permitan afrontar la variabilidad del recurso, producida por la sucesión de días y noches o por las condiciones climáticas.

Estas ventajas y problemas generan una estructura de costos, caracterizada por altas inversiones iniciales y bajos costos de funcionamiento. El



desafío tecnológico para lograr el uso masivo de la fuente se centra en el desarrollo de sistemas solares con costos iniciales suficientemente bajos. Otro aspecto importante es el de lograr una adecuada valorización del impacto ambiental y su influencia en la estructura de costos, de manera que las ventajas potenciales de las fuentes renovables puedan ser adecuadamente valoradas.

Los aprovechamientos que se están realizando en la Argentina aún tienen un carácter puntual y, habitualmente, se encuentran relacionados con su uso en zonas aisladas de baja densidad demográfica, donde la libre disponibilidad local le da ventajas relativas que hacen eficiente su utilización. La tendencia mundial es la de un uso creciente y moderado de las fuentes renovables en general y de la solar en particular, esperando una inserción del total de ellas en el mercado energético del orden del 10 al 15% en los próximos 15 años.

A continuación, se brindará información general sobre el recurso y algunos ejemplos de aplicaciones que se están llevando a cabo en el país. Razones de espacio no permiten cubrir todas las posibilidades de uso.

El recurso solar

En el país ha funcionado desde los últimos años de la década del 70 la *Red Solarimétrica*, que inició sus actividades en la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales. Mediante el uso de fondos provenientes de distintas entidades nacionales e internacionales, la Red llegó a instalar 40 estaciones de medida de radiación solar y recogió datos que han permitido el trazado de *cartas solarimétricas* que dan una buena idea de la radiación solar media, mes a mes. Desafortunadamente, la Red no ha podido mantener los niveles de financiación y la

mayor parte de las estaciones ha dejado de recoger datos.

Las cartas muestran que en las regiones andinas y preandinas del Noroeste y en las zonas cuyanas, se dispone de los mejores niveles de radiación. Durante el verano, se aprecia una extensa zona en las áreas centrales del país, que cubre buena parte del mismo, donde el nivel de radiación es bueno. Durante el invierno, se nota claramente la influencia de la latitud, con un gradiente de radiación que cae francamente hacia el sur del país.

La Red Solarimétrica también ha colaborado con distintos países del Cono Sur en la instalación de estaciones y en la elaboración de datos de manera conjunta, de forma tal que, en la actualidad, también se dispone de cartas solarimétricas para toda la región.

Es interesante destacar que las distintas fuentes renovables de energía tienen una distribución complementaria en el país. La región oeste, el centro y el norte poseen los niveles de radiación más altos, de interés para las aplicaciones de la energía solar. La región sur dispone de niveles elevados de vientos, muy interesantes para la generación eléctrica por vía eólica. En las regiones centrales y este del país se dispone de bioenergía en abundancia.

Los colectores de energía solar

La energía solar se caracteriza por poder ser utilizada en aplicaciones muy diversas, para cada una de las cuales se han creado *colectores de energía solar* muy específicos, que captan la radiación solar al menor costo posible compatible con las condiciones técnicas requeridas. Una primera clasificación de los colectores responde al tipo de energía que se genera, la que podrá ser térmica o eléctrica.

En el primer caso, la radiación incide sobre una superficie negra que la absorbe y se calienta. Un fluido, habitualmente aire o agua, lame la superficie y se calienta, transportando la energía hasta el sistema que la usa. Los colectores pueden usar una su-

perficie de absorción plana, con la que se alcanzan temperaturas hasta el orden de los 100 °C.

Como alternativa, antes de la absorción, se puede colocar un espejo concentrador, con lo cual la densidad energética sobre el absorbedor crece y la temperatura puede ser mucho más alta. Naturalmente, la complicación repercute en el costo del sistema.

Estos colectores reciben respectivamente los nombres de *colector plano* y *colector concentrador*. En las secciones que siguen, se describirán en más detalle algunas de sus posibles aplicaciones y el desarrollo que han tenido en la Argentina.

En el segundo caso, la superficie que se utiliza está construida con un material especial, por ej. silicio, que genera una corriente eléctrica a partir de la radiación incidente. En este caso se habla de un *colector de conversión directa* a electricidad. La *celda fotovoltaica* es el sistema más utilizado en este rubro.

