

## Celdas Solares Orgánicas

### Organic Solar Cells

### Células solares orgánicas

Andrea Liliana Fagua<sup>1</sup>, William Fernando Bernal S.<sup>2</sup>

Grupo de Investigación BINÁ, Facultad de Ingeniería, Fundación Universitaria Juan de Castellanos, Tunja, Colombia.

1afagua@jdc.edu.co, 2wbernal@jdc.edu.co

Recibido / Received: 10/09/2015 – Aceptado / Accepted: 10/12/2015

#### Resumen

En el marco internacional de la luz se impulsan en todo el mundo tecnologías basadas en propiedades con carácter sustentable y en la generación de electricidad limpia. La energía que proviene del sol está siendo empleada hoy en día de muchas maneras, estudios realizados a nivel mundial demuestran la creciente demanda de energía para uso doméstico e industrial. Es por eso que, la búsqueda y desarrollo de fuentes de energía renovable, energías alternativas a los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas), han permitido el desarrollo y uso de diferentes tecnologías en especial el de celdas solares, siendo uno de los campos de la ciencia que más ha evolucionado, presentando resultados promisorios. Las celdas solares fotovoltaicas inorgánicas han mostrado una rápida evolución en los últimos años, pero infortunadamente no son fáciles de producir a gran escala, por tanto su costo ha impedido un amplio uso. En la actualidad, el empleo de materiales orgánicos para la construcción y producción de celdas solares orgánicas como fuente de energía renovable, ha tomado gran relevancia entre grupos de investigadores y científicos que realizan estudios a nivel mundial, como alternativa que ofrece grandes ventajas en aspectos económicos, ambientales y tecnológicos, indicando un compromiso entre flexibilidad, eficiencia, escalabilidad y transparencia, teniendo así una perspectiva de crecimiento bastante alto. Este artículo recopila investigaciones, desarrollos y avances tecnológicos en el campo de la industria fotovoltaica orgánica, con el objetivo de dar a conocer el uso y aplicaciones vigentes en el mercado de las celdas solares orgánicas.

**Palabras clave:** Celdas solares orgánicas, Materiales Orgánicos, evolución, energía solar, energía fotovoltaica.

#### Abstract

In the international framework of light technologies driving around the world based on sustainable properties with character and in the generation of clean electricity. Energy from the sun is being used today in many ways, global studies show the increasing energy demand for domestic and industrial use. That's why the research and development of renewable energy sources, alternative energy to fossil fuels (coal, oil and gas) have enabled the development and use of different technologies especially solar cells, one of the fields science has evolved presenting more promising results. The inorganic photovoltaic solar cells have shown

rapid development in recent years, but unfortunately are not easy to produce on a large scale, so their cost has prevented widespread use at present the use of organic materials for construction and production organic solar cells as a source of renewable energy, has taken great relevance between groups of researchers and scientists conducting studies worldwide, as an alternative that offers great advantages in economic, environmental and technological aspects, indicating a compromise between flexibility, efficiency, scalability and transparency and having a fairly high growth perspective. This article compiles research, development and technological advances in the field of organic photovoltaic industry with the aim of raising awareness of the use and applications existing in the market for organic solar cells.

**Keywords:** Organic solar cells, organic materials, evolution, solar energy, photovoltaic energy.

## Resumo

No quadro internacional de luz são promovidos em todo o mundo tecnologias baseados em propriedades com caráter sustentável e na geração de eletricidade limpa. A energia do sol está sendo usados hoje em muitos aspectos, os estudos em todo o mundo demonstram a crescente demanda de energia para uso doméstico e industrial. É por isso que, a pesquisa e desenvolvimento de energias renováveis, fontes de energia alternativa aos combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás) têm permitido o desenvolvimento e uso de tecnologias diferentes especialmente de células solares, um dos campos da ciência que evoluiu, apresentando resultados promissores. Células solares fotovoltaicas inorgânicos têm mostrado um rápido desenvolvimento, nos últimos anos, mas, infelizmente, não são fáceis de produzir em larga escala, de modo que o seu custo tem impedido a utilização generalizada. Atualmente, o uso de materiais orgânicos para construção e produção de células solares orgânicas como uma fonte de energia renovável, tem tido grande relevância entre grupos de pesquisadores e cientistas que conduzem estudos em todo o mundo, como uma alternativa que oferece grandes vantagens em aspectos econômicos, ambiental e tecnológico, indicando um compromisso entre a flexibilidade, eficiência, escalabilidade e transparência, tendo, assim, uma perspectiva de crescimento bastante elevado. Este artigo compila pesquisa, desenvolvimento e avanços tecnológicos no campo da indústria fotovoltaica orgânica, com o objectivo de dar a conhecer o uso e aplicações existentes no mercado para células solares orgânicas.

