

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía que produce electricidad de origen renovable,¹ obtenida directamente de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica,² o bien mediante una deposición de metales sobre un sustrato denominada célula solar de película fina.³ Este tipo de energía se usa principalmente para producir electricidad a gran escala a través de redes de distribución, aunque también permite alimentar innumerables aplicaciones y aparatos autónomos, así como abastecer refugios de montaña o viviendas aisladas de la red eléctrica. Debido a la creciente demanda de energías renovables, la fabricación de células solares e instalaciones fotovoltaicas ha avanzado considerablemente en los últimos años.⁴ Estas células comenzaron a producirse en masa a partir del año 2000, cuando medioambientalistas alemanes y la organización Eurosolar obtuvo financiación para la creación de diez millones de tejados solares.⁶ Programas de incentivos económicos, primero, y posteriormente sistemas de autoconsumo fotovoltaico y balance neto sin subsidios,⁷ han apoyado la instalación de la fotovoltaica en un gran número de países.⁸ Gracias a ello, la energía solar fotovoltaica se ha convertido en la tercera fuente de energía renovable más importante en términos de capacidad instalada a nivel global, después de las energías hidroeléctrica y eólica. A finales de 2018 la potencia total instalada en todo el mundo alcanzó los 500 GW de potencia fotovoltaica, y solo en 2018 se instalaron 100 GW.⁹ La energía fotovoltaica no emite ningún tipo de contaminación durante su funcionamiento, contribuyendo a evitar la emisión de gases de efecto invernadero.¹ Su principal inconveniente consiste en que su producción depende de la radiación solar, por lo que si la célula no se encuentra alineada perpendicularmente al Sol se pierde entre un 10-25 % de la energía incidente. Debido a ello, en las plantas de conexión a red, se ha popularizado el uso de seguidores solares para maximizar la producción de energía.¹¹ La producción se ve afectada asimismo por las condiciones meteorológicas adversas, como la falta de sol, nubes o la suciedad que se deposita sobre los paneles.¹² Esto implica que, para garantizar el suministro eléctrico, es necesario complementar esta energía con otras fuentes de energía gestionables como las centrales basadas en la quema de combustibles fósiles, la energía hidroeléctrica o la energía nuclear.

Gracias a los avances tecnológicos, la sofisticación y la economía de escala, el coste de la energía solar fotovoltaica se ha reducido de forma constante desde que se fabricaron las primeras células solares comerciales,¹⁴ aumentando a su vez la eficiencia, y logrando que su coste medio de generación eléctrica sea ya competitivo con las fuentes de energía convencionales¹⁵ en un creciente número de regiones geográficas, alcanzando la paridad de red.¹⁶ Actualmente el coste de la electricidad producida en instalaciones solares se sitúa entre 0,05-0,10 \$/kWh en Europa, China, India, Sudáfrica y Estados Unidos.¹⁹ En 2015, se alcanzaron nuevos récords en proyectos de Emiratos Árabes Unidos (0,0584 \$/kWh), Perú (0,048 \$/kWh) y México (0,048 \$/kWh). En mayo de 2016, una subasta solar en Dubái alcanzó un precio de 0,03 \$/kWh.¹⁹ En 2020, se alcanzó la cifra récord de 0,016 \$/kWh en Arabia Saudí.²⁰

Historia[editar]

El físico francés Alexandre-Edmond Becquerel fue el descubridor del efecto fotovoltaico en 1839, fundamental para el desarrollo de las células fotoeléctricas.

Esquema del campo eléctrico creado en una célula fotovoltaica mediante la unión pn entre dos capas de semiconductores dopados.

Estructura básica de una célula solar basada en silicio, y su principio de funcionamiento.

El término «fotovoltaico» se comenzó a usar en Reino Unido en el año 1849.²¹

Proviene del griego φῶς: phos, que significa «luz», y de -voltaico, que proviene del ámbito de la electricidad, en honor al físico italiano Alessandro Volta.^{nota 1}

El efecto fotovoltaico fue reconocido por primera vez unos diez años antes, en 1839, por el físico francés Alexandre-Edmond Becquerel,²² pero la primera célula solar no se fabricó hasta 1883. Su creador fue Charles Fritts, quien recubrió una muestra de selenio semiconductor con pan de oro para formar la unión. Este primitivo dispositivo presentaba una eficiencia menor del 1 %, pero demostró de forma práctica que, efectivamente, producir electricidad con luz era posible.²⁴ Los estudios realizados en el siglo xix por Michael Faraday, James Clerk Maxwell, Nikola Tesla y Heinrich Hertz sobre inducción electromagnética, fuerzas eléctricas y ondas electromagnéticas, y sobre todo, el trabajo realizado por Albert Einstein en 1905, por el cual le fue otorgado el premio Nobel en 1921, proporcionaron la base teórica y práctica del efecto fotoeléctrico,²⁵ que es el fundamento de la conversión de energía solar en electricidad.