El secado solar de productos agrícolas

El secado es una de las tecnologías de conservación de alimentos de mayor uso. Tradicionalmente, el secado por exposición directa al sol, ya sea en la planta o en canchones, ha sido una de las más usadas. Tiene un muy bajo costo pero se producen pérdidas por cosechas elevadas y las condiciones bromatológicas del producto pueden ser insatisfactorias. A medida que aumentan las exigencias del mercado, se han introducido tecnologías de secado más complejas, generalmente basadas en el uso de un combustible. Es posible mejorar la forma de uso de la energía solar, de manera que se cumpla con los nuevos requerimientos.

El secado se realiza en la mayoría de los casos mediante una corriente de aire caliente que pasa sobre el producto, el que va cediendo su humedad al aire. Las temperaturas de trabajo raramente pasan de los 60 ó 70 °C, por lo que los colectores planos calentadores de aire son útiles para este proceso. Es necesario que los

colectores tengan un muy bajo costo, dado que en la mayoría de los casos el producto agrícola tiene un costo unitario bajo. La generalización del uso en el agro de plásticos transparentes con una buena duración ha ayudado al desarrollo de este tipo de colectores. En el país se han construido varios sistemas de secado solar, adaptados a los productos que se elaboran en cada región. Es así como en el noroeste se ha trabajado con pimiento, plantas aromáticas, tabaco, uvas, etc; en el noreste, con maderas y en las zonas centrales del país, con distintos granos. Dado que en la mayoría de los casos la producción agraria argentina alcanza volúmenes considerables, la tendencia ha sido el desarrollo de secadores para volúmenes grandes, relacionados con la agroindustria, en contraste con otros países donde se ha hecho más énfasis en la construcción de secadores artesanales, para pequeños productores.

La figura 1 muestra un secador solar de pimiento, que ha tenido algún uso en los valles calchaquies en Salta. El colector está directamente construido sobre el terreno, usando piedras pintadas de negro como absorbedor. Por encima de éstas, se coloca un plástico que es inflado por el aire impulsado por el ventilador. El aire lame las piedras y eleva su temperatura hasta unos 60 °C en las horas de mayor insolación. El producto se coloca en bandejas sobre carritos en un túnel de secado por el cual pasa el aire caliente. El colector tiene una superficie de 400 m² y el túnel, una capacidad de 3000 kilos de pimiento fresco.

Otro ejemplo es el de un secador solar para granos a usar como semillas, desarrollado en la zona de Rosario. En este caso, el aire sube su temperatura en unos pocos grados, para evitar excesos de calentamiento que disminuyan la capacidad germinativa de la semilla. El producto es colocado en un silo y el aire se insufla por debajo, atravesando las capas de grano.

La experiencia de uso ha mostrado que resulta más efectiva la construcción de secadores con fuentes térmicas mixtas, por ejemplo utilizando una base solar y un calentador auxiliar que usa un combustible tradicional como ser el gas o un producto de desecho agrícola, como ser el marlo. De esta manera se asegura la producción continua, usando el colector solar mientras se disponga de radiación y la fuente auxiliar como complemento para días nublados o para levantar la temperatura final del secador.

Estos sistemas, como sucede en la mayoría de los sistemas solares térmicos, son de construcción sencilla, pudiendo ser producidos por talleres metalúrgicos o fábricas habitualmente relacionadas con la producción de equipos para el agro.

La climatización de edificios

Un rubro importante en el consumo térmico de un país está constituido por la calefacción de edificios. Técnicamente, es factible pensar en el uso de colectores solares planos para calentar el aire del edificio o el agua que pasa por radiadores. Se ha encontrado que el área necesaria es elevada y los costos de los locales se incrementan mucho. Tales sistemas se utilizan en relación con algunos consumos energéticos menores, como ser el calentamiento del agua para uso sanitario.