**Palavras-chave:** células solares orgânicas, materiais orgânicos, evolução, energia solar, energia fotovoltaica.

## I. INTRODUCCIÓN

Si el ser humano aprovechara tan solo una fracción de la energía que el sol envía a la tierra, se podría dar solución a los grandes problemas que se generan por la crisis energética [1], [8]. El crecimiento de la población, la demanda energética mundial, el deterioro del medio ambiente, el cambio climático y la reducción de reservas de recursos fósiles, hace prioritario el desarrollo y masificación de nuevas tecnologías de energía inagotable, limpia y renovable [13]. La energía del sol es una energía inagotable en abundancia, y cada vez existen más alternativas para aprovecharlo al máximo, no es contaminante pero dentro de sus desventajas se

encuentra que es una energía diluida e intermitente, por lo que requiere de un sistema de acumulación. En la actualidad, la energía solar está siendo explotada en varias formas, pero uno de los métodos más conocidos es el uso de tecnologías de celdas solares, basadas en materiales inorgánicos como el silicio, en las cuales el proceso de transformación directa de la luz del sol en electricidad se hace a través del efecto fotovoltaico [6], [9].

Estas tecnologías de celdas solares han mostrado un gran desarrollo en los últimos años en el campo de la industria solar, pero aún tiene un alto costo para muchas aplicaciones, y sus condiciones de producción generan residuos contaminantes, lo que

implica trabas en la productividad y su uso masivo. Por tanto, las tecnologías fotovoltaicas deben ser escalables, sobre todo si se pretende implementar en grandes superficies a temperaturas bajas [2], [3]. Sin embargo, la fabricación de celdas solares orgánicas parece ser un potencial en el desarrollo de nuevas tecnologías, equipos de científicos alrededor del mundo están trabajando en la creación de celdas solares orgánicas que puedan sustituir a las de silicio, más económicas, flexibles, eficientes, de mayor tamaño y menos contaminantes de lo que se conoce hasta el momento, empleando materiales orgánicos, marcando un antes y un después en lo que a energía solar se refiere [4], [5], [7].

El presente artículo pretende mostrar una visión actual y general de los desarrollos científicos y tecnológicos en el campo de los paneles solares basados en celdas orgánicas.

## II. METODOLOGÍA

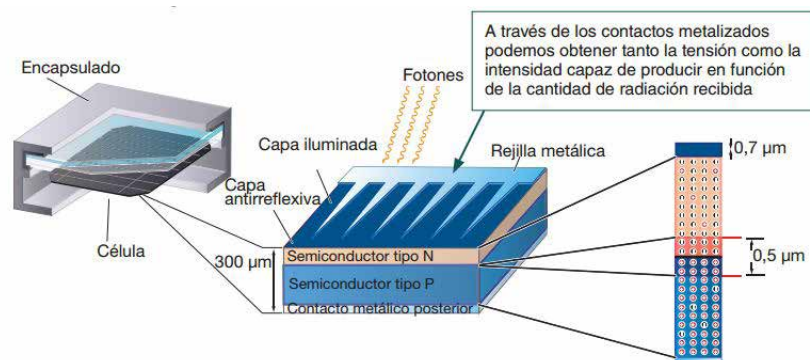
Para llevar a cabo la investigación de este tema, se tiene en cuenta la exploración de documentos relacionados con estudios adelantados en celdas solares orgánicas, utilizando varias fuentes documentales como artículos científicos, escrituras de maestrías, trabajos doctorales, documentos web emitidos por empresas que trabajan estas tecnologías.

Las celdas solares orgánicas son una fuente alterna de energía renovable y con los avances tecnológicos que se presentan en la actualidad, se recopila información de fuentes bibliográficas, referentes a este tema, donde incluyan historia, evolución, características, tecnología, técnicas de fabricación y aplicación. Una vez revisadas las fuentes bibliografías e investigaciones documentales, se hace selección de los temas afines, teniendo en cuenta la calidad de la información, confiabilidad y veracidad de las fuentes seleccionadas. Finalmente, se realiza evaluación, análisis y documentación del artículo.

## III. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA: ASPECTOS GENERALES

### A. La Celda o Célula Solar: Estructura y Parámetros Característicos

La célula solar está formada por una delgada lámina de material semi-conductor, por lo general de silicio, normalmente de forma cuadrada [16]. Uno de los elementos principales de cualquier instalación de energía solar es el generador, que recibe el nombre de célula solar, se caracteriza por convertir directamente en electricidad los fotones provenientes de la luz del sol, su funcionamiento se basa en el efecto fotovoltaico: que es la propiedad que tienen algunos materiales de producir una corriente eléctrica cuando incide una radiación lumínica sobre ellos [14]. En la Fig. 1, se puede apreciar la estructura de una célula fotovoltaica.



Fuente: Mcgraw-Hill, 2010.

