

**ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO DE LA CREACIÓN DE UN LABORATORIO DE  
CELDAS SOLARES ORGÁNICAS, PARA LA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE  
ENERGÍAS RENOVABLES A NIVEL UNIVERSITARIO EN COLOMBIA.**

**ALVARO AUGUSTO PEREA OSPINA**

**UNIVERSIDAD ICESI**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**CALI**

**Noviembre 2018**

**ESTUDIO TÉCNICO ECÓNOMICO DE LA CREACIÓN DE UN LABORATORIO DE  
CELDAS SOLARES ORGÁNICAS, PARA LA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE  
ENERGÍAS RENOVABLES A NIVEL UNIVERSITARIO EN COLOMBIA.**

**ALVARO AUGUSTO PEREA OSPINA**

**Proyecto de Grado para optar el título de Ingeniero Industrial**

**Director proyecto**

**CARLOS RONCANCIO**

**UNIVERSIDAD ICESI**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**CALI**

**Noviembre 2018**

## Contenido

<b>GLOSARIO.....</b>	<b>6</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>7</b>
<i>Introducción.....</i>	<i>8</i>
Problema de Investigación.....	9
Contexto.....	9
Formulación de la pregunta de investigación u objeto de estudio.....	10
Justificación o Importancia de la situación objeto de estudio.....	12
<b>Objetivos.....</b>	<b>13</b>
Objetivo del Proyecto.....	13
Objetivos Específicos.....	13
<b>Marco de Referencia.....</b>	<b>14</b>
Antecedentes o Estudios Previos.....	14
Marco Teórico.....	17
<b>Metodología.....</b>	<b>27</b>

<b>Resultados y Análisis.....</b>	<b>28</b>
Diseño del esquema tecnológico para la fabricación de las celdas solares orgánicas.....	28
Determinación de los costos de inversión de la maquinaria necesaria para un laboratorio universitario de producción de celdas solares orgánicas.....	31
Análisis de la competencia de los sistemas fotovoltaicos orgánicos frente a los sistemas fotovoltaicos convencionales para su futura viabilidad comercial.....	41
<b>Conclusiones.....</b>	<b>44</b>
<b>Recomendaciones.....</b>	<b>45</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>46</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>49</b>

## **Lista de Ilustraciones**

Ilustración 1. Curos relacionados con energía en Colombia [30]10

Ilustración 2 Celda solar[2].23

Ilustración 3. Panel solar en la NASA. [19]25

Ilustración 4 Fuente: NREL National Renewable Energy Lab 201727

Ilustración 5. Contribución por equipo al costo total del proyecto41

## GLOSARIO

PV	Photovoltaics
OPV	Organics photovoltaics
Si	Silicio
GaAs	Galio-arsénico
InGaP	Indio-galio-fósforo
InP	Indio-fósforo
Ge	Germanio
CdTe	Telururo de cadmio
TFSC	Thin-film solar cell
CIGS	Cobre indio galio y selenio
InGaSe	Indio-galio-seleniuro

## RESUMEN

El presente trabajo se realiza como prerrequisito para optar al título de Ingeniero Industrial de la Universidad Icesi. El propósito del siguiente trabajo consiste en la formulación de una propuesta para la construcción de un laboratorio I+D para inmersión en espacios académicos entre colegios y Universidades, de celdas solares orgánicas. Para alcanzar este objetivo se han aplicado competencias adquiridas en la carrera de Ingeniería Industrial, algunas de ellas como: investigación de mercados, cadenas de abastecimiento, análisis de costos, procesos termodinámicos, diseño de procesos y medio ambiente.

Se hizo una revisión de este tipo de tecnologías a nivel mundial contemplando Alemania, USA, China entre otros, con un acercamiento a nivel de Colombia, viendo la favorabilidad de producción de celdas solares orgánicas en comparación con las de silicio convencionales, éstas se producen a un menor costo (1:2) y con una tecnología relativamente más simple. Con este trabajo se busca que las Universidades junto con entidades interesadas en la investigación y desarrollo de nuevo conocimiento y personal capacitado para nuevas tecnologías en el sector energético especialmente del sur occidente colombiano, puedan hacer uso de esta tecnología.

Como resultado del análisis técnico económico se espera conocer el presupuesto para la elaboración del laboratorio.

**Palabras claves:** Celdas solares orgánicas, Energía renovable, Laboratorio de celdas solares, paneles solares.

## *Introducción*

El cambio climático es una de las principales preocupaciones actuales, las propuestas para mitigar dicho problema se encuentran referenciadas a la forma de obtener energía, no mediante la combustión fósil sino, con energías renovables. (Moriarty & Honnery, 2018). Una de ellas es la energía solar, la cual utiliza paneles fotovoltaicos para convertir la energía emitida por el sol en energía eléctrica (Checa, Rosero, & De La Cruz, 2016). Dichos paneles están constituidos por materiales semiconductores, tales como el silicio, multijunturas, películas delgadas de silicio, aleaciones de metaloides y celdas emergentes por capas (NREL, 2017). Estas últimas, indispensables para la generación de electricidad, pero con escasa producción nacional en Colombia, menos del 4%. (Rodríguez-Urrego & Rodríguez-Urrego, 2018).

En el presente texto se estudiará, técnica y económicamente, la creación de un laboratorio de celdas solares orgánicas para la investigación y desarrollo de energías no convencionales a nivel universitario en Colombia. Esto, con el fin de aportar al posicionamiento de la Universidad Icesi en la región. Además de abrir un nuevo mercado y generar más visiones alternas de producción de energía, que ayuden a solventar el problema de interconexión eléctrica en hogares donde es imposible ofrecer electricidad mediante cableado.

Ahora bien, con el fin de aportar al posicionamiento de la Universidad Icesi en la región, abrir un nuevo mercado y generar más visiones alternas de producción de energía, en el presente trabajo se estudiará, técnica y económicamente, la creación de un laboratorio de celdas solares orgánicas para la investigación y desarrollo de energías no convencionales a nivel universitario en Colombia, que ayuden a solventar el problema de interconexión eléctrica en hogares donde es imposible ofrecer electricidad mediante cableado.



## **Problema de Investigación**

### **Contexto**

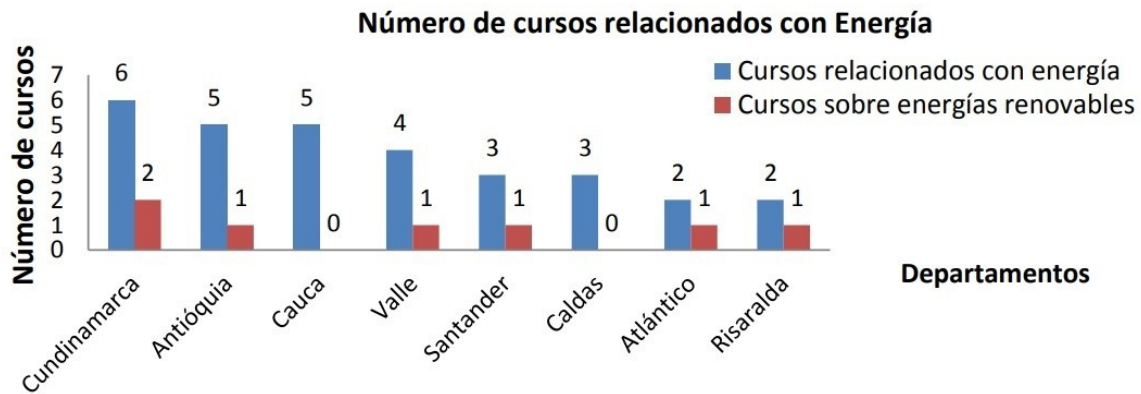
Como efecto del calentamiento global y el uso excesivo del petróleo para diversos fines, se viene dando una desenfadada contaminación que conlleva a un desabastecimiento significativo de los recursos naturales mundiales. Por tanto, es de suma importancia la búsqueda de una solución efectiva y eficiente que resulte en una producción energética sin contaminación, de calidad y mediante la fabricación de celdas solares.

