

La Energía Solar Concentrada: Segunda parte

Camilo Arancibia Bulnes

Centro de Investigación en Energía,
UNAM

Claudio Estrada Gasca

Centro de Investigación en Energía,
UNAM

Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos

Como se mencionó en la primera parte de este artículo (La Unión de Morelos, 12 de diciembre de 2011), concentrar la luz solar nos permite obtener altas temperaturas. Por ejemplo, un espejo en forma de plato parabólico de un metro cuadrado de área es capaz de recibir 1000 Watts de potencia (el equivalente a 10 focos de 100 watts cada uno) en un momento de buen nivel de radiación solar. Si ese espejo fuera de una excelente calidad, tal que enfoque toda esa luz formando una mancha de un centímetro cuadrado, estaríamos concentrando 10,000 veces la radiación solar. Con este nivel de concentración perfectamente podemos fundir acero (se requieren entre 1400 y 1600°C). Este ejemplo nos permite ver que la energía solar concentrada tiene un potencial importante. En realidad, salvo algunos procesos de química solar, la mayoría de las aplicaciones funcionan bien con factores de concentración mucho menores, que pueden ir desde 2 hasta 1,000 veces la radiación solar, es decir de 2 hasta 1000 soles. De hecho, el nivel de concentración en una aplicación dada, depende de la temperatura que se desee alcanzar.

Las aplicaciones solares térmicas se caracterizan por diferentes requerimientos de temperatura; por ejemplo, en términos muy generales tenemos: calentamiento de agua para albercas, uso sanitario y climatización de espacios (27-60°C); cocción de alimentos (90-120°C); calor para procesos industriales (40-250°C); refrigeración y aire acondicionado solar (85-200°C); generación termosolar de potencia eléctrica (250-1000°C); y producción de combustibles como el hidrógeno o gas de síntesis (500-2500°C).

En todas las aplicaciones por debajo de 100°C aproximadamente, como el calentamiento de agua y aire, la concentración solar no es indispensable ya que existen otras tecnologías solares térmicas ampliamente disponibles comercialmente, como los calentadores solares planos, los tubos evacuados y las estufas solares de caja. Las tecnologías de temperatura media por otro lado, están siendo puestas a prueba en la actualidad acopladas a diferentes procesos industriales, pero todavía no alcanzan una difusión importante en el mercado. Aquí nos



Figura 1. Concentrador de canal parabólico de las plantas SEGS, en Kramers Junction, California.

centraremos en la producción termosolar de potencia eléctrica, que es una de las aplicaciones más llamativas de las tecnologías de concentración solar.

El principio general de funcionamiento de las plantas termosolares de generación de potencia eléctrica es análogo al de las termoeléctricas convencionales: la electricidad se produce haciendo pasar vapor a presión a través de turbinas, produciendo con esto energía mecánica, que a su vez permite mover generadores eléctricos. El calor requerido para producir este vapor es suministrado en las plantas convencionales mediante la quema de combustibles como petróleo, gas o carbón, o mediante reactores nucleares. En las plantas solares dicho calor es suministrado por la luz solar concentrada. Existen diferentes tipos de plantas de concentración solar para la producción de electricidad, que se clasifican en cuatro tecnologías principales: canal parabólico, Fresnel lineal, disco parabólico y torre central.

En la tecnología de canal parabólico, como su nombre lo indica, se utilizan espejos alargados que forman una canaleta con perfil parabólico (ver fig. 1). El receptor donde se enfoca la energía es un tubo que corre a lo largo de la línea focal de las parábolas. En este receptor la energía solar es absorbida y transformada en



Figura 2. Sistema Fresnel lineal FRESEMO (imagen tomada desde el receptor), en la Plataforma Solar de Almería, España.

calor, el cual es removido por un fluido que circula en el interior del tubo. Este fluido puede ser un aceite térmico, sales fundidas o alguna otra sustancia con buena capacidad calorífica, buena estabilidad a alta temperatura y con suficiente fluidez para poder ser bombeada a lo largo de grandes longitudes de tubo.