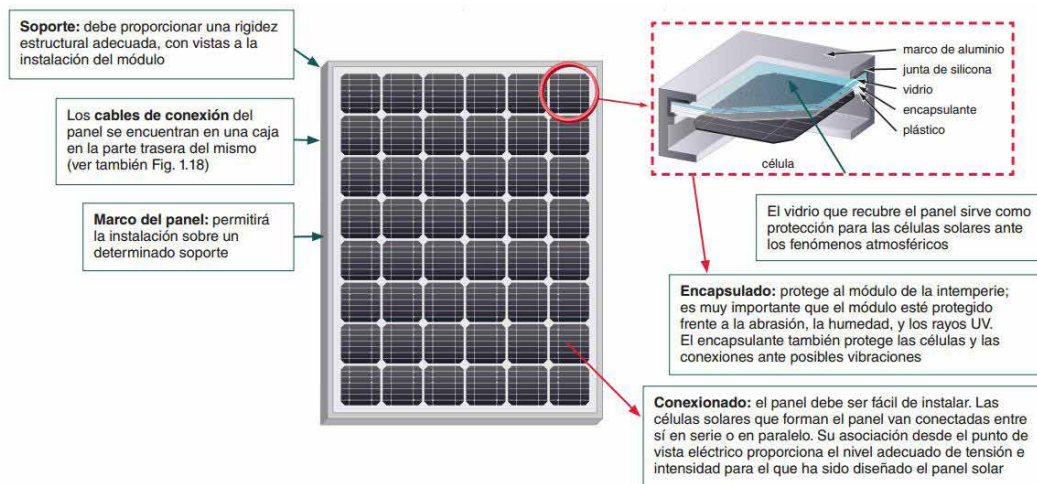
Fig. 1. Estructura de la célula solar.

### B. Paneles solares

En la antigüedad, egipcios, nativos americanos y romanos se beneficiaban del sol para calentar sus estructuras durante el día. A inicios del siglo XIX, la gente era consciente de la existencia de materiales que podían producir electricidad a partir del sol. El uso de celdas solares basadas en silicio, se inició a mediados de los años 1950, y progresó gracias al anhelo de ser menos dependientes del petróleo [10]. El término fotovoltaico hace relación al proceso de transformar la energía del sol en energía eléctrica, por tanto los paneles solares fotovoltaicos transforman la luz solar en electricidad, lo que los convierte en una fuente de energía renovable de baja contaminación, además un panel solar puede ser utilizado

para producir agua caliente a través de colectores solares o electricidad, por medio de paneles fotovoltaicos que se componen de numerosas celdas de silicio, también llamadas celdas fotovoltaicas, que convierten la luz en electricidad.

Un panel solar o módulo fotovoltaico está integrado por un conjunto de celdas, acopladas eléctricamente, encapsuladas y montadas sobre una estructura de soporte o marco. Suministran en su salida de conexión, una tensión continua y se diseñan para valores concretos de tensión (6v, 12v, 24v...), que definirán la tensión a la que va a trabajar el sistema fotovoltaico. En la Fig. 2, se destacan las características de todo panel solar, y puede verse en un esquema típico de su construcción [11], [12].



Fuente: McGraw-Hill, 2010.

Fig. 2. Constitución de un panel solar.

Los tipos de paneles solares fotovoltaicos vienen dados por la tecnología de fabricación de las celdas, y se clasifican de la siguiente manera:

### C. Tecnologías de las Celdas Solares

La primera célula solar fue construida en 1883 por Charles Fritts, tenía una eficiencia del 1% [17], desde entonces han ido evolucionando. Dentro de la tecnología de celdas solares más utilizadas se tiene:

**Silicio Monocristalino:** sus celdas se obtienen cortando obleas de un solo cristal de silicio puro, se distinguen por tener forma circular o hexagonal, económica y ligera, con un rendimiento de 15%-

20%, de color azul oscuro y brillo metálico [14], [15].

**Silicio Policristalino:** se forman por pequeñas partículas cristalizadas, con aspecto de una amalgama de cristales de diferentes tonos (azules y grises), su rendimiento es del 15% [14], [15].

**Silicio Amorfo:** desaparece la estructura cristalina ordenada y el silicio se deposita formando una capa fina, con colores marrón y gris oscuro [14], [15].

En la Tabla 1 se muestran otras tecnologías de las celdas solares más conocidas en el mercado.

TABLA 1. TECNOLOGÍAS DE LAS CELDAS SOLARES.

