

Del Sol a tu enchufe: El viaje secreto de la luz solar hasta tu hogar

Rodríguez-Sánchez Diana Elisa¹, Ramírez-Rodríguez Luis Patricio*¹, Sámano-Hermosillo Efrén²,
Mendívil-Reynoso Temístocles²

1. Universidad de Sonora

Departamento de Física. Calle Rosales y
Blvd. Luis Encinas Johnson S/N, C.P. 83000,
Hermosillo, Sonora, México.

2. Universidad Estatal de Sonora

Avenida Ley Federal del Trabajo S/N, Col.
Apolo, C.P. 83000. Hermosillo, Sonora,
México.

*Autor de correspondencia,
Luis Patricio Ramírez-Rodríguez
luis.ramirez@ciencias.uson.mx

 orcid.org/0000-0001-8474-9796

RESUMEN

Desde la danza cuántica de los fotones en una celda de silicio hasta los inmensos campos de espejos en el desierto, este trabajo explora las dos caras de la moneda solar. Mientras que la tecnología fotovoltaica convierte luz directamente en electricidad enfrentando desafíos eléctricos como la sincronización de frecuencia (panel-inversor-red eléctrica), este análisis profundiza en la Energía Solar de Concentración (CSP), donde la óptica sustituye a los semiconductores. Se examinan las arquitecturas de captación: torres de heliostatos, colectores Fresnel y discos Stirling, no como un fin en sí mismos, sino como el medio para un objetivo mayor: la generación de calor extremo. El núcleo de este artículo radica en la interfaz termodinámica de estos sistemas, analizando cómo las leyes de la física, los ciclos de potencia y las máquinas térmicas transforman esa radiación concentrada en la fuerza mecánica que finalmente electrifica nuestros hogares.

Introducción

A menudo escuchamos hablar de la energía solar, esa fuente inagotable que nos llega en forma de radiación, pero rara vez nos detenemos a pensar en la fascinante "transformación" que debe ocurrir para que un rayo de sol pueda encender la televisión de tu sala.

Normalmente, cuando pensamos en esta energía, la imagen que nos viene a la mente es casi siempre la del panel azulado y plano en un techo. Allí presenciamos física cuántica en acción: el efecto fotovoltaico convierte la luz directamente en electricidad mediante el choque de fotones contra el silicio.

Recibido: mayo 2025

Aceptado: junio 2025

Publicado: diciembre 2025

DOI: [10.5281/zenodo.18508495](https://doi.org/10.5281/zenodo.18508495)



Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND.
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



Figura 1. Esta figura muestra un esquemático para la conversión de un panel solar (imagen usada con licencia shutterstock.com).

Sin embargo, esa "alquimia moderna" de los semiconductores será tema para otro momento. En esta ocasión queremos hablar de otra forma fascinante de aprovechar a nuestra estrella, una que no busca convertir la luz directamente en electricidad, sino que juega con una idea que todos probamos de niños con una lupa: concentrar la luz del sol. Esta tecnología se conoce como Energía de Concentración Solar (CSP). A diferencia de la fotovoltaica, que usa la física cuántica de los semiconductores, la concentración solar utiliza principios ópticos y geométricos para dirigir la inmensa potencia del sol hacia un solo punto.

Le llamamos "el arte de atrapar rayos", y para lograr esto, los ingenieros han desarrollado distintas arquitecturas impresionantes, verdaderas "trampas de luz" diseñadas para seguir al sol:

- Campos de Heliostatos "los gigantes del desierto" (Torre Central): Imagina miles de espejos gigantes (heliostatos) moviéndose al unisono como girasoles mecánicos. Todos apuntan hacia un mismo objetivo: la cima de una inmensa torre central. Al superponer miles de reflejos en un solo punto, se alcanzan temperaturas extremas.
- Colectores Lineales Fresnel: Aquí la ingeniería se vuelve sutil. En lugar de espejos curvos costosos, se utilizan tiras de espejos planos colocados en el suelo que simulan una curvatura. Estos reflejan la luz hacia un tubo receptor fijo que corre por encima de ellos, calentando el fluido en su interior de manera eficiente y económica.
- Disco Parabólico (Stirling Dish): Parecen antenas satelitales futuristas. Son discos parabólicos que siguen al sol con gran precisión en dos ejes, concentrando toda la radiación en un punto focal muy pequeño frente al plato. Son los "francotiradores" de la energía solar, logrando las eficiencias de conversión más altas.