Para mantener enfocados los rayos de luz en el receptor, los concentradores solares necesitan tener sistemas mecánicos que sigan el movimiento aparente del Sol. Mientras mayor sea el nivel de concentración de una cierta tecnología, más preciso tiene que ser dicho seguimiento. Por otro lado, un seguimiento demasiado preciso en un concentrador que no lo requiere, incrementa los costos innecesariamente. En particular, los canales parabólicos tienen un nivel de concentración intermedio (hasta unos 100 soles) y requieren seguimiento en una sola dirección. Se suelen ubicar de manera que su eje focal (definido por el tubo receptor) corra en la dirección este-oeste. Así, el giro para seguir al Sol se da sólo en la dirección norte-sur, variando a lo largo del día la inclinación de la parábola para ajustarse a la altura del Sol respecto del sur.

La tecnología de Fresnel lineal es similar a la de canal parabólico, en el sentido de que ambas son tecnologías de foco lineal, es decir, donde el receptor es muy lar-

go. Los niveles de concentración que se alcanzan son similares en ambos casos, pero la manera de conseguirlos es bastante diferente: en la tecnología de Fresnel lineal el foco se encuentra en una estructura fija elevada (ver fig. 2), la cual es iluminada por tiras de espejo largas y estrechas, cada una de las cuales tiene su propia inclinación y se mueve por separado para mantener los rayos del Sol incidiendo en el foco fijo. Esto contrasta con el canal parabólico, donde el receptor suele moverse junto con toda la estructura del concentrador. Una ventaja de la configuración de Fresnel lineal es precisamente ésta, mover muchos espejos pequeños y ligeros en lugar de uno solo de mucho mayor tamaño. Los colectores Fresnel lineales tienen ejes de seguimiento orientados en la dirección norte-sur.

La tercera tecnología de generación eléctrica, es la de disco parabólico. De aspecto similar a las antenas parabólicas de telecomunicaciones, dichos discos son espejos que enfocan la radiación solar en un receptor de tamaño reducido localizado en el foco de la parábola (ver fig. 3). A diferencia de las dos anteriores, esta tecnología es de foco puntual, ya que la zona donde se concentra la radiación es pequeña. En general los sistemas de foco puntual permiten alcanzar concentraciones y temperaturas mayores a los de foco lineal; mientras estos últimos tienen niveles de concentración de entre 15 y 100 soles y operan a temperaturas cercanas a 300°C, los primeros alcanzan niveles de concentración cercanos a 1000 soles y operan hasta a 1000°C. La generación de electricidad con concentradores de disco parabólico se basa en el uso del motor Stirling, inventado por el reverendo escocés Joseph Stirling en 1816. En este motor se calienta un gas, el cual se expande y empuja un pistón conectado a un alternador eléctrico, para luego contraerse al enfriarse. El movimiento repetido de expansión y contracción da lugar a la generación de una corriente eléctrica alterna. Aquí ya no es necesario transportar un fluido caliente por largas tuberías, como en el canal parabólico y el Fresnel lineal; la electricidad sale directamente de la zona focal a través de cables.

Finalmente, una planta de torre central consiste de un gran campo de helióstatos que concentran la radiación solar en lo alto de una torre (ver fig. 4), donde se encuentra el receptor. Los helióstatos son espejos planos que se mueven continuamente para dirigir el reflejo solar hacia el receptor, y cuyos tamaños máximos llegan a ser de alrededor de 120 metros cuadrados. Hay muchas tecnologías diferentes en investigación para los receptores. Se puede calentar



Figura 3. Sistemas de plato parabólico de la empresa Stirling Energy Systems.

aire, aceite, sales fundidas y partículas sólidas. En todos los casos, el fluido térmico no necesita circular por distancias muy grandes antes de ser utilizado pues el bloque térmico de la planta se suele encontrar en la base de la torre (con alturas máximas de alrededor de 170 m), o en algunos casos en su parte alta.

Idealmente, las plantas solares de potencia deben ser instaladas en sitios donde el Sol brille prácticamente todos los días del año, es decir, en zonas desérticas o semi-desérticas. Aun así, puede haber horas o días nublados, durante los cuales la planta en principio no podría operar. Esto se puede remediar almacenando parte de la energía captada en los momentos de Sol, para usarla en dichas situaciones. Esto también es importante si se quiere que la planta genere electricidad en las primeras horas de la noche, cuando la demanda de electricidad aumenta de manera importante. La manera más común de almacenar energía térmica, es guardar el mismo fluido que se ha calentado (aceite, sales fundidas) en un gran tanque bien aislado. De esta manera, se puede operar varias horas en ausencia de Sol. Otra posibilidad muy socorrida en la actualidad es operar la planta solar de potencia de manera híbrida, respaldándola con quemadores de gas. En el futuro, sería deseable hacer esto utilizando hidrógeno generado a partir de energía solar como combustible de respaldo, en lugar de gas natural.