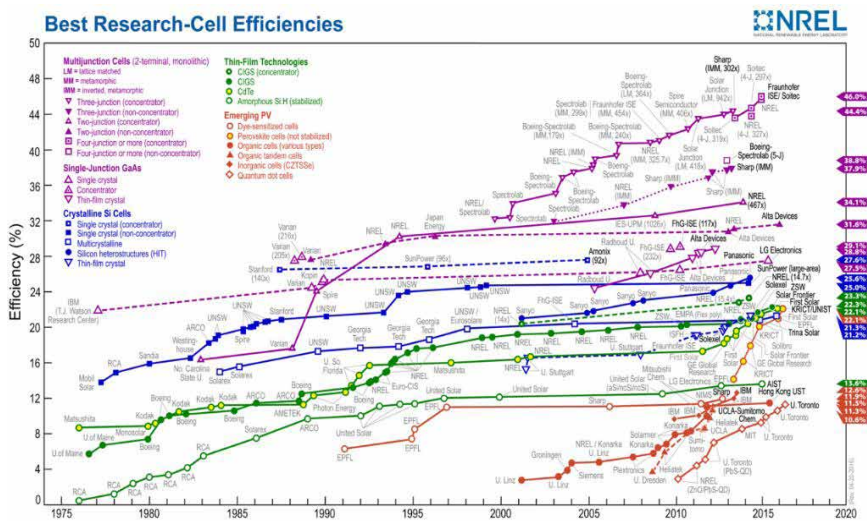
| PRIMERA GENERACIÓN                         | SEGUNDA GENERACIÓN  | TERCERA GENERACIÓN   | CUARTA GENERACIÓN  |
|--|---|--|--|
| - Obleas de silicio monocristalino (c-Si). | - Silicio amorfo (a-Si).<br>- Silicio Policristalino (poly-Si).<br>- Teluro de Cadmio (CdTe).<br>- Aleación de cobre indio diseleniuro de galio (CIGS). | - Células solares de nanocristales.<br>- Células fotoelectroquímicas (PEC).<br>- Células Graetzel.<br>- Células solares poliméricas.<br>- Células solares orgánicas (DSSC) | -Híbridas<br>-Cristales inorgánicos dentro de una matriz polimérica. |

Fuente: Los autores, 2014.

D. Evolución Histórica

En la Fig. 3, se muestra la evolución de las celdas solares fotovoltaicas, desde los años 70s, con los primeros dispositivos fotovoltaicos que tenían efi-

ciencias del 8% al 15% hasta hoy en día, con celdas que alcanzan los records de eficiencia, las cuales tienen elevados costos en su producción, por tanto son hechas en pequeñas cantidades.



Fuente: NationalRenewableEnergyLaboratory de Estados Unidos, 2014.

Fig. 3. Cronología de las eficiencias de conversión logradas en celdas solares fotovoltaicas.

IV. CELDAS SOLARES ORGÁNICAS

Las celdas solares orgánicas aparecieron en 1990, con la intención de reducir los costos de electricidad fotovoltaica, están basadas en un nuevo material orgánico en el que se destacan los polímeros. Trabajan recolectando la luz solar y transfiriéndola a un dispositivo, por ejemplo al techo de un auto, donde la luz solar se transforma en energía, para alimentar un pequeño ventilador, otras aplicaciones

son para dispositivos recargables que ya están en el mercado, pero aún es una tecnología joven en desarrollo. Los investigadores alrededor del mundo trabajan para crear celdas orgánicas más sustentables para dispositivos energéticos, pues son más fáciles de reciclar en el fin de su ciclo de vida [28], [29].

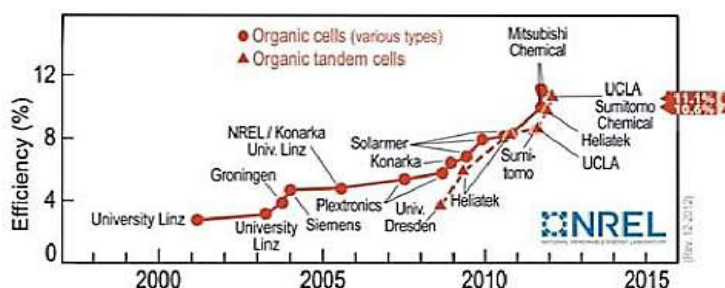
Las celdas solares orgánicas han evolucionado en los últimos años, por presentar ventajas como: bajo precio de fabricación, elaboración de dispositivos

más livianos, de menor dimensión y mayor flexibilidad, por lo cual se puede aplicar en la elaboración de ventanas, edificios, ropa, maletas, portafolios, carpas, en donde se pueden doblar y transportar fácilmente. Por otro lado, hay varios aspectos por mejorar, como su baja eficiencia de conversión, su menor estabilidad referente a la vida útil, en comparación con los paneles solares de silicio [47], [48].

Los costos de fabricación de las celdas orgánicas son menores a las celdas basadas en silicio, pero su eficiencia no iguala a estas, por tal razón, las celdas basadas en silicio dominan el mercado mundial. Con respecto al medio ambiente, las celdas solares orgánicas generan menor impacto, dado a su bajo consumo energético en el proceso de fabricación por generar menor cantidad de desechos y materiales tóxicos. Una de las problemáticas actuales en sistemas de energía limpia no solo se relaciona a la producción energética, sino también a los desechos que se producen al finalizar la vida útil de estos dispositivos.