Figura 2. Arquitecturas para "atrapar" a la luz.

Ya tenemos el calor, ¿y ahora qué? Todas estas tecnologías, ya sea la inmensa torre, los ingeniosos espejos Fresnel o el preciso disco parabólico, tienen una misión en común: generar calor, mucho calor.

Pero, ¿cómo se transforma ese calor intenso en la electricidad que enciende tu computadora? Aquí es donde dejamos la óptica y entramos en el reino de los fluidos, los ciclos de potencia y las máquinas térmicas. Es decir, entramos en el territorio de la termodinámica.

¿Cómo logramos que ese calor mueva turbinas o pistones para generar movimiento y electricidad? Esa fascinante transformación de energía térmica a mecánica será el tema central de nuestro análisis.

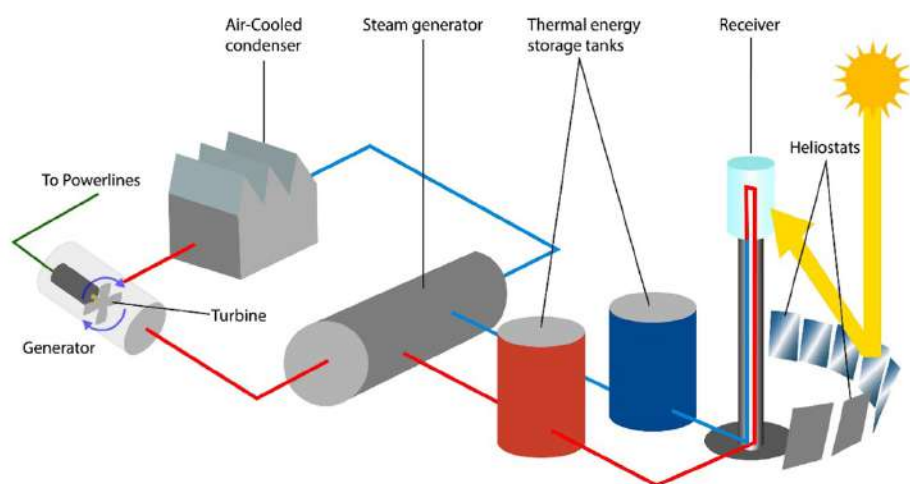


Figura 3. Se muestra el esquema del proceso de generación de energía mediante un concentrador solar. Imagen generada por Gemini.

El lenguaje del calor: Introducción a la Termodinámica

Para entender cómo un concentrador solar convierte radiación en potencia, primero debemos consultar el "manual de reglas" del universo: la termodinámica. Estas leyes no son simples invenciones teóricas, sino verdades sólidas nacidas de la experiencia y de innumerables experimentos. Todo el comportamiento de la energía que veremos en la planta de concentración solar se resume en sus pilares fundamentales.

Empecemos por lo básico. La Ley Cero de la Termodinámica es la encargada de definir la magnitud física que gobierna todo nuestro proceso: la temperatura (T).

Esta ley nos enseña que la temperatura solo cobra sentido real bajo el concepto de equilibrio térmico. Un ejemplo cotidiano ilustra esto a la perfección: cuando usamos un termómetro, la lectura no es instantánea. Debemos esperar a que el dispositivo y nuestra piel intercambien calor hasta igualar sus estados. En nuestra planta solar, esto es vital: los sensores deben estar en equilibrio térmico con el fluido de trabajo para decirnos si "ya está listo" para ir a la turbina.