De todas estas tecnologías, la más probada es la de canal parabólico con más de 30 años de operación comercial en California. Aunque hasta hace pocos años la abundancia de petróleo barato había mantenido bajo el nivel de interés por esta tecnología, hoy en día están comenzando a instalarse plantas en mayor número en varios países del mundo. Por ejemplo, la planta *Andasol* (2007), en Andalucía, España y la *Nevada Solar One* (2008), en Nevada, Estados Unidos, entre otros 30 proyectos en desarrollo alrededor del mundo.

Entre 2006 y 2011 entraron en operación en Andalucía las primeras tres plantas comerciales de torre central: se trata de la PS-10, la PS-20 y la Gemasolar, con 11 MegaWatts de potencia, la primera y 20 las dos últimas. En particular, la planta Gemasolar



Figura 4. Planta demostrativa de torre central Solar Two, en Barstow, California.

lar es capaz de funcionar las 24 horas del día sin respaldo, ya que cuenta con almacenamiento térmico suficiente para 13 horas de operación.

A nivel nacional, la Comisión Federal de Electricidad contrató este año con una empresa española la construcción del primer campo de concentradores de canal parabólico para generación eléctrica en México, en el municipio fronterizo de Agua Prieta, Sonora. Este campo, de 14 megawatts, se integrará a la planta convencional de ciclo combinado Agua Prieta II y será la primera instalación de su tipo en Latinoamérica. Este proyecto es muy meritorio y marca un hito en nuestro país. Sin embargo, es perfectamente viable el desarrollo de tecnología nacional en el área solar, para evitar la dependencia tecnológica que se tiene con las plantas convencionales. En ese sentido se vienen desarrollando importantes esfuerzos de investigación en el país, como el proyecto Laboratorio Nacional de Sistemas de Concentración y Química Solar (LACYQS), liderado por el Centro de Investigación en Energía (CIE) de la UNAM. Dentro del proyecto LACYQS se está desarrollando en Hermosillo, Sonora, en colaboración con la Universidad de Sonora y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, un campo experimental para el desarrollo de tecnología de torre central, el cual fue inaugurado en su primera etapa el pasado 28 de octubre. Además de esta instalación, el proyecto cuenta con una planta solar para tratamiento fotocatalítico de agua y un horno solar de alto flujo radiativo, ambos instalados en Temixco, Morelos. El proyecto LACYQS es pionero a nivel Latinoamérica y su descripción se hará en detalle en una contribución futura.

Nota: Este texto está adaptado de un capítulo que apareció originalmente en el libro "Energías Renovables: 25 Años de la UNAM en Temixco". Agradecemos al CIE, UNAM, el compartirlo para su publicación en este espacio de divulgación.

Para actividades recientes de la Academia y artículos anteriores puede consultar:
www.acmor.org.mx



**La Ciencia, desde Morelos para el Mundo
Tomo I: Ciencia y Sociedad**

Una nueva vacuna; un material más fuerte y ligero; un transistor más rápido y pequeño; un algoritmo criptográfico para proteger nuestros datos; una fibra óptica que permita transmitir más información más rápidamente y a una mayor distancia; una fotocelda innovadora que convierta más energía solar en electricidad; un motor más eficiente; una batería eléctrica que dure más; un biocombustible que no compita con la siembra de alimentos; un nuevo plástico biodegradable; un recubrimiento para evitar la corrosión de ductos; un fertilizante que no contamine; un proceso para eliminar residuos tóxicos; un catalizador para limpiar el aire; unas nanopartículas para hacer explotar células cancerosas; un nuevo laser sólido para codificar y leer información ópticamente; un proceso...