### A. Fabricación y Caracterización de las Celdas Solares Orgánicas

Desde el descubrimiento de los semiconductores orgánicos, se ha mostrado un gran interés en ellos; esto se explica porque son materiales plásticos que pueden conducir electricidad bajo ciertas condiciones y, además, emitir y absorber luz. Las nuevas tecnologías y materiales para la fabricación de celdas solares orgánicas, abren la posibilidad de desarrollar productos con procesos de fabricación medioambientales más sostenibles, con una amplia variedad de aplicaciones, desde la generación de energía, integración arquitectónica, incorporación en dispositivos electrónicos, implementación en ropa entre otros [49], [50]. A pesar de los inconvenientes, el progreso de la tecnología en celdas solares orgánicas en los últimos años ha sido excelente, con un incremento de eficiencia del 1% al 11.1%, como se evidencia en la Fig. 4.



Fuente: National Center for Photovoltaics, 2014.

Fig. 4. Progreso de la tecnología para celdas solares orgánicas.

Actualmente, en muchos laboratorios alrededor del mundo se está trabajando en la optimización de procesos de fabricación de celdas orgánicas, buscando implementar nuevas técnicas que permitan incrementar la eficiencia y estabilidad de estos dispositivos orgánicos, con el fin de aumentar la producción a gran escala de este tipo de celdas [20], [22].

Una alternativa para disminuir los costos de fabricación, de producción masiva y de mínima generación de residuos, es mediante el uso de semiconductores orgánicos en sustitución del tradicional silicio. En los últimos 20 años, se han desarrollado diodos emisores de luz orgánicos (OLEDs), los cuales tiene

aplicaciones en pantallas, señalizadores (displays) e incluso en iluminación; gracias a los avances y desarrollos tecnológicos, hoy en día, ya encontramos pantallas delgadas y flexibles. La maduración de la tecnología de los OLEDs, impulsó a otras tecnologías basadas en materiales orgánicos [23], [24]. Dos ejemplos son las celdas solares de película sólida de estructura amorfa, conocida como celdas OPVs (Organic Photovoltaics) y las de estructura semi-líquida e híbrida (orgánica-inorgánica), que contienen un electrolito líquido y colorantes sensibilizadores, conocidos como DSSC (Dye Sensitized Solar Cell). En la tecnología OLEDs, se aplica electricidad y se genera luz; mientras, en las celdas

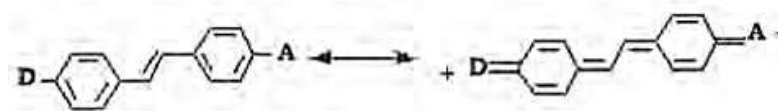
OPVs y DSSC, se absorbe la luz y se genera electricidad [25], [26], [27].

### B. Funcionamiento Básico de las Celdas Solares Orgánicas

El funcionamiento de las celdas solares orgánicas difiere considerablemente del funcionamiento de las celdas solares inorgánicas [31]. Las películas orgánicas son preparadas por los métodos tradicionales (como la centrifugación), usando distintos disolventes y empleando diferentes concentraciones de moléculas y polímeros a mezclar. Se depositan sobre sustratos de vidrio o plástico conteniendo ITO, que usualmente es el ánodo. Estos electrodos de ITO deben de estar completamente limpios. Para ello, son lavados usando ultrasonido y baños de etanol, agua y soluciones para limpieza de sustratos, ya que cualquier partícula de polvo o humedad puede afectar considerablemente la calidad de las películas y, con ello, la funcionalidad de las celdas solares. Para el cátodo, se puede usar el metal de Wood que se vierte en un matraz de vidrio Pyrex sobre una Parrilla por encima de los 90 °C y, subsecuentemente, se vierte sobre las películas orgánicas previamente depositadas. En la ya mencionada y descrita Fig. 9, se muestran imágenes secuenciales del método que ha desarrollado el GPOM en el CIO para la fabricación, así como parte de la caracterización de las celdas OPVs.

### C. Compuestos Orgánicos

Un compuesto orgánico es aquel que está formado principalmente por átomos de carbono (C) e hidrógeno (H). Estos compuestos pueden también contener átomos de nitrógeno (N), oxígeno (O), azufre (S), entre otros; los átomos de carbono se unen por enlaces covalentes que pueden ser de dos diferentes tipos, sigma ( $\sigma$ ) y pi ( $\pi$ ). Los primeros son enlaces sencillos, es decir, solo intervienen un par de electrones, mientras que en los enlaces pi pueden existir un enlace doble o uno triple; ambos enlaces ( $\sigma$  y  $\pi$ ) presentan diferentes propiedades tanto estructurales como electrónicas. Un ejemplo se encuentra en la deslocalización de los electrones en la estructura conjugada, y que confiere al compuesto propiedades opto-electrónicas muy interesantes (ver Fig. 5) [32]. Los compuestos que poseen únicamente enlaces sigma son, por lo general, incoloros; mientras que, los que tienen enlaces pi, son usualmente coloridos. Cuando, además, los dobles enlaces se encuentran conjugados [33], [34], es decir, existe una sucesión entre un enlace sencillo y uno doble, los compuestos son muy coloridos (como es el caso de muchos productos naturales). Un ejemplo es el licopeno, responsable del color rojo del jitomate, que presenta 11 dobles enlaces  $\pi$  conjugados. Los compuestos que contienen enlaces pi conjugados pueden ser de bajo peso molecular (o polímeros) y muestran propiedades de gran interés en el área de los materiales fotónicos. El diseño y síntesis de estos materiales se realiza en laboratorios de química.