La solución al problema ha pasado por pensar en el edificio como un gran colector solar, a través de sus ventanas y otros elementos especiales que se le agregan en su superficie expuesta al sol. El edificio debe ser adecuadamen-

te orientado, teniendo en cuenta su latitud, aprovechándose las paredes que miran al norte en el hemisferio sur, para realizar la captación de energía y utilizando una adecuada aislación térmica en el resto. Estas técnicas deben ser tenidas en cuenta en el momento en que se diseña el edificio; constituyen lo que se conoce con el nombre de *arquitectura bioclimática* o *arquitectura solar*. A medida que estos conceptos se han ido adoptando, se han creado cátedras en las facultades de arquitectura del país, tales como en Buenos Aires, La Plata, Rosario y Tucumán, a través de las cuales se va formando a los profesionales para que adopten estos conceptos. La producción de edificios pensados en esta forma es aún pequeña en el país, pero es de esperar que irá aumentando a medida que se vayan formando las nuevas generaciones.

A título de ejemplo, se muestra en la figura 2 una vivienda solar construida en la Puna, a 3500 metros de altura en una zona donde se producen temperaturas muy bajas durante las noches de invierno. Se han diseñado las paredes que miran al norte como colectores solares integrados al edificio, que reciben el nombre de *colectores acumuladores*, ya que la energía que reciben durante el día es acumulada en las propias paredes, pintadas de un color oscuro y protegidas por vidrios, para ser radiada por la noche hacia el interior de la vivienda y mantener su temperatura. El sistema no utiliza ningún tipo de energía mecánica para lograr la transformación y transporte de la energía. El techo y paredes que no miran al norte están ade-





cuadramente aislados para conservar en lo posible la energía que está siendo colectada. Esta vivienda es capaz de mantener temperaturas en el orden de los 20 °C en pleno invierno, cuando las temperaturas nocturnas llegan a los -20 °C en el exterior y muestra una excelente confortabilidad durante todo el año, sin consumir otro tipo de energía que la que recibe naturalmente.

Aunque se ha hablado de calentamiento, los mismos conceptos se aplican al caso del refrescamiento de los locales. Aunque en general el problema es de más difícil solución, existen diversas técnicas que colaboran con la climatización de verano.

La producción de agua potable para consumo humano

Extensas regiones de Argentina presentan problemas de aguas contaminadas por un excesivo contenido de sal. Este no es un problema de fácil solución, especialmente en el caso

de pequeños grupos de viviendas en zonas rurales. Se dispone de tecnologías sencillas basadas en la utilización de la energía solar, que resultan útiles para pequeñas producciones y exigen un fácil mantenimiento. Estas están basadas en la evaporación del agua contaminada y en su posterior condensación, la que produce agua destilada. Con el agregado controlado de una pequeña cantidad de sales, el agua resulta potable. El exceso de sales queda en el evaporador solar, al que se debe someter a un mantenimiento periódico.

A título de ejemplo, se muestra en la figura 3 un pequeño grupo de destiladores solares de batea, instalado hace más de tres años cerca de un grupo de viviendas rurales en la zona sur del Chaco Salteño. En este caso, el contenido de sal no es excesivo, pero entre ellas hay sales de arsénico que producen serias enfermedades a largo plazo, detectables actualmente en una vasta zona del noroeste. El equipo está constituido por módulos de 2 m² de área cada uno, consistentes en bateas negras horizontales, sobre las cuales se colocan cubiertas de vidrio inclinadas. La batea se llena con el agua contaminada hasta una altura de unos pocos centímetros y la radiación solar la calienta hasta unos 60 °C, produciendo la evaporación del agua. El vapor se condensa sobre los vidrios inclinados enfriados por el aire y las gotas producidas resbalan