No se requeriría mucha imaginación para continuar esa lista y llenar página tras página de ejemplos, enumerando aplicaciones recientes de la ciencia, desarrollos que impactan nuestra vida diaria, que pueden mejorar nuestra calidad de vida, que traen progreso tecnológico, que producen riqueza. Es común repetir que la ciencia produce nuevos conocimientos que traen innovaciones y por ende, potencialmente, nos da bienestar. Además de desarrollos que conducen a aplicaciones, la ciencia produce conocimientos que impactan nuestra forma de percibir a la naturaleza. Hay un acervo de conocimientos que modula el entendimiento de nuestro entorno, que nos enseña el lugar que ocupamos en el universo. Sin embargo, no es el propósito de este volumen mostrar artículos que reseñen los nuevos y sofisticados conocimientos desarrollados por nuestra comunidad ni las innovaciones a que han conducido. Más bien, este volumen contiene una selección de artículos que muestran otras formas en que la ciencia ha impactado a la sociedad.

La ciencia es una manera de interrogar a la naturaleza para obtener nuevos conocimientos. Más aún, la ciencia es una forma de poner a prueba dichos conocimientos para discernir cuáles son incorrectos y eliminarlos rápidamente. La ciencia nos proporciona un criterio de verdad, el más objetivo que hemos logrado construir. Una sociedad con una profunda cultura científica, más que con un acervo de conocimientos científicos, puede liberarse de supuestas autoridades que pretendan dictar su visión de la realidad. Un hecho es verdad o es mentira independientemente del lugar en la sociedad que ocupe quien lo enuncie, dependiendo únicamente de su congruencia con los resultados de experimentos bien planeados, realizados y analizados. La ciencia democratiza el conocimiento, volviéndolo público, publicándolo, suje-

**La Ciencia, desde Morelos para el Mundo.
Tomo I: Ciencia y Sociedad.**

Costo: \$130.00

Puede adquirirse en:

Academia de Ciencias de Morelos, A.C.
Av. Universidad No. 2001,
Centro Internacional de Ciencias, A.C.
Interior No. 06, Campus UNAM-UAEM,
Col. Chamilpa, C.P. 62210,
Cuernavaca, Morelos

Cel: (777) 155 7221
alma.carro@acmor.org.mx

tándolo a la crítica constante que lo revisa y lo fuerza a evolucionar. Construir una cultura científica es especialmente importante en la época actual, en la cual un ejército de especialistas, profesionales del engaño, nos bombardean día y noche con mentiras, empleando para ello los medios masivos de comunicación.

Es sobre esta relación entre cultura científica y sociedad que versan los artículos incluidos en este volumen. En ellos leeremos cómo la falta de esta cultura fomenta la charlatanería y sus efectos perniciosos en la salud y la seguridad de la población, y cómo la ciencia nos prepara para ser autocríticos y desconfiar de los dogmas y de la verdad absoluta. Conoceremos escándalos científicos que tuvieron consecuencias graves entre la población pero que ilustran el poder auto-correctivo de la ciencia. Entenderemos las limitaciones del utilitarismo inmediato y apreciaremos las consecuencias revolucionarias de experimentos aparentemente inútiles. Reflexionaremos sobre el uso responsable de la ciencia, la cual intrínsecamente no es ni buena ni mala. Aprenderemos a conducir la curiosidad infantil a través del juego para desarrollar actitudes científicas. Estudiaremos la racionalidad del ser humano y la psicología de la ciencia, discutiremos el valor del escepticismo y contrastaremos la universalidad de la ciencia con la multiplicidad de creencias religiosas. Entenderemos la importancia de las reuniones y publicaciones para comunicar resultados científicos, la relación entre el lenguaje de la ciencia y la historia de la humanidad, y la importancia de las colaboraciones científicas internacionales. Apreciaremos el arte de la escritura y de la tipografía científica y nos adentraremos en el proceso de publicación, reconociendo el importante papel de editores y árbitros, la relación entre publicación y evaluación científica y la organización de la comunidad científica en un sistema nacional de investigadores. Veremos cómo la cultura de hacer públicos los resultados científicos ha impactado el desarrollo de herramientas computacionales libres además de gratuitas. Entenderemos el papel de los expertos en la comunidad científica y cómo contrasta con el papel de supuestos expertos empleados por políticos para justificar sus decisiones.

Esperamos que al leer los artículos que forman este volumen, el lector adquiera una idea más clara de las muchas y sutiles formas en que la ciencia impacta y enriquece a nuestra sociedad, así como del quehacer y la organización de nuestra comunidad científica, la cual es en sí una parte integral y vital de nuestra sociedad.