Fuente: Organic solar cells as a renewable energy source, agosto 2012.

Fig. 5. Estructura química general de moléculas dipolares orgánicas conjugadas.

Una de las ventajas que tienen los compuestos orgánicos es la versatilidad con la que se pueden realizar modificaciones estructurales que permiten modular las propiedades deseadas. Lo anterior posibilita, por ejemplo, de una manera relativamente fácil y rápida la fabricación de películas de estado sólido con grosores comparables al de un cabello huma-

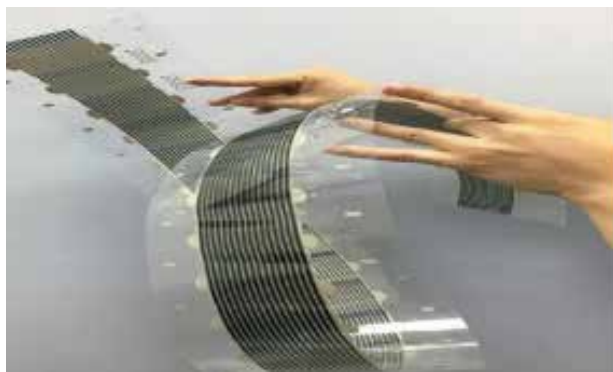
no (películas gruesas), o bien, cerca de mil veces más delgadas (películas delgadas). Las películas se pueden depositar a temperatura ambiente sobre una gran variedad de sustratos, lo cual es fundamental para la fabricación de los dispositivos fotónicos y optoelectrónicos plásticos, como los OLEDs y las celdas OPVs. Una de las técnicas más simples, fáci-

les y económicas de fabricar películas conteniendo distintas moléculas y polímeros, es la de centrifugación [36], [37].

#### D. Celda Fotovoltaica Tradicional vs. Celda Solar Orgánica

Las células fotovoltaicas que más se utilizan, están compuestas de un material semiconductor, cuya composición principal es el silicio. Las celdas solares orgánicas se fabrican con materiales como los polímeros, pequeñas moléculas de material que se depositan por evaporación térmica [41], [42]. Se pueden encontrar cuatro tipos de celdas solares orgánicas, células de Grätzel, células multicapa, Células con múltiples heterouniones orgánicas internas, y Células híbridas organo-inorgánicas [43].

Una de las ventajas de las celdas orgánicas, es que pueden adherirse sobre casi cualquier tipo de material, son más económicas, menos pesadas y más fáciles de instalar, pero han tenido que cumplir con una serie de términos, tales como la estabilidad, la eficiencia y el costo, para poder competir con la tecnología de silicio. Además, estas celdas orgánicas permiten construir dispositivos flexibles a menor costo e impactar en la seguridad ambiental [44], [45]. En la Fig. 6, se visualiza una celda de polímero flexible.



Fuente: ENGI Revista Electrónica ISSN 2256-5612.

Fig. 6. Celda orgánica de polímero.

Los paneles solares orgánicos tienen la desventaja de tener una baja eficiencia, pero es algo en que los científicos han venido trabajando y tiene gran expectativa en lograr una vida útil de estos paneles orgánicos de unos 5 años, a bajo costo y muy eficientes.

#### E. Aplicaciones de las Celdas Solares Orgánicas

Por sus características de ligereza y transparencia, pueden instalarse paneles solares flexibles en mochilas o la ropa a fin de que alimenten de energía a los dispositivos móviles que cualquier persona trae consigo. Asimismo, podrían instalarse en ventanales y paredes que, además de dejar pasar la luz, sirvan para crear y almacenar la electricidad que consume un edificio. Otra, puede ser su instalación en carpas y lonas, para que puedan iluminar el interior [35].

#### F. Retos a Superar con las Celdas Solares Orgánicas.

Los resultados de fabricación de celdas solares orgánicas han sido muy positivos. Actualmente, existen empresas dedicadas a la producción de módulos de celdas a baja escala, sin embargo se buscan nuevas mezclas que permitan obtener películas delgadas y homogéneas, para disminuir los procesos reactivos y ampliar el rango de absorción solar, además de disminuir las pérdidas de corriente, debido a los contactos eléctricos, por lo que se pretende utilizar capas de grafeno [38]. Estudios e investigaciones realizadas a nivel mundial muestran que las celdas solares orgánicas tiene un futuro prometedor, pues cada vez se fabrican a menor costo y con menor impacto al medio ambiente, lo cual posibilita el desarrollo de dispositivos que cumplan con los requisitos de energías alternativas, eficientes, limpias y económicas, a partir de un recurso inagotable como lo es el sol [39], [40].