Las tres rutas del calor: Radiación, Conducción y Convección

Antes de entrar al receptor, debemos conocer al protagonista. El calor es un viajero inquieto; siempre busca moverse de donde hay más temperatura hacia donde hay menos. Para lograrlo, utiliza tres "vehículos" fundamentales:

1. Radiación (El viajero inalámbrico): Es la forma más fascinante, pues no necesita tocar nada para viajar. Se transfiere a través del vacío mediante fotones. Es el mecanismo por el cual el Sol nos calienta, pero también es una vía de escape: un tubo muy caliente "brilla" en infrarrojo, perdiendo energía hacia el ambiente.
2. Conducción (El contacto directo): Aquí la energía viaja a través de la materia, paso a paso. Imagina una varilla de metal: si calientas un extremo, la agitación térmica se transmite átomo por átomo a toda la varilla. En nuestra planta, el calor debe conducirse a través de las paredes de metal del tubo para llegar al fluido.
3. Convección (El transporte masivo): Ocurre cuando el calor se mueve "montado" en un fluido en movimiento (líquido o gas). El ejemplo clásico es el viento robando calor de tu piel, o el aire caliente subiendo desde una taza de café.



Figura 4. Se muestran las formas en las que se puede transferir el calor: convección, radiación y conducción. Imagen generada por Gemini.

En los concentradores solares, estos tres modos actúan simultáneamente en una "guerra" termodinámica.

Alquimia termodinámica: La Primera Ley y el Receptor

Imagina ahora el punto focal en la cima de la torre o el tubo focal de los espejos Fresnel. Aquí ocurre un encuentro intenso entre la radiación concentrada y la materia. Para entender qué sucede en este "punto caliente", invocamos al contador más estricto del universo: La Primera Ley de la Termodinámica.

Esta ley establece que la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma. La ecuación que gobierna la billetera energética del receptor es:

$$\Delta U = Q - W$$

Donde ΔU es el cambio en la energía interna, Q es el calor y W es el trabajo.

En el receptor, el término de trabajo (W) es prácticamente nulo (aún no movemos pistones ni turbinas). Por lo tanto, el objetivo del juego es maximizar la entrada de calor (Q) para aumentar drásticamente la energía Interna (U) del fluido que circula por el sistema. Al golpear los tubos, los fotones excitan los átomos de los mismos, y mediante conducción, estas vibraciones alcanzan a las sales fundidas o el aceite que circula dentro de ellos, aumentando su propia vibración. Esa "vibración atómica" es lo que llamamos aumento de temperatura.

El Balance de Energía: La batalla contra las pérdidas

Como explican Winter y Sizmann, "no todo lo que brilla es oro", el receptor es un campo de batalla donde la ingeniería lucha contra la naturaleza. La Primera Ley se cumple rigurosamente:

$$Q_{Solar} = Q_{Util} + Q_{Perdido}$$

El receptor intenta capturar la radiación (Q_{solar}), pero la naturaleza intenta robarla ($Q_{perdido}$):

- **Pérdidas Ópticas:** Parte de la luz se refleja en las superficies de los receptores y se pierde.
- **Pérdidas Térmicas:** Una vez que el tubo está caliente, pierde calor por convección (al calentar el aire circundante) y por radiación térmica (el tubo emite calor hacia el ambiente).

El éxito de la concentración solar radica en maximizar la Eficiencia Térmica (η): diseñar materiales que absorban mucho (alta absorptividad) y emitan poco (baja emisividad), asegurando que la mayor parte de la energía solar se convierta en energía útil en el fluido de trabajo.

$$\eta = Q_{Util} / Q_{Solar}$$

En resumen: El receptor es la "aduana" donde la energía deja de ser un rayo de luz y se convierte en un fluido portador de calor, listo para el siguiente paso.