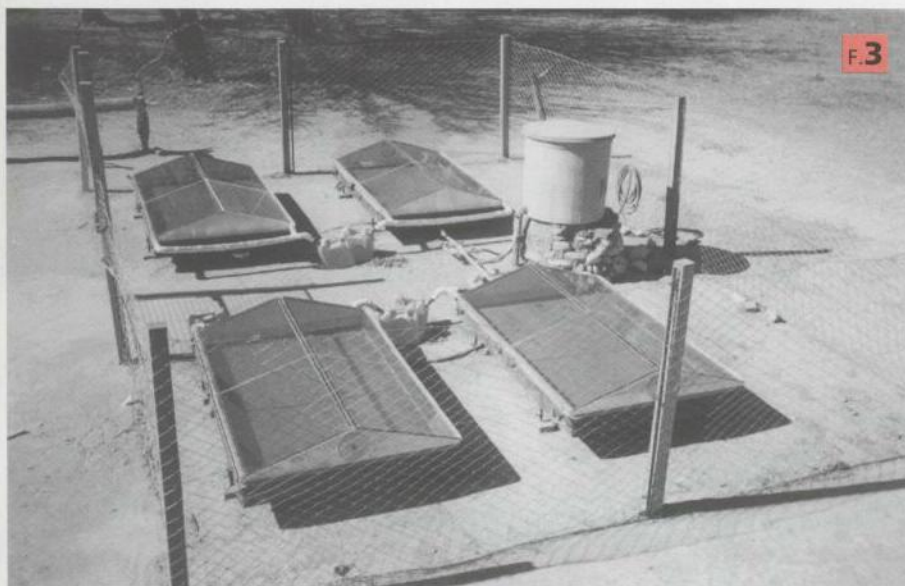
hasta llegar a una canaleta que extrae el agua condensada para depositarla en un tanque. Cada metro cuadrado de equipo es capaz de producir unos 3 litros de agua en invierno y hasta 7 litros en verano. Esto es suficiente para satisfacer las necesidades básicas de una persona.

En este momento, se está instalando un equipo de estas características con un área total de 50 m², destinado a un pequeño poblado en la zona norte de la misma región. Equipos similares al descrito han sido instalados en forma puntual en distintas regiones del país por grupos de desarrollo locales.

Otra tecnología de potencial interés en este campo es la utilización de algunos tipos nuevos de membranas hidrófobas que son capaces de dejar pasar el vapor de agua pero no el agua líquida y sus sales disueltas. Por vía térmica solar, produciendo una diferencia de temperatura entre ambos lados de la membrana, es posible separar agua potable en un equipo sencillo, en contraste con el uso habitual de membranas de ósmosis inversa, que necesitan altas presiones y por lo tanto un equipo mecánico con un mantenimiento especializado. Estas técnicas se encuentran en desarrollo en el país.

La producción de energía eléctrica

La conversión directa de la radiación solar en energía eléctrica mediante los paneles fotovoltaicos es una tecnología que ha alcanzado madurez a través de desarrollos realizados a nivel internacional. Aunque existen diferentes materiales con posibilidades de ser utilizados en los paneles, por el momento el mercado está dominado por las celdas construidas con silicio mono o policristalino. Las mismas tienen una eficiencia de conversión del orden del 14% a nivel comercial. El equipo a instalar requiere acumuladores para almacenar la energía eléctrica producida con el fin de ser usada cuando no se dispone del sol y un regulador que controla la carga de las baterías evitando su sobrecarga. En principio, se dispone de corriente eléctrica continua, lo



Esta Asociación nuclea a los investigadores, docentes, profesionales y público en general, interesados en el desarrollo de las energías renovables. Fue formada en 1975 y ha mantenido una actividad constante en procura del desarrollo del tema a distintos niveles. En la actualidad, cuenta con unos 120 socios. En todos estos años ha logrado mantener en funcionamiento su reunión de trabajo anual. Se han realizado 19 en distintos lugares del país y en las cuales se congregaron unos 300 interesados en el tema, dispuestos a intercambiar información. Los trabajos que se presentaron, aprobados por los jurados, han sido publicados en su totalidad en Actas que se encuentran a disposición y reflejan la actividad que se ha realizado en el tema en el país.

La relación cada vez más estrecha entre los problemas ambientales y su solución a través del uso de las energías renovables ha llevado a la Asociación a cambiar su enfoque en cuanto a la temática que abarca. A través de una reforma de estatutos, ha cambiado su nombre al de Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente aunque se ha decidido mantener la sigla tradicional, ASADES.

Por otro lado, se ha procurado mejorar la difusión de los trabajos que realizan sus asociados, por lo que se está poniendo en marcha la publicación de un conjunto de revistas que permitan reflejar mejor sus actividades. Las Actas se han convertido en una revista bajo el nombre de *Avances en energías renovables y medio ambiente*, donde se publican los informes de avances, que han sido presentados en las reuniones anuales y aceptados por los jurados respectivos. Se ha puesto en marcha una segunda revista, *Energías renovables y medio ambiente*, donde se publican trabajos que ya han sido completados. En la actualidad, se está preparando la publicación de una tercera revista, dedicada a la difusión de las tareas que se realizan en el tema en la Argentina.