## V. CONCLUSIONES

La solución del problema energético es vital para el futuro del planeta. Encontrar nuevas tecnologías más eficientes y fuentes renovables y compatibles con el medio ambiente, es uno de los retos de la ciencia. Las celdas solares orgánicas muestran una alternativa de generación de energía renovable, es necesario estudiar cómo afectan los diversos factores como: la atmósfera, la temperatura, la luz, en el proceso de fabricación a los que se someten las celdas solares orgánicas, y cómo inciden en la estabilidad y su vida útil.



En este artículo se ha presentado una visión general de la tecnología y desarrollo de celdas solares, basadas en materiales orgánicos, como alternativa que busca complementar y/o sustituir a la tecnología basada en materiales inorgánicos, las celdas solares orgánicas poseen la ventaja de poder producirse a un menor costo, ya que no requiere laboratorios sofisticados de alto costo y mantenimiento elevado, generando menor cantidad de contaminantes en su producción; no obstante, los investigadores y científicos en todo el mundo siguen trabajando por mejorar su eficiencia de conversión, su tiempo de vida y almacenamiento de energía producida.

#### REFERENCIAS

- [1] A. Iribarren, Optoelectrónica orgánica: celdas solares, 2014. [Online]. Available: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia48/HTML/articulo02.htm>
- [2] L. Peña, and J. Padilla, Celdas solares transparentes: desarrollo actual y aplicaciones, M. S. Thesis, ETSII, UPCT, Cartagena, España, 2011. [Online]. Available: <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/1869/1/pfm271.pdf>.
- [3] P. Sarmiento, Energía solar en arquitectura y construcción, Ril Editores, 2007, p. 9.
- [4] N. Vidoz, En Arizona se trabaja para conseguir celdas fotovoltaicas orgánicas más baratas, 2011. [Online]. Available: <http://www.energiverde.com/energia-solar/en-arizona-se-trabaja-para-conseguir-celulas-fotovoltaicas-organicas-mas-baratas>.
- [5] N. Gasparotti, Un componente de la sal de mar puede abaratar las celdas solares, 2014. [Online]. Available: <http://www.energiverde.com/energia-solar/componente-de-sal-de-mar-abaratar-celulas-solares>
- [6] O. Araos, Celdas Solares Orgánicas (OPVS), 2011.
- [7] S. Sánchez, Investigación: paneles solares más económicos, flexibles y eficientes gracias al grafeno, 2015. [Online]. Available: <http://www.ecosiglos.com/2014/03/investigacion-paneles-solares-grafeno.html>.
- [8] O. Araos, La energía ilimitada del sol, 2011. [Online]. Available: <https://oscararaos.wordpress.com/tag/energia-solar/>
- [9] S. S. Sun, and N. S. Sariciftci, (eds.), Organic Photovoltaics, Mechanisms, Materials and Devices, CRC, USA: Press Taylor and Francis Group, 2005.
- [10] L. Hernández, “El problema energético en el desarrollo global y la energía fotovoltaica”, Revista Iberoamericana de Física, vol. 2, no. 1, 2006.
- [11] M. Abella, and S. Lozano, Sistemas fotovoltaicos: introducción al diseño y dimensionado de instalaciones de energía solar fotovoltaica, Sociedad Anónima de Publicaciones Técnicas, 2005.
- [12] A. Guerrero, Año internacional de la luz: celdas solares orgánicas, Agencia Informativa-Conacyt, 2015.
- [13] L. Hernández, “El problema energético en el desarrollo global y la energía fotovoltaica”, Revista Iberoamericana de Física, vol. 2, no. 1, 2006.
- [14] M. A. Green, Solar Cell, Operating Principles, Technology and System Applications, Universidad de Nueva Gales del Sur, AU, 1998.
- [15] M. A Green, Silicon Solar Cell, Advanced Principles and Practices, Universidad de Nueva Gales del Sur, AU, 1995.
- [16] E. García, and Moubarak, Energía solar: celdas solares de silicio, 2012. [Online]. Available <http://www.scienceinschool.org/node/3006>.
- [17] J. Solis, Física de celdas fotovoltaicas, 2012. [Online]. Available: <http://www.perusolar.com>.