Hace veinte años, los únicos métodos de producción de energía en Colombia eran combustibles fósiles e hidroeléctricas. Hoy en día, si bien todavía se encuentra dichos métodos en vigencia, existen opciones alternativas que permiten una producción más limpia. Por su parte, el Estado colombiano posee conocimiento de dichas opciones y por tal motivo ha creado la ley 1715 de 2014, la cual incentiva tributaria, arancelaria y contablemente la participación empresarial y particular la implementación de energías alternativas: eólica, geotérmica, mareomotriz, undimotriz, la biomasa o los biocarburantes y la energía solar. Esta última, objeto de investigación y de pocos precedentes en Colombia, requiere una evaluación en términos de viabilidad con el objetivo de examinar las posibilidades de reproducción e implementación en el país.

## Formulación de la pregunta de investigación u objeto de estudio

Según (Meneses y Rodriguez 2013), en Colombia sólo existían siete cursos teóricos Universitarios de pregrado y maestría relacionados con energía Ilustración 1, de los cuales aproximadamente solo una quinta parte de ellos aludía a energías renovables en todo el territorio colombiano; es decir, existe una escasez de oferta académica por parte de las Universidades en temas de investigación para el desarrollo de soluciones en temas referenciados a las energías no convencionales y su impacto mundial.

Ilustración 1. Cursos relacionados con energía en Colombia (Meneses & Rodríguez, 2013)



En Colombia, hasta el año 2015, se mantuvo un número bajo de ofertas académicas ofrecidas por Universidades con el fin de brindar cursos relacionados con energías no convencionales. A excepción de las Universidades Nacional y Antioquia, no existen espacios dedicados a la elaboración de celdas solares orgánicas en la región. Por tanto, es recurrente que los estudiantes egresados de pregrados en múltiples disciplinas en Colombia no presenten competencias intelectuales ni prácticas en estos temas.

Ahora bien, después de haber realizado una revisión del pensum de la Universidad Icesi correspondiente a los programas de biología e Ingenierías en general, se encontró que estas no poseen materias que promuevan la investigación y desarrollo de energías no convencionales y mucho menos, de un laboratorio donde los estudiantes puedan de manera práctica ejercer el conocimiento de las nuevas tecnologías de producción de energías limpias como las celdas solares, orgánicas o inorgánicas.

Según Méndez y Rivera (2015), hasta el 2015 las empresas de la región estaban sumamente interesadas en la implementación de la absorción de energía solar, pues el 73% de las empresas manufactureras tienen en marcha proyectos de esta índole en las cuales el rubro de energía representa del 61% al 80% de sus gastos totales. Las anteriores cifras además de ser altas, pueden brindar una oportunidad para la competencia educativa, laboral y productiva para el desarrollo de la región.

A partir de lo anterior, se hace pertinente preguntarse: ¿Es técnica y económicamente viable implementar un laboratorio de celdas solares orgánicas en la Universidad Icesi?

## **Justificación o Importancia de la situación objeto de estudio**

La importancia de las celdas solares radica alrededor de las implicaciones prácticas en la medida en que se vea evidenciado el intento de alinear las competencias de las Universidades del suroccidente colombiano con las de talla mundial en áreas de investigación y desarrollo de nuevas tendencias en energías no convencionales. Por su parte, generará posibilidades de nuevos intercambios estudiantiles con Universidades del exterior afines al tema, conexiones entre entidades pares, vinculación de las Universidades de la región al apoyo y trabajo en común por la investigación conjunta. Y, por último, un acercamiento a la implementación de tecnologías emergentes en empresas de la región vallecaucana interesadas en aplicar módulos de celdas solares buscando beneficio de reducción de costos empresariales, y, de manera simultánea, ayudando al medio ambiente en temas de contaminación auditiva y polución.

A partir de lo anterior, y a partir de la experiencia teórica y práctica vivida por el autor en el 2017 en los laboratorios del Energy Campus de la Universidad Friedrich Alexander en Nurnberg-Alemania y con ayuda de la empresa privada IMEET (Institute Materials for Electronics and Energy technology) de la misma ciudad, se ha decidido crear el proyecto de estudiar técnica y económicamente la creación de un laboratorio de celdas solares orgánicas para la investigación y desarrollo de energías renovables a nivel universitario en Colombia. Como objeto de estudio, se pretende capacitar en primera instancia los estudiantes de la Universidad Icesi y vincularlos a empresas interesadas en tener personal capacitado en los temas de energía solar.

Alemania es uno de los países que mayor número de investigaciones ha realizado sobre el uso de la energía solar con 290 patentes en 2010 (Aguasalientes et al., 2017). El área de las celdas solares orgánicas tiene como máximo exponente desde 2009 al Prof. Dr. Christoph J. Brabec, que a la fecha adelanta investigaciones en el desarrollo de OPV (organics photovoltaics)

con el reconocido IMEET de la mano de la Universidad Friedrich Alexander, con un enfoque de investigación en materiales electrónicos y tecnología energética.

Teniendo en cuenta lo anterior, se hace pertinente crear un laboratorio donde se produzcan celdas solares orgánicas e incursionar en el tema de energías no convencionales, lo cual es importante para Colombia y, en particular, el sur occidente colombiano, debido a que integra las Universidades de la región con empresas interesadas en el conocimiento y aplicación de la energía solar. Así como, la incentivación para la investigación y desarrollo de un laboratorio de producción de las celdas solares que traiga consigo ventajas como la posibilidad de realización de prácticas de exploración y producción de energías no convencionales, creación de empresas y la reducción de gastos energéticos.

## **Objetivos**

### **Objetivo del Proyecto**

Realizar un estudio técnico económico a nivel conceptual de la creación de un laboratorio de celdas solares orgánicas, para la investigación y desarrollo de energías no convencionales a nivel universitario en Colombia.

### **Objetivos Específicos**

Bajo el estudio realizado en el anterior planteamiento, y como objetivos específicos en este proyecto de grado se pretende alcanzar 3 metas tangibles.

1. Diseñar el esquema tecnológico para la fabricación de las celdas solares orgánicas.
2. Determinar los costos de inversión de la maquinaria necesaria para crear un laboratorio universitario de producción de celdas solares orgánicas.

3. Analizar la competencia de los sistemas fotovoltaicos orgánicos frente a los sistemas fotovoltaicos convencionales para su futura viabilidad comercial.

## **Marco de Referencia**

### **Antecedentes o Estudios Previos**

En 1838, el francés Alexandre Edmond demostró con sus estudios que la corriente podía subir uno por uno de los electrodos si se tenía una pila de platino expuesta al sol y su efecto fue denominado, efecto fotovoltaico (Peña, 2015). Ahora bien, en sólidos como el selenio se descubrió tal efecto en 1873 pero, en 1877 en la King college de Londres, el profesor de filosofía natural William Grylls, con la ayuda de algunos de sus alumnos, probó que el flujo eléctrico se creaba a través de la incidencia de la luz sobre el selenio. Y, por último, Charles Fritts pudo construir la primera celda solar con un alcance de eficiencia del 1% por medio de semiconductores como el selenio y una delgada capa de oro (Murcia, 2009).

Las celdas de silicio de hoy fueron construidas en 1940, patentadas por el señor Russel en 1946, en los laboratorios Bells donde descubre que el silicio tiene gran sensibilidad a la luz, mediante un experimento en el que utilizó materiales con impurezas, para desarrollar de este modo una celda con un 6% aproximadamente de eficiencia (María, Jaramillo, De, & Ingeniero, 2017).

La energía solar es considerada un recurso natural inagotable, renovable y con poca incidencia negativa ambientalmente hablando. Por el contrario, su variabilidad hace que sea poco predecible dados los cambios climáticos, lo que la convierte en un recurso incontrolable y con baja densidad de potencia (Méndez Nieto & Rivera Aragón, 2015). Su uso inicia a mediados del siglo xx, en Santa Marta, cuando se instalaron calentadores solares en las casas de los empleados, aunque actualmente no se usan. Así es como inicialmente se le dio uso a la energía solar en Colombia; transformándola posteriormente para el calentamiento del agua y a menor escala generando electricidad.

A raíz de la crisis del petróleo en el año 1973, las instituciones universitarias de Colombia se vieron obligadas a generar proyectos de investigación donde se involucrará la energía solar como fuente de calor proponiendo la instalación de calentadores solares en los sitios de mayor necesidad como hospitales, cafeterías hoteles, entre otros. En estos proyectos participaron instituciones como la Universidad de los Andes, Universidad Nacional, Universidad del Valle y fundaciones como el centro de las Gaviotas. La población se dio cuenta que este método de calentamiento de agua estaba cubriendo las necesidades del momento y era costo efectivo, por lo que fue adoptado de manera masiva en urbanizaciones en las ciudades de Bogotá y Medellín, conventos y cadenas hoteleras como el Dann, por mencionar algunos. El centro “las gaviotas” fueron los primeros fabricantes dichos calentadores, pero después, se involucraron varias compañías nacionales en su fabricación e instalación.

A finales de los años 80’, el uso de la energía solar en los calentadores tuvo una fuerte aceptación y acogida a tal punto que llegó al currículo del programa de energía de la Universidad del Atlántico, quienes introdujeron dichos calefactores en el territorio. Creando un campo experimental, donde si bien iniciaron estudios que determinaron la eficiencia real de dichos sistemas, se creó las normas del artefacto que, hasta el día de hoy, continúan siendo estudiadas y parametrizadas por el instituto de técnicas y normas técnicas ICONTEC quienes son los creadores de las normas existentes en el país sobre este tema (Murcia, 2009).

La generación de electricidad con energía solar por medio de sistemas fotovoltaicos ocurre en Colombia en los años 80, cuando telecom decide instalar radioteléfonos rurales, pequeños generadores fotovoltaicos, esto lo realiza con ayuda de la Universidad Nacional, generando de esta manera que otras operadoras de telecomunicaciones lo implementaran también. Actualmente se conoce el uso de sistemas solares en repetidoras de microondas boyas, bases militares, entre otras. El costo para el uso de la energía solar como generador de



electricidad es un tema que no se puede dejar de discutir siempre, reconociendo que se habla de un recurso que es altamente costoso comparado con los métodos convencionales, por ejemplo, el vatio producido por centrales convencionales ronda los 50 céntimos de dólar mientras que el vatio producido por un panel solar es de aproximadamente 300 dólares, razón por la que se ha limitado el uso de esta tecnología de manera masiva (Peña, 2015).

En Colombia varias instituciones se han interesado por el estudio e investigación de esta tecnología. En 1982 Colciencias contaba con grupos de investigación en FENR (Fuentes de Energía Nuevas y Renovables) quienes trabajaron en diferentes tipos de colectores solares, películas y materiales, sistemas de almacenamiento de calor en forma sensible y latente, Ingeniería de grandes sistemas de calentamiento, secados y destilación solar.

La Universidad Nacional ha presentado gran interés y empeño en el tema, llegando a ser pionera en la investigación de las celdas solares. El desarrollo de celdas de CdS y la Ingeniería de los sistemas fotovoltaicos; también crea un postgrado en energía solar, el cual ha ido tomando enfoques en celdas solares y sistemas fotovoltaicos.

Su gran interés radica en la concientización del uso de un sistema ecológico y la pronta escasez de hidrocarburos, encontrándose en su gran trayectoria con la limitante económica pues no existe un apoyo gubernamental para el estudio, experimentación sobre estas tecnologías, basándose en que la inversión para un laboratorio es el doble de lo actualmente usado en una planta convencional y la recuperación del dinero invertido es a muy largo plazo, resultando poco atractivo para el sistema financiero y para los inversionistas(Murcia, 2009).

En el año 2003, se construyó una celda solar que logró generar electricidad para algunos instrumentos usados dentro del laboratorio; esta celda aún se encuentra ubicada en la azotea del departamento de física de la Universidad Nacional aunque, con escasez de recursos para mantenerla en pie. En esta misma línea, se han animado diferentes empresas del sector privado e

inversionistas a importar dichos paneles sin tener un estudio previo, lo que ha resultado en una ineficiencia en términos de calidad en la mayoría de los equipos adquiridos (“Las celdas solares colombianas,” 2013)

La Universidad de Antioquia se ha interesado por las celdas solares y los sistemas fotovoltaicos creando un laboratorio dedicado a la investigación y creación de estas en un material liviano; motivados principalmente por la importación de los paneles de silicio que tienen un alto costo. La Universidad de Antioquia cuenta ahora con un gran equipo de investigación y un primer módulo Prototipado de celda solar con capacidad de 4 voltios, teniendo como objetivo la expansión y la alta producción de celdas solares, de lograr estos objetivos serían los primeros en crear y comercializar celdas solares colombianas. (H13N Hora 13, 2017)

A lo largo de la historia se ha visto que Colombia se han realizado algunos esfuerzos por conseguir avances en los sistemas de energía solar, los cuales continúan siendo muy mínimos, debido al reto que representa desprenderse de los sistemas convencionales y de bajo costo como por ejemplo el gas natural, además del tiempo perdido, debido a que desde los años 80 se han desarrollado tecnologías y equipos que causan sorpresa y admiración quedándose estancados y sin ser comparables ni competitivos frente a los desarrollados en otras naciones.

### **Marco Teórico**

Con el objetivo de abordar el marco teórico de este proyecto se deben tener en cuenta los siguientes 3 conceptos: energías renovables, energía solar, Laboratorio I + D.

## **Energías Renovables**

Se habla de energías renovables cuando se extrae energía de fuentes casi inagotables, tratando de mostrar a la energía como cuasi infinita de fuentes naturales que se renuevan por sus propios medios; las energías alternativas son todas las fuentes de energía que no quemar combustibles del tipo fósiles como el petróleo, carbón, y gas.

Un ejemplo de estos procesos son las plantas, las cuales tienen la capacidad del aprovechamiento directo de la energía del sol para crear sus tejidos por medio de la fotosíntesis y la autonomía de absorber de la naturaleza los suministros necesarios para su sostenimiento alimenticio y la supervivencia de sí mismas como seres vivos, haciendo de estos suministros un uso apropiado para su mismo consumo y generando una transformación de la materia en lípidos provenientes de las semillas de girasol, también ácidos grasos los cuales poseen ésteres de glicerina y sirven como reserva energética. Si a estos lípidos y ácidos grasos se les aplican procesos industriales como que sintetizan un éster o su igual condensar un ácido carboxílico con un alcohol) resultan líquidos con altos contenidos energéticos llamados biodiesel, que hoy en día pueden sustituir total o parcialmente el petróleo.

El biodiesel puede ser utilizado solo como combustible obteniendo así una notación de B100 siendo el 100% de líquido biodiesel a usar y en diferentes mezclas de biodiesel como B30 o B50 siendo el número respectivamente al porcentaje de biodiesel mezclado para el combustible hecho. Ésta energía proveniente de los productos biodegradables como las plantas, tejido adiposo de animales y animales en sí se denomina biomasa.

En la sociedad actual se tiene como sistema habitual desechar o tirar como desperdicio los residuos orgánicos provenientes de las actividades cotidianas, produciendo grandes cantidades de desechos, los cuales después del reposo y afectados por el tiempo, tiene como resultado la putrefacción del mismo que a su vez produce grandes cantidades de gases altamente

tóxicos e inflamables. Usando estos gases en otras formas de generar energías no convencionales provenientes de la biomasa, por ejemplo, el biogás se obtiene por el combustible gaseoso hecho a partir de la biomasa y los fragmentos de residuos ya descompuestos o en proceso de descomposición.

El exceso de gas metano y otros gases que se producen en pequeñas cantidades como el hidrógeno, nitrógeno, y en ausencia del oxígeno, los cuales después de pasar por varios procesos de purificación pueden llegar a ser semejantes al del gas natural (proveniente del carbón o petróleo sepultado en la tierra) siendo ésta una de las energías renovables más aplicativas para la producción de energía eléctrica debido a la gran cantidad de residuos biodegradables que se generan día a día en toda la población (Benedek, Sebestyén, & Bartók, 2018).

### **Energía hidroeléctrica**

Por su parte la energía hidroeléctrica, la cual está referenciada al uso del agua y la gravedad utilizando la energía cinética y potencial como herramienta para la generación de dicha energía mediante la creación de cuencas y grandes balsas, artificiales o naturales, que generen control de la dirección del agua para la producción de energía hidroeléctrica. Su proceso de obtención energética se obtiene a partir de la caída del agua sobre una turbina que mueve las paletas en forma de molino haciéndolas girar mediante un trabajo de movimiento rotatorio, haciendo girar internamente un alternador que es el que transforma la energía rotacional en energía eléctrica.

### **Energía geotérmica**

La energía geotérmica es una de las fuentes de energía no convencional, menos conocida aunque sus efectos son significativos, ya que aprovecha el calor bajo la superficie terrestre para climatizar y producir agua caliente sanitaria de forma ecológica, obtiene el calor del subsuelo por

medio de bombas de calor geotérmicas que ceden o extraen calor según se necesite, si es invierno se calienta el agua y si es verano se enfría, todo esto a través de paneles enterrados en el subsuelo, los cuales contienen agua con glicol; estos se han utilizado constantemente para crear aguas termales en sitios turísticos, dicho recurso es altamente eficiente permitiendo ser aplicable en hospitales, fábricas, oficinas, y viviendas. Además es un sistema que permite ahorro de energía emisión de CO<sub>2</sub> (Miranda-Barbosa, Sigfússon, Carlsson, & Tzimas, 2017).

## **Energía eólica**

La energía eólica se genera a partir de una fuente inagotable, que ocupa poco espacio a diferencia de otras, ocupando menos terreno y con la posibilidad de revertirse y recuperar fácilmente el área ocupada, es de bajo costo pero está condicionado por las condiciones climáticas lo cual hace imposible calcular el tiempo de recuperación de la inversión en estos sistemas (Tejeda & Ferreira, 2014).

Hace parte de las fuentes de energía no convencionales, la cual se genera a través de la fuerza del viento que genera electricidad. Para esto es necesario aerogeneradores o comúnmente conocidos como molinos de viento, el polo puede ser instalado en tierra firme o suelo marino, debido a que transforman con sus aspas la energía cinética del viento en energía mecánica. Algunas características más destacadas es que pueden producir energía de manera individual y trabajando en grupos, complejos o campos eólicos. Esta hace parte de las fuentes de energía limpia, debido a que no produce gases tóxicos; sin embargo, puede afectar de otras maneras como por ejemplo por la altura de las turbinas de viento no son estéticas para lugares montañosos o de hermosos paisajes y se ha evidenciado que a causa de su gran velocidad casi los 70 km por hora las aves rapaces no son capaces de visualizar las cuchillas chocando con estas.

## **Energía undimotriz**

La energía undimotriz es aquella que se obtiene de la oscilación de las olas, estas son altamente sostenibles y de fácil acceso. El efecto del viento sobre la superficie de los mares puede generar energía totalmente limpia y sin emisiones de CO<sub>2</sub>. A través del tiempo y con un amplio estudio se han logrado desarrollar varias tecnologías para está, la primera se compone de cilindros flotantes, su movimiento es recibido por articulaciones hidráulicas que bombean aceite de alta presión a los acumuladores, las boyas requieren una ola de gran volumen para desplazar un pistón para que el aire suba o baje haciendo girar una turbina, y la oyster, la cual es una máquina anclada al fondo del mar aproximadamente a 10 metros por debajo de la superficie basculando como un péndulo el movimiento del mar. Las ventajas de la energía undimotriz es que puede ser utilizada en la superficie o en el fondo del mar, el agua es mayor generador de energía a diferencia de otros elementos, pudiendo utilizar máquinas más pequeñas y el mantenimiento de las estaciones requieren un mantenimiento mínimo.

## **Energía mareomotriz**

La energía mareomotriz se confunde con la undimotriz; sin embargo, esta se basa en el movimiento de las mareas, es decir ascenso y descenso de agua, requiriendo tecnología diferente. Esta es irregular y se debe tener muy claro que una estación debe instalarse donde la diferencia de la mar alta y baja sea de más de 5 metros de altura. Este sistema puede usarse en cualquier sitio de agua no solo en el mar como por ejemplo una cala, rio, bahía pues requiere un embalse con compuertas que permita la entrada de agua y accione las turbinas (Fernández, 2008).

## Energía solar

La energía solar es una de las fuentes de energía no convencional más abundantes obtenidas a través de la naturaleza, pues no se acabará hasta un futuro muy lejano. La investigación y desarrollo de los paneles solares hoy en día está avanzando de manera significativa, la tecnología de paneles en tándem han sido la renovación de la cultura energética solar aprovechando al doble los rayos solares para el uso de nuestros aparatos electrónicos.

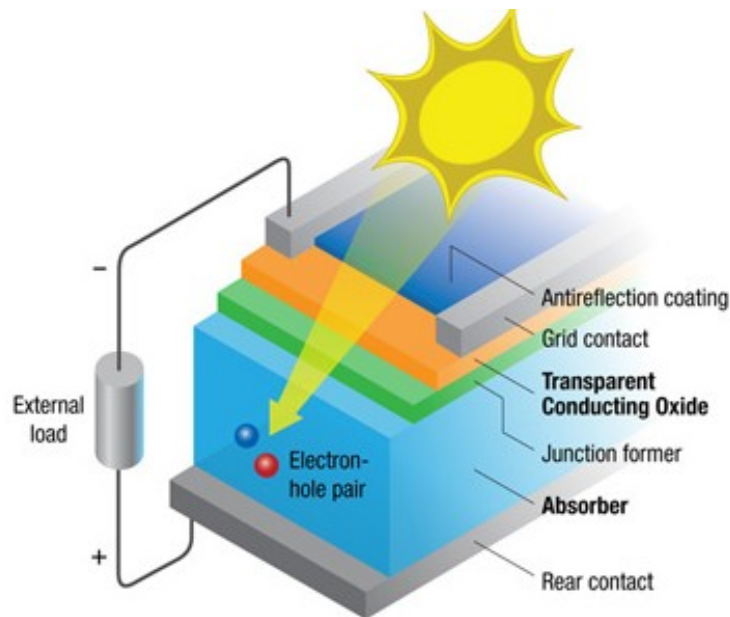


Ilustración 2 Celda solar(NREL, 2017).

Una celda solar se compone de 4 capas conductoras: la primera como base cargada positivamente, seguida de una capa que desprende los electrones, posteriormente viene la capa activadora y finalmente una capa la conductora de electrones cargada negativamente, por último, se conecta el cableado para cerrar el circuito. Este proceso funciona cuando al entrar el rayo de

luz solar (fotones) excitan los electrones de la capa de activación (de silicio u orgánicos), los electrones se desplazan atraídos por la capa conductora negativa (la superior), los neutrones y protones se desplazan hacia la carga positiva la de la base, creando así una diferencia de potencial, cuando se conectan a través del cableado se obtiene corriente eléctrica continua y se utiliza un conversor para suministrar la corriente alterna a la red eléctrica del hogar. Existen cuatro grupos de paneles solares vigentes al 2018 los de Silicio, Multijunturas, películas delgadas, y los emergentes photovoltaics (NREL, 2014).

Los primeros y más antiguos son los paneles solares de Si (silicio). Este es un material no metal con propiedades conductoras y el segundo más abundante en el planeta tierra después del oxígeno. Se encuentra en la arena y está compuesto por partículas cristalinas, que poseen un difícil manejo. Para poder transformarlo en un componente que haga parte de un panel solar, debe ser expuesto a altas temperaturas por encima de los 1200 grados centígrados. Para esto, es necesario una infraestructura industrial de calderas resistentes a altas temperaturas, que puedan albergar grandes cantidades de material debido al tema de costos.

Hoy en día los paneles solares de silicio predominan el mercado con la máxima participación en la comercialización de estos en hogares y empresas a nivel mundial; la técnica de absorción de energía del sol a partir de paneles solares de silicio es la más antigua entre las existentes; sin embargo, no es la más efectiva ni económica, tiene un 25% de efectividad en absorber energía solar y un tiempo de vida útil aproximadamente de 25 años como máximo, su costo de producción es elevado, difícil de manipular, delicados para el ensamblar, tienen un peso considerable y deben estar de preferencia fijos en áreas abiertas con un ángulo específico para su mayor aprovechamiento a la hora de absorber energía solar (Dang, Labie, Simoen, & Poortmans, 2018).



Los paneles solares de Multijunturas, tienen el aprovechamiento de espectro solar más amplio y consiste en colocar varias capas de silicio en aleación con diferentes materiales, una sobre otra, cada capa debe tener una composición química y una aleación metálica diferente que absorbe una frecuencia de onda diferente a su anterior; para lograr captar en mayor uso el espectro de luz que emiten los rayos solares se utilizan materiales como GaAs (galio-arsénico), InGap (Indio-Galio-fosforo), Ge (germanio), entre otros. Al tener más capas de silicio su costo se eleva equitativamente el número de capas, actualmente hay paneles solares Multijunturas de 2, 3 y hasta 4 capas de silicio en diferentes composiciones dando como máximo aprovechamiento del sol un 46% de efectividad en la energía solar. Estos paneles solares son los que se utilizan en la mayoría de las estaciones espaciales, tienen un tiempo de vida máximo de 15 años en exposición solar fuera de la capa de ozono(Khan & Farzana, 2013).



**Ilustración 3. Panel solar en la NASA. (Loff, 2015)**

Los paneles solares de películas delgadas o TFSC (thin-film solar cell) se encuentran compuestos en gran parte de materiales metálicos y aleaciones de metaloides en fracciones realmente muy pequeñas, por lo que son medidas con nanómetros, materiales comúnmente como el CdTe (Teluro de Cadmio) el más común de las películas delgadas, también tienen composición de (InGaSe) indio-galio-seleniuro los cuales son semiconductores, es decir, pueden conducir electricidad con facilidad por su condición de metal y se utilizan como ventanas ópticas para que los paneles solares reciban espectros de luz diferentes al silicio y sus mezclas, se han realizado varios estudios en la historia a partir los años 80, logrando bondades como poder manipularse en menor riesgo, siendo manejables a la hora de pliegues y desplazamientos en espacios más reducidos; estos se pueden implementar en fachadas de edificios y en los tejados de los edificios. Estas celdas solares de películas delgadas lograron arrojar una eficiencia alrededor de 20.9% en laboratorios con una real eficiencia en un módulo real de 13.8% bajo las condiciones reales de atmósfera y radiación solar, y el tiempo de vida oscila entre los 12 años de vida útil. (NREL. 2017)

Por último, tenemos los emergentes PV (photovoltaics) los cuales nacen como tecnología aplicada apoyándose de las 3 anteriores a inicios del año 2001, el grupo al que pertenece nuestro objeto de interés, las celdas solares orgánicas (OPV), junto con el estudio de construcción de un laboratorio que permita desarrollar conocimiento frente a la tecnología (OPV) y la posibilidad de interactuar en la elaboración de celdas solares para su implementación y análisis de mejoría.

Las celdas solares orgánicas cuentan con el beneficio de poder ser creadas a partir de productos orgánicos en la capa activadora intermedia de electrones libres, lo que le da un valor agregado al qué hacer con esos residuos orgánicos que desechamos (Kumavat, Sonar, & Dalal, 2017). Aunque todavía se encuentran en planteamiento de estudio no muy avanzado, se quieren usar plantas y organismos vivos auto regenerativos como las bacterias que usufructúan del sol dando un beneficio.

## Best Research-Cell Efficiencies

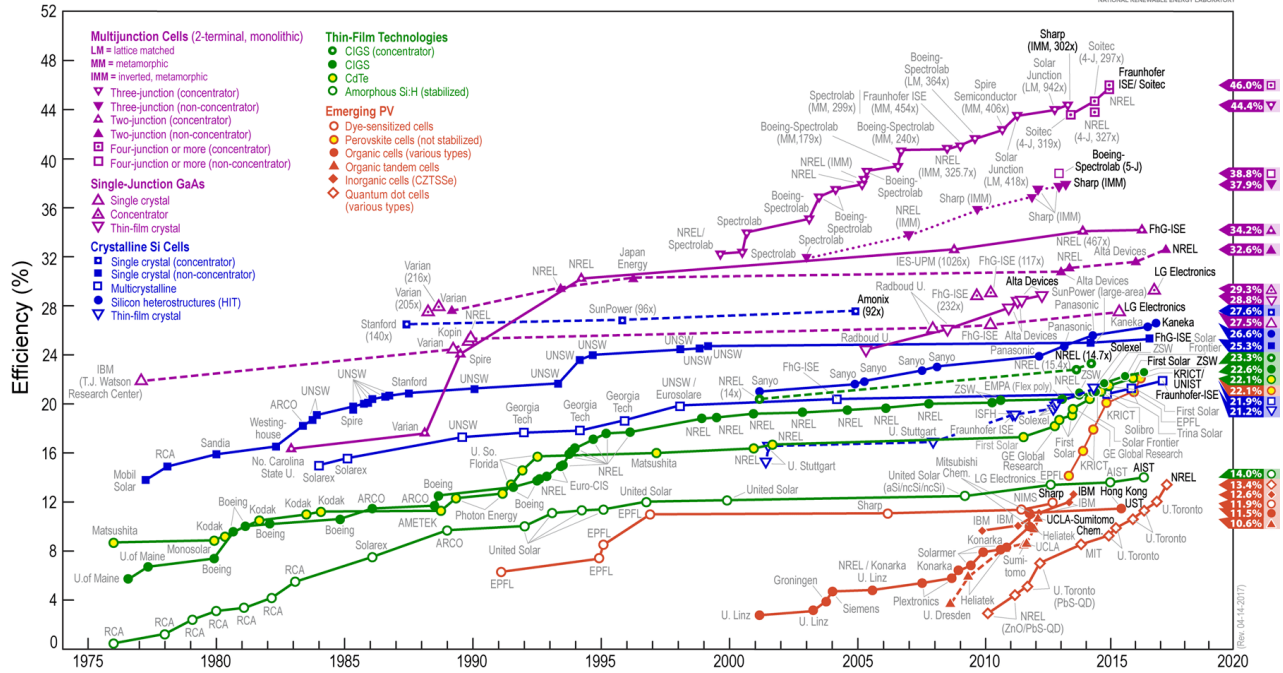


Ilustración 4 Tipos de tecnologías solares. Fuente: NREL National Renewable Energy Lab 2017

## Laboratorios de I+D

Son el área especializada en la realización de pruebas y experimentos para determinar resultados de índole variable. Estas zonas deben estar debidamente equipadas para lograr estos fines, deben estar en un ambiente controlado para que el mencionado análisis no se vea alterado y se puedan determinar de manera certera los hallazgos ahí encontrados.

La importancia de este espacio será determinante en la idea planteada en el texto puesto que con esta se va a establecer los parámetros de la idea central; un laboratorio en general cuenta con equipos para determinar análisis y pruebas, debe estar totalmente libres de agentes contaminantes al entorno controlado dentro de estas instalaciones y ser totalmente hermético al

punto de no ser afectado por las vibraciones, sonido, humedad y polvo o contaminantes orgánicos(Camilo Andrés Otalora Bastidas, 2013).

### **Contribución Intelectual o Impacto del Proyecto**

Este proyecto busca desarrollar un estudio técnico - económico de la creación de un laboratorio que se dedique a la investigación y desarrollo de celdas solares orgánicas, con el fin de brindar a la Universidad Icesi y a la región del valle del cauca la posibilidad de capacitar a los estudiantes de pregrado en conocimientos técnicos y prácticos, en el análisis y elaboración de celdas solares orgánicas.

También busca acercar a la Universidad Icesi al temario de las energías renovables, debido a que puede existir la posibilidad de que las empresas de la región requieran personal capacitado en la implementación, toma de decisiones, elaboración, mantenimiento, y conocimiento en la ubicación de los paneles solares. en caso de que el proyecto propuesto en este estudio se realice, uno de los impactos positivos es el posicionamiento de la Universidad Icesi en los espacios internacionales involucrados en el desarrollo y uso de energías renovables en particular la energía solar.

### **Metodología**

- I. Revisión de bibliografía especializada.
- II. Creación de un listado de costos de inversión de la maquinaria necesaria para la producción de celdas solares orgánicas.
- III. Desarrollo de la cadena de compra para los equipos principales necesarios para la consecución de un laboratorio de celdas solares orgánicas.

- IV. Diseñar cuadro comparativo entre celdas solares orgánicas y celdas solares convencionales.
- V. Escritura de documento final.

## **Resultados y Análisis**

### **Diseño del esquema tecnológico para la fabricación de las celdas solares orgánicas.**

El siguiente procedimiento está basado en la experiencia vivida por el autor en el laboratorio de ZAE Bayern en Núremberg Alemania bajo el instituto iMeet usando la técnica de Dr Blanding.

Una celda solar orgánica se compone generalmente de 4 capas: una puesta sobre la otra. El número de capas puede variar según los materiales que se estén investigando y la tecnología que se implemente.

La primera capa o base inferior es una capa de óxido de zinc que forma una tensión superficial de metal aislado y protegido de la corrosión. En la segunda capa tipo P o donadora, se agregan soluciones de materiales orgánicos como PEDOT (sulfonato de poliestireno de sodio, polímero capaz de cargarse positivamente) que, por reacción con los fotones emitidos por el sol, desprenden un electrón de su composición atómica creando un enlace iónico de su estado molecular quedando cargados positivo eléctricamente. Los electrones libres se desplazan hacia arriba de la capa N buscando equilibrar la carga eléctrica y creando así, una diferencia de potencial. La tercera capa tipo N o activadora se compone de materiales como fullerenos nominados PC60 junto con el P3HT poli (3-hexiltiofeno).

La cuarta capa esta referenciado a una capa metálica transparente y conductora, que se encuentra por encima de la capa tipo N. Se forma agregando una solución de agua con nanotubos de plata o por sus siglas en inglés (AgNW). Esta última capa atrae los electrones hacia la

superficie quedando cargada negativamente, para posteriormente cerrar el circuito por donde viajan los electrones lo que se define como, corriente eléctrica usando la diferencia de potencial entre capas base y superior. El movimiento de electrones en la celda es el que transforma la energía de los fotones en energía eléctrica.

Para poder atrapar esta energía eléctrica y llevarla algún artículo que use corriente eléctrica, se incrusta sobre la celda un carril metálico conductor como por ejemplo de estaño, o aluminio para que por este viaje el mayor número de electrones (corriente eléctrica), luego se conectan dos cables metálicos conduciendo las cargas positiva y negativa para cerrar el circuito y con esto alimentar el aparato electrónico.

### **Procedimiento para hacer una celda solar orgánica dentro de un laboratorio I+D Universitario.**

Para la creación de una celda solar orgánica: primero, se preparan las cuatro soluciones para las capas conforme a su orden: La capa conductora base de ZnO, la capa donadora con base de Pedot, la capa activa con base de PCBM y P3HT y la capa superior también conductora.

Para hacer la primera capa se prepara el Óxido de Zinc con el solvente y se deja calentar en el agitador magnético. Segundo, se mezclan el PCMB junto con el P3HT y un disolvente como por ejemplo isopropanol, para subir la temperatura y agitarlos usualmente se dejan en reposo sobre un agitador magnético a 50°. De la misma manera se prepara la solución con los nanotubos de plata (AgNW) que se dejan reposar en el mismo agitador magnético a 50 °C. Por otra parte, el PEDOT se mezcla con alcohol isopropílico y se deja por una hora en el baño de ultrasonido.

Se usa como base una plataforma plana y caliente a 50 °C aproximadamente para sostener la temperatura de la solución, luego por medio de la técnica de Dr. Blanding (aplicador

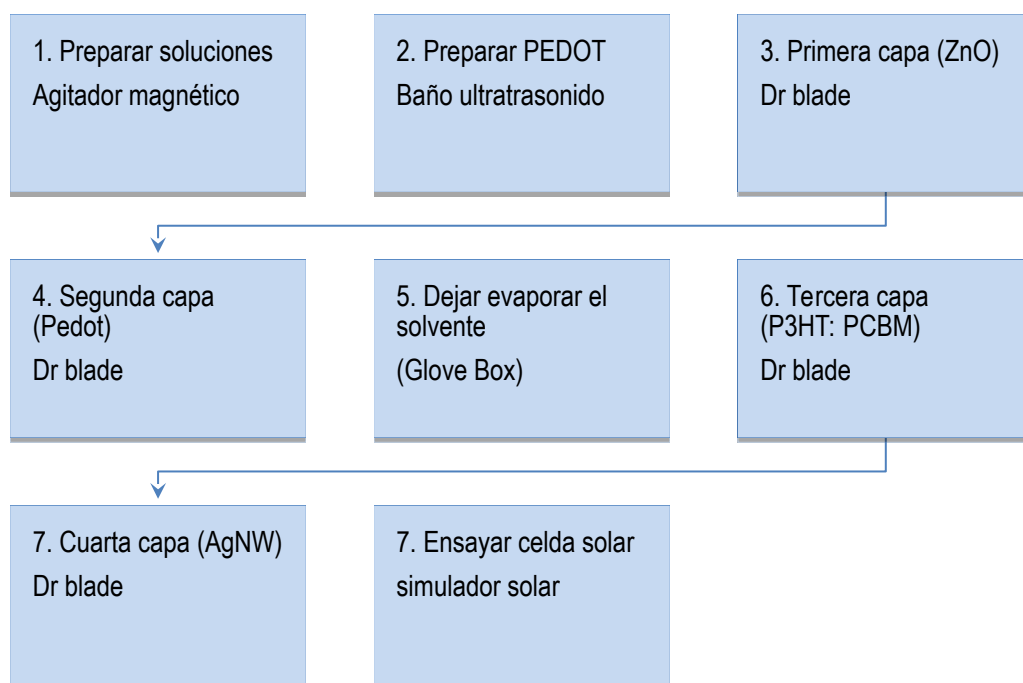
de películas delgadas) se aplica la 1ra capa de electrodos transparentes compuesta por ZnO o también ITO sobre el acetato, se deja evaporar el solvente en el que fue disuelto, y para esto se pone sobre una plancha caliente a 80° C, se repite el procedimiento anterior para la segunda capa pero esta vez usando la solución de Pedot. Luego de aplicar la capa de Pedot, se introduce la celda a la cámara extractora de gases (Glove box) con el fin de calentar la celda sobre una plancha caliente a 80°C y evaporar el solvente de la segunda capa, para que se adhiera a los orgánicos de la primera capa, lo que genera mejor contacto entre las capas y finalmente mejor conducción de los electrones libres.

Para la tercera capa, se repite el procedimiento de la segunda, usando los orgánicos activadores P3HT junto con el PCBM, de igual manera se introduce en la cámara extractora de gases, y se deja sobre una plancha caliente a 80°C para evaporar el solvente creando una capa entre el donador y el activador llamada *Bulk heterojunction* (Liu, Zhang, Li, & Gao, 2018) (Tanno, Miyashita, Yoshida, Suzuki, & Hirose, 2015) creando los portadores de carga lo que guía los electrones hacia la parte superior.

La cuarta capa, hecha con nanotubos de plata (AgNW) se aplica repitiendo los procedimientos de la primera capa, luego de se deja evaporar el solvente sobre la plancha caliente a 80°C en exterior. Después de haber culminado la etapa de aplicación de capas, se adicionan los carriles conductores con metales livianos como estaño o en su mayoría de casos, tinta conductora, esto con el fin de dirigir los electrones por un mismo carril, y poder cerrar el circuito caracterizando donde se debe conectar. (Krantz et al., 2015)

Finalmente, para la medición o análisis de datos se usa el simulador solar, donde se ubica la celda solar orgánica conectada por los carriles de tinta conductora. Por medio del simulador se le proporciona un impacto de luz para poder analizar el efecto fotovoltaico. Los resultados se pueden ver en un computador conectado a la máquina la cual hace posible su lectura por medio del software.

A continuación, el esquema tecnológico de la creación de una celda solar orgánica por medio de la técnica Dr Blanding.



**Diagrama 1. Esquema tecnológico producción de celda orgánica**

**Determinación de los costos de inversión de la maquinaria necesaria para un laboratorio universitario de producción de celdas solares orgánicas.**



La maquinaria necesaria para la producción de celdas solares orgánicas está compuesta por Ultrasonido (Sonicator), Agitador magnético, Aplicador de películas delgadas (Dr. Bladeding) / ranura vacía (slot die), Guanteras (Glove Box), y un Simulador solar. Se determinaron los costos de cada uno de los equipos y estos se muestran a continuación.

- **Baño Ultrasonido (Sonicator)**

El baño de ultrasonido se usa en las primeras etapas de la creación de una celda solar orgánica para limpiar el sustrato y los implementos del laboratorio, pues al trabajar con elementos orgánicos es necesario tener todos los implementos limpios.

Se obtuvieron 3 cotizaciones para la compra del ultrasonido, las cuales se observan en la tabla 1.

**Tabla 1 Análisis Ultrasonido**

<b>Baño Ultra Sonido</b>		La escala de calificación es de 0 a 5 siendo 0 muy malo y 5 muy bueno.					
CRITERIO DE SELECCIÓN	% de importancia	OPCION 1 <b>Bandelin</b>		OPCION 2 <b>GT SONIC</b>		OPCION 3 <b>Labscient</b> KSL5120 - 2	
		Valor	Calif	Valor	Calif	Valor	Calif
Volumen (L)	30%	5,6	4,5	6	5	5	4
Precio (\$ COP)	25%	2.560.000	3,2	769.533	5	2.930.375	3
Peso (Kg)	5%	5,8	4,5	7,7	4	8	3
Voltaje de uso (v)	5%	110	5	110	5	110	5
Origen y confianza	5%	ALEMANIA	4,5	USA	4,5	Colombia	4
Temperatura (°C)	5%	20 - 80	4,5	20 - 80	4,5	20 - 80	4,5
Tempo Garantía (años)	10%	1	3	1,5	4	5	5

Tiempo de funcion (min)	5%	15	3	20	3,5	60	5
Lead Time (Días)	10%	27	4	45	3,5	30	3,8
	100%		3,925		4,575		3,905

REF

*	**	***
---	----	-----

Fuente: elaboración propia

\*("Bandelin Sonorex Super RK 106 5.6 Liter Round Ultrasonic Bath, New in Box | eBay,")

\*\*("Gt Sonic 6l Ultrasonic Cleaner Stainless - Mercado Libre," 2018)

\*\*\*("Lab Scient Baño de ultrasonido,")

Haciendo un cuadro comparativo de las 3 referencias de ultrasonido y usando el método de función multiobjetivo simple, se dieron pesos ponderados a cada característica de la máquina. Luego se dio, de manera cualitativa, una calificación a cada característica según la necesidad del laboratorio. Después, se multiplicó cada criterio de la ponderación por su respectiva calificación y, por último, se sumó el conjunto de resultados obtenidos de la anterior operación. Ahora bien, mediante una ponderación y evaluación se obtuvo que, el ultrasonido Gt Sonic, resulto ser el más viable debido a que tiene una mayor capacidad (6 Litros), un mejor precio y por último, una suficiente confianza con el proveedor y tiempo de garantía. Cabe anotar que, el precio del equipo incluye envío hasta la ciudad de Bogotá, por tanto, y habiendo cotizado el precio de flete terrestre por la página web enviotodo.com de la ciudad de Bogotá hasta la ciudad de Santiago de Cali, obtuvimos el mejor precio de \$17.600 por la empresa 4-72 envíos nacionales, para un costo total de \$787.133 COP en la ciudad de Cali Colombia en septiembre de 2018.

- **Agitador magnético**

El agitador magnético, tiene como función mantener agitada las soluciones a temperaturas controladas. Esto es necesario debido a que mantienen una óptima calidad de la mezcla.

Se obtuvieron 3 cotizaciones para la compra del Agitador magnético, las cuales se observan en la tabla 2.

**Tabla 2. Análisis de agitador magnético**

<b>Agitador magnético</b>		La escala de calificación es de 0 a 5 siendo 0 muy malo y 5 muy bueno.			
CRITERIO DE SELECCIÓN	% de importancia	OPCION 1 <b>Microyn</b> SH2		OPCION 2 <b>Microyn</b> SH3	
		Valor	Calif	Valor	Calif
Rpm	15%	1600	4	1600	4
Precio (\$ COP)	15%	\$ 348.800	4,5	\$ 540.800	4
Area (cm X cm)	25%	12 x 12	3	17 x 17	4
Voltaje de uso (v)	5%	110	4	110	4
Temperatura (°C)	10%	380	4	380	4
Volumen (L)	10%	1	3	3	4,5
Tempo Garantia (años)	5%	1	3	1	3
Potencia activa (W)	10%	350	4	500	3,5
Lead Time (Días)	5%	45	3	45	3
	<u>100%</u>		<u>3,625</u>		<u>3,9</u>

ANEXO

H1

H2

Fuente: elaboración propia

Con la misma metodología que se utilizó para el ultra sonido se compararon las 2 referencias de agitadores magnéticos. Aunque obtuvieron una calificación similar se eligió el agitador magnético Microyn SH3, por ser el que más área de trabajo y volumen a soportar ofreció.

- **Aplicador de películas delgadas (Dr Bladeding) / ranura vacía (slot die)**

El aplicador de películas delgadas es uno de los equipos más indispensables en la elaboración de celdas solares orgánicas, pues como su nombre lo dice es el aplicador de las capas en forma de películas líquidas de cada componente. Para este se obtuvieron 2 cotizaciones observadas en la tabla 3.

**Tabla 3. Análisis Aplicador de película delgada**

<b>Aplicador de películas delgadas</b>		La escala de calificación es de 0 a 5 siendo 0 muy malo y 5 muy bueno.			
CRITERIO DE SELECCIÓN	% de importancia	OPCION 1 <b>Automatic Research</b>		OPCION 2 <b>Zehntner</b>	
		Valor	Calif	Valor	Calif
Área de trabajo (cm X cm)	15%	30 x 40	4	30 x 50	4,5
Aplicadores y accesorios	30%	4	5	1	3
Precio (\$ COP)	10%	\$ 69.300.000	4,2	\$ 72.625.000	2
Voltaje de uso (v)	5%	110 - 220	4	100 - 240	4,2
Temperatura (°C)	5%	0 - 150	4,5	0 - 150	4,5
Origen y confianza	20%	Alemania	5	Suiza	4
Tempo Garantía (años)	5%	1	3	2	4
Peso (Kg)	5%	60	2	20	4
Lead Time (Días)	5%	45	3	45	3
	<u>100%</u>		<b>4,345</b>		<b>3,56</b>

ANEXO

A	B
---	---

Fuente: elaboración propia

Con la misma metodología que se utilizó para tomar una decisión sobre la maquinaria se compararon las 2 referencias de aplicador de películas delgadas

Se eligió el de marca Automatic Research, debido a que es el más económico y, además, adicionan artículos tecnológicos completos, útiles para la producción de celdas solares en diferentes métodos, también por la reducción en los costos de flete debido a que cuenta con todos los accesorios del aplicador dentro de un mismo proveedor. Por último, la buena relación con el proveedor ayuda al proceso de garantía en caso de necesitarlo. Cabe anotar que el precio de los equipos que aparece en la tabla 3 no contienen fletes.

- **Guantera (Glove Box)**

Para la cámara de extracción de gases (conocida también como guantera o Glove box), se obtuvieron 3 cotizaciones formales, las cuales se observan en la tabla 4.

**Tabla 4. Análisis de Guantera (Glove box)**

<b>Guantera</b>		La escala de calificación es de 0 a 5 siendo 0 muy malo y 5 muy bueno.					
CRITERIO DE SELECCIÓN	% de importancia	OPCION 1 <b>Terra Universal</b>		OPCION 2 <b>Mbraum</b>		OPCION 3 <b>Tmax</b>	
		Valor	Calif	Valor	Calif	Valor	Calif
Volumen (m <sup>3</sup> )	30%	1,3	2	1,6	3	1,8	4,5
Precio (\$ COP)	20%	135.705.600	3,5	174.976.000	2	97.273.600	4,2
Peso (Kg)	5%	522	4	460	4,5	816	3
Voltaje de uso (v)	10%	220	3	115	3	110-220	4
Tipos de Gases	5%	3	4	3	4	3	4
Origen y confianza	5%	USA	4	ALEMANIA	4,5	CHINA	3
Tempo	10%	1	1,5	1	1,5	2	3,5

Garantía (años)							
Num Guantes #	5%	4	5	4	5	4	5
Lead Time (Días)	10%	45-60	3	45-90	2,5	40-50	3,5
	100%		2,9		2,9		<b>4,04</b>

REF

C	D	E
---	---	---

Fuente: elaboración propia

Con la misma metodología que se utilizó para el ultrasonido se compararon las 3 referencias de guanteras. Se eligió la guanteras MRX-1220Tmax por ser la que mayor volumen de trabajo, mejor precio y más años de garantía ofreció.

- **Simulador solar**

Se obtuvieron 3 cotizaciones para la compra del Simulador solar, las cuales se observan en la tabla 5.

**Tabla 5. Análisis Simulador Solar**

<b>Simulador solar</b>		La escala de calificación es de 0 a 5 siendo 0 muy malo y 5 muy bueno.					
CRITERIO DE SELECCIÓN	% de importancia	OPCION 1 <b>Newport</b>		OPCION 2 <b>TS-Space Systems</b>		OPCION 3 <b>ZOLIX INSTRUMENTS</b>	
		Valor	Calif	Valor	Calif	Valor	Calif
Clasificación	15%	AAA	5	AAA	5	AAA	5
Precio (\$ COP)	15%	118.617.600	3	104.139.900	3,5	91.856.000	4
Area (mm X mm)	20%	50,8 x 50,8	4	60 x 60	4,3	40 x 40	3,5
Potencia activa	5%	450	3	320	3,5	150	4

Incluye software	15%	propio	3	excel	5	propio	3
Origen y confianza	10%	USA	4,5	Reino Unido	4,8	CHINA	3,5
Tempo Garantía (años)	10%	1	3	1	3	1	3
Lead Time (Días)	10%	75	3,2	90	3	60	3,5
	100%		3,67		4,14		3,7

REF	F	G	I
-----	---	---	---

Fuente: elaboración propia

Con la misma metodología que se utilizó para tomar una decisión sobre las maquinarias anteriores se compararon las 3 referencias de los simuladores solares, se seleccionó la TS-Space systems, a pesar de que su valor no es el más económico se tuvo en cuenta la calificación de la maquina la cual habla de sus funciones tecnológicas, de igual manera se tuvo en cuenta el área funcional en la que se va a comprobar los valores de eficiencia y función de la celda, y también el software que incluye la máquina para el posterior análisis y compatibilidad con los computadores ordinarios.

Con base en la información anterior se realiza la tabla 6, la cual resume las máquinas elegidas y la cantidad de estas a comprar.

**Tabla 6. Resumen de compra del proyecto**