Ordenando el caos: La Segunda Ley y la Entropía

Ya tenemos un fluido calcinante circulando por nuestros tubos gracias a la Primera Ley. Pero aquí surge un problema: tener un tanque de sales fundidas a altas temperaturas no enciende por sí solo una bombilla. El calor es energía desordenada (vibración caótica de moléculas), mientras que la electricidad requiere movimiento ordenado de electrones.

Para lograr ese orden, necesitamos una Máquina Térmica, generalmente una turbina. Aquí es donde entra en juego el árbitro más cruel del universo: La Segunda Ley de la Termodinámica.

Esta ley introduce un concepto profundo: la entropía (S). Aunque su definición matemática es elegante:

$$dS = dq / T$$

En física la interpretamos como un "impuesto inevitable". La Segunda Ley nos dice que es imposible convertir el 100% del calor en trabajo útil. El calor fluye naturalmente de lo caliente a lo frío, y la turbina solo puede capturar una parte de esa energía mientras transita hacia una temperatura menor.

¿Por qué buscamos el calor extremo? Aquí se responde la gran pregunta de la concentración solar. ¿Por qué construir torres inmensas para alcanzar miles de grados? La termodinámica nos da la respuesta: Eficiencia. Cuanto mayor sea la temperatura del fluido que entra a la turbina en comparación con el ambiente, menor es la pérdida energética exigida por la entropía y más electricidad podemos generar.

La evolución tecnológica: Tres generaciones de eficiencia

Esta carrera contra la entropía ha impulsado la evolución histórica de la tecnología CSP, que los expertos clasifican en tres generaciones claras [5]:

- 1. Primera Generación (El inicio):** Utiliza colectores cilíndrico-parabólicos, torres centrales y colectores lineales tipo Fresnel, con aceite sintético y agua/vapor. Aunque funcionan y son la base de muchas plantas actuales, operan a temperaturas moderadas (entre ~250 – 400 °C), lo que limita su eficiencia termodinámica (~28 – 38%).
- 2. Segunda Generación (El estándar actual):** Aquí entran las mismas tecnologías de la primera generación, pero se implementa el uso de sales fundidas. Al cambiar el aceite por sales, podemos subir la temperatura a unos ~500 – 565 °C. Esto no solo mejora la eficiencia de la turbina (~38 – 44%), sino que permite almacenar calor para generar electricidad incluso de noche.
- 3. Tercera Generación (El futuro):** El objetivo es romper la barrera de los 700 °C. Se investiga el uso de nuevos fluidos y partículas a base de carbonatos, cloruros y sulfatos. A estas temperaturas extremas, la eficiencia del ciclo de potencia aumenta drásticamente (>50%), exprimiendo cada gota de energía del sol.

De la teoría a la realidad local

Esto no es ciencia ficción. En todo el mundo, esta "danza termodinámica" de primera y segunda generación ya genera cientos de megavatios, demostrando que es posible sustituir las viejas calderas de carbón. Plantas con capacidades de hasta 354 MW operan hoy bajo estos principios, alimentando ciudades enteras. Pero no necesitamos ir tan lejos para ver esta ingeniería en acción.

En nuestro propio estado, la planta Agua Prieta II marcó un hito histórico. Inaugurada como la primera de su tipo en el país, esta central utiliza tecnología híbrida: combina un campo de colectores cilíndrico-parabólicos de 14 MW con una planta de ciclo combinado de gas. Aquí, el sol precalienta el fluido para ayudar a la turbina, demostrando cómo la energía solar puede trabajar en equipo con tecnologías convencionales.



Figura 5. Planta Agua Prieta II.

Mirando hacia el futuro, la apuesta es aún mayor. Recientemente se anunció la construcción de dos nuevas Centrales Termosolares en Baja California Sur, con una inversión de 800 millones de dólares. A diferencia de Agua Prieta, estas plantas utilizarán la tecnología de Torre Central (Segunda Generación) para generar 100 MW. Lo más impresionante es su capacidad de almacenamiento: gracias a las sales fundidas, podrán seguir produciendo electricidad durante 11 horas después de que se ponga el sol, estabilizando la red eléctrica de la península sin depender de combustibles fósiles.