Quienes deseen ponerse en contacto con la Asociación, lo pueden hacer a través de la siguiente dirección de correo electrónico: sara-via@ciunsa.edu.ar

que requiere un equipamiento eléctrico adecuado. Si se desea suministrar corriente alterna, es necesario agregar al sistema un convertidor de continua a alterna. Estos equipos no tienen partes móviles entonces requieren un muy bajo mantenimiento, que en general está relacionado con los acumuladores. Por tal razón, su instalación resulta particularmente atractiva en el caso de suministro para zonas aisladas.

El costo de los paneles ha ido bajando a lo largo de los últimos años, pero el sistema completo aún tiene un valor inicial elevado, por lo que el costo de la energía producida oscila entre los U\$S 0,40 y U\$S 0,70 el kilovatio-hora, dependiendo de las condiciones tributarias de cada país. A este nivel, no se puede pensar en la generación masiva de electricidad, por lo que el sistema es utilizado principalmente en necesidades relacionadas con su alta confiabilidad y bajo mantenimiento, en general pequeñas potencias relacionadas con zonas aisladas, tales como repetidoras en comunicaciones, boyas, protección catódica de poliductos, alambrados electrificados para control de animales, viviendas y edificios comunitarios en zonas aisladas, entre otras.

En el país, la venta de estos equipos ha ido en un aumento progresivo durante los últimos años, encontrándose el nivel de instalación en el orden de un megavatio anual. El mercado es atendido por una compañía que importa las celdas y realiza localmen-

te la tarea de armar el panel fotovoltaico y también por diversas importadoras comerciales. Las fábricas de celdas son caras y el tamaño del mercado aún no justifica una instalación.

También se realizan desarrollos locales de tecnología relacionada con la fabricación de celdas, lo que permite el seguimiento de los avances a nivel internacional, aunque las inversiones son pequeñas.

La Secretaría de Energía de la Nación ha puesto en marcha un plan de abastecimiento de energía eléctrica para consumidores no conectados a la Red Nacional de Distribución, para lo cual ha licitado en distintas regiones la atención en forma privada de estos consumos y ha propuesto un pago hasta cierto nivel por parte de los consumidores, mas allá del cual se entregan subsidios a las compañías para atender la instalación y servicio con cierta rentabilidad. De esta manera, se atiende la problemática relacionada con el hecho de que la mayoría de los clientes en zonas aisladas tienen bajos niveles de ingreso. Este plan se está poniendo en marcha y las primeras compras de equipos por parte de las compañías se están llevando a cabo en algunas regiones. A título de ejemplo, en la provincia de Jujuy, la compañía encargada ha llamado a la compra e instalación de 600 equipos pequeños del orden de 100 vatios-pico cada uno.

La producción de energía eléctrica también puede encararse a través de la generación de energía térmica y su pos-

terior conversión mediante ciclos de generación mecánica adecuados. A nivel internacional, se está trabajando en esta línea para la producción a gran escala usando concentradores de diverso tipo que, produciendo temperaturas altas, permiten la obtención de una buena eficiencia de conversión en el ciclo. Cabe expresar que en el sur de California, se ha llegado a realizar una instalación en producción comercial con una potencia total de 300 megavatios, que alimenta los picos de requerimiento energético de mediodía producidos por las necesidades de refrigeración. La instalación utiliza concentradores cilindroparabólicos de hasta 100 metros de longitud, que giran sobre un solo eje para mantener iluminado el absorbedor a medida que avanza el día. La temperatura alcanzada es de 320 °C y se utiliza una turbina de vapor de agua. Los costos de producción indicados en la bibliografía están en el orden de los U\$S 0,09 por kilovatio-hora.

En el país se trabajó en la producción de concentradores de este tipo, pero ese trabajo ha sido suspendido. Los únicos esfuerzos que se siguen realizando están relacionados con la alimentación de pequeñas poblaciones en las zonas andinas y preandinas, mediante el uso de colectores planos de baja temperatura y de turbinas de nuevo diseño que funcionan con vapor de agua y son capaces de producir agua destilada en el condensador, para entregar un segundo producto de utilidad. 