- org/wp-content/uploads/2012/12/III\_Jsolis1.pdf
- [18] H. Spanggaard, “A brief history of the development of organic and polymeric photovoltaic”, *Energy Mat.*, 2004.
- [19] N. Espinosa, “Organic solar cells: life cycle assessment as a research tool to reduce pay-back time and environmental impacts”, Ph. D dissertation, ETSII, UPCT, Cartagena, España, 2012.
- [20] H. Choi, *Current Applied Physics*, vol. 13, 2013, pp. 2-13.
- [21] V. A. Mishurny, *Celdas solares, aspectos técnicos y económicos, ciencia y desarrollo*, vol. 33, 2007, pp. 36-54.
- [22] O. V. Galán, “Conversión fotovoltaica: una contribución en la solución de la crisis energética global”, *Bol. Soc. Mex Fis.*, 2008.
- [23] M. Rodríguez, et al. , “Moléculas orgánicas: nuevos componentes para dispositivos fotónicos y opto-electrónicos”, *Acta Universitaria (Rev. U. de Gto. )*, vol. 19, pp. 105-110, 2009.
- [24] B. Parida, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, 2011.
- [25] F. Quezada, and G. González, *Electrónica y materiales: dispositivos fotovoltaicos*, Eudema, Universidad de Madrid, Madrid, España, 2014.
- [26] F. Krebs, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, vol. 93, 2009, pp. 394-412.
- [27] M. Strotmann, B. Johnev, and K. Fostiropoulos, “Influence of nanoscale morphology in small molecule organic solar cells”, *Thin Solid Films*, vol. 511, p. 367, 2009.
- [28] R. S. Schoendorf, “Interface state recombination in organic solar cells”, *Phys. Rev B*, vol. 81, 2010.
- [29] R. Manuel, *Moléculas orgánicas: nuevos componentes para dispositivos fotónicos y opto-electrónicos*, *Acta Universitaria*, vol. 19, pp. 105-110, 2009.
- [30] C. Gevorgyan, A roll-to-roll process to flexible polymer solar cells: model studies, manufacture and operational stability studies, *J. Mater Chem*, vol. 19, 2009, pp. 5442-5451.
- [31] C. Krebs, All solution roll-to-roll processed polymer solar cells free from indium-tin- xide and vacuum coating steps, *Organic Electronics*, vol. 10, 2009, pp. 761-768.
- [32] G. Hadziioannou, “Semiconducting Polymers”, *Chemistry, Physics and Engineering*, Germany: Wiley-VCH, 2000.
- [33] S. Nalwa, *Nonlinear Optics of Organic Molecules and Polymers*, BocaRaton, FL, USA: CRC Press, 1997.
- [34] A. Luisa, Año Internacional de Luz: celdas solares orgánicas, 2015. [Online]. Available: <http://www.conacytprensa.mx/index.php/tecnologia/energia/1884-año-internacional-de-la-luz-celdas-solares-organicas>
- [35] Ch. William, *Celdas solares orgánicas, una perspectiva hacia el futuro*, 2012. [Online]. Available: <http://ciencias.bogota.unal.edu.co/gruposdeinvestigacion/>
- [36] S. Günes, H. Neugebauer, and N. S. Sariciftci, “Conjugated polymer-based organic solar cells”, *Chemical Reviews*, vol. 107, no. 4, pp. 1324-1338, 2007.
- [37] W. Chamorro, and S. Urrego, *Celdas solares orgánicas, una perspectiva hacia el futuro*, 2012. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5085362>
- [38] E. Wang, *Solar Energy materials & solar cells*, 2012, vol. 98, pp. 129–145.
- [39] V. Mishurny, and V. Anda, “Celdas solares, aspectos técnicos y económicos”, *Ciencia y Desarrollo*, vol. 33, no. 212, pp. 36-54, 2012.

- [40] M. Aparicio, *Energía solar fotovoltaica, cálculo de una instalación aislada*, Barcelona, España: Marcombo, 2010.
- [41] N. Martín, “Células solares de plástico: Un reto para los nuevos materiales orgánicos del siglo XXI”, *Anales de la Real Sociedad Española de Química*, segunda época, 2001.
- [42] C. Cristina, “Hacia una energía solar más flexible y accesible para todos”, *Técnica Industrial*, 2012.
- [43] O. Octavio, *Células fotovoltaicas orgánicas para una energía verde*, 2006. [Online]. Available: <http://kerchak.com/celulas-fotovoltaicas-organicas-para-una-energia-verde>.
- [44] E. Pérez, and J. Gutiérrez, *Alternative source of renewable energy: Organic solar cells*, 2013.
- [45] R. Moritz, *Optimization of organic tandem solar cells based on small molecules*, 2010.
- [46] I. Bruder, “Organic solar cells: Correlation between molecular structure, morphology and device performance”, PhD Dissertation, Stuttgart University, Stuttgart, Alemania, 2010.
- [47] G. Luis, *Fabricación de celdas solares orgánicas de pequeña molécula y su caracterización mediante mediciones de intensidad de luz variable*, 2012.
- [48] J. Yeraldine, *La electrónica orgánica y la energía fotovoltaica*, 2013. [Online]. Available <http://docplayer.es/9170953-La-electronica-organica-y-la-energia-fotovoltaica-ing-yeraldine-jimenez-r-c-i-12-544-197.html>
- [49] C. Mariano, *Células solares basadas en plásticos semiconductores*, 2011. [Online]. Available: <http://icmab.es/newspapers/1687-celulas-solares-basadas-en-plasticos-semiconductores-mariano-campoy>