El sol en el desierto de Sonora; nuestra ciudad, Hermosillo, no es ajena a este desafío. La Universidad de Sonora cuenta con una Torre Solar Experimental y un campo de heliostatos dedicados a la generación de conocimiento. Allí, investigadores y estudiantes ven las leyes de la termodinámica cobrar vida, optimizando cada espejo para atrapar mejor a nuestra estrella.

Conclusión: Ingeniería para un bienestar integral

Al final del día, ¿por qué nos esforzamos tanto en entender la entropía, pulir espejos y desarrollar nuevas generaciones de reactores solares? La respuesta inmediata está en el aire que respiramos.

La red de monitoreo ambiental de Hermosillo vigila constantemente contaminantes peligrosos como el monóxido de carbono y las partículas suspendidas, productos de la combustión tradicional que dañan nuestros pulmones. Sin embargo, ver a la energía termosolar solo como una herramienta de limpieza sería ver solo la mitad de la imagen.

Según destaca la red global de políticas energéticas REN21, la transición hacia estas fuentes renovables ofrece beneficios críticos que superan a los de las tecnologías tradicionales:

- **Protección de Agua y Hábitat:** A diferencia de la agresiva extracción de combustibles fósiles, que devasta ecosistemas y consume volúmenes inmensos de líquido vital, las energías renovables se caracterizan por una reducción significativa en la pérdida de hábitats y un menor uso global de agua.
- **Motor de Empleo:** Contrario al mito de que la tecnología elimina trabajo, el sector renovable es un motor de crecimiento superior. Las estadísticas muestran que estas tecnologías generan más empleos por unidad de energía que los combustibles fósiles a los que reemplazan, ofreciendo oportunidades laborales en manufactura, instalación y mantenimiento.
- **Soberanía y Resiliencia:** Al utilizar un recurso local y eterno (el sol de nuestro desierto), nos protegemos de la volatilidad de los precios internacionales y aseguramos el suministro ante crisis geopolíticas.

• La concentración solar representa, entonces, una alianza entre la física, la economía y la ecología. Al dominar el "lenguaje del calor" y respetar las reglas de la termodinámica, logramos algo que parecía imposible: generar la potencia masiva que demanda la civilización moderna, asegurando no solo un cielo limpio, sino un futuro próspero y justo para nuestra comunidad.

REFERENCIAS

- Cirett-Galán, F., Torres-Peralta, R., Badilla Ramírez, K. A., Barojas Alcántar, J. A., Duarte Hernández, A., Espinoza Bernal, D. A., Hernández López, L. E., & Nuñez Gurrola, D. (2025, feb. 27). RED DE MONITOREO AMBIENTAL DE HERMOSILLO (REMAH).
- Gobierno de México. (2025, 26 agosto). México a la vanguardia: CFE construirá 2 centrales termosolares en Baja California Sur. Presidencia de la República.
- Haberman, W. L., & John, J. E. (1996). Termodinámica para ingeniería con transferencia de calor.
- Power Technology. (2015). Agua Prieta II Integrated Solar Combined Cycle Power Plant, Sonora. Recuperado de power-technology.com
- REN21. (s.f.). Why is renewable energy important? Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. Recuperado de ren21.net/why-is-renewable-energy-important/
- Sharma, A. (2011). A comprehensive study of solar power in India and World. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(4), 1767-1776.
- Winter, C. J., Sizmann, R. L., & Vant-Hull, L. L. (Eds.). (2012). *Solar power plants: fundamentals, technology, systems, economics*. Springer Science & Business Media.
- Zhang, H., Baeyens, J., Cáceres, G., Degreve, J., & Lv, Y. (2016). Thermal energy storage: Recent developments and practical aspects. *Progress in energy and combustion science*, 53, 1-40.