Principio de funcionamiento[editar]

Artículo principal: Célula fotoeléctrica

Cuando un semiconductor dopado se expone a radiación electromagnética, un fotón incidente golpea a un electrón y lo arranca, creando un hueco en el átomo.

Normalmente, el electrón encuentra rápidamente otro hueco para volver a llenarlo, y la energía proporcionada por el fotón, por tanto, se disipa en forma de calor. El principio de una célula fotovoltaica es obligar a los electrones y a los huecos a avanzar hacia el lado opuesto del material en lugar de simplemente recombinarse en él: así, se producirá una diferencia de potencial, y por lo tanto, tensión entre las dos partes del material, como ocurre en una pila.

Para ello, se crea un campo eléctrico permanente, a través de una unión pn, entre dos capas dopadas respectivamente, p y n. En las células de silicio, que son mayoritariamente utilizadas, se encuentran por tanto:

La capa superior de la celda, que se compone de silicio dopado de tipo n.^{nota 2} En esta capa, hay un número de electrones libres mayor que en una capa de silicio puro, de ahí el nombre del dopaje n, negativo. El material permanece eléctricamente neutro, ya que tanto los átomos de silicio como los del material dopante son neutros: pero la red cristalina tiene globalmente una mayor presencia de electrones que en una red de silicio puro.

La capa inferior de la celda, que se compone de silicio dopado de tipo p.^{nota 3} Esta capa tiene por lo tanto una cantidad media de electrones libres menor que una capa de silicio puro. Los electrones están ligados a la red cristalina que, en consecuencia, es eléctricamente neutra, pero presenta huecos, positivos (p). La conducción eléctrica está asegurada por estos portadores de carga, que se desplazan por todo el material. En el momento de la creación de la unión pn, los electrones libres de la capa n entran instantáneamente en la capa p y se recombinan con los huecos en la región p. Existirá

así durante toda la vida de la unión, una carga positiva en la región n a lo largo de la unión (porque faltan electrones) y una carga negativa en la región en p a lo largo de la unión (porque los huecos han desaparecido); el conjunto forma la «Zona de Carga de Espacio» (ZCE) y existe un campo eléctrico entre las dos, de n hacia p. Este campo eléctrico hace de la ZCE un diodo, que solo permite el flujo de corriente en una dirección: los electrones pueden moverse de la región p a la n, pero no en la dirección opuesta y por el contrario los huecos no pasan más que de n hacia p.

En funcionamiento, cuando un fotón arranca un electrón a la matriz, creando un electrón libre y un hueco, bajo el efecto de este campo eléctrico cada uno va en dirección opuesta: los electrones se acumulan en la región n (para convertirse en polo negativo), mientras que los huecos se acumulan en la región dopada p (que se convierte en el polo positivo). Este fenómeno es más eficaz en la ZCE, donde casi no hay portadores de carga (electrones o huecos), ya que son anulados, o en la cercanía inmediata a la ZCE: cuando un fotón crea un par electrón-hueco, se separaron y es improbable que encuentren a su opuesto, pero si la creación tiene lugar en un sitio más alejado de la unión, el electrón (convertido en hueco) mantiene una gran oportunidad para recombinarse antes de llegar a la zona n. Pero la ZCE es necesariamente muy delgada, así que no es útil dar un gran espesor a la célula. nota 4 Efectivamente, el grosor de la capa n es muy pequeño, ya que esta capa solo se necesita básicamente para crear la ZCE que hace funcionar la célula. En cambio, el grosor de la capa p es mayor: depende de un compromiso entre la necesidad de minimizar las recombinaciones electrón-hueco, y por el contrario permitir la captación del mayor número de fotones posible, para lo que se requiere cierto mínimo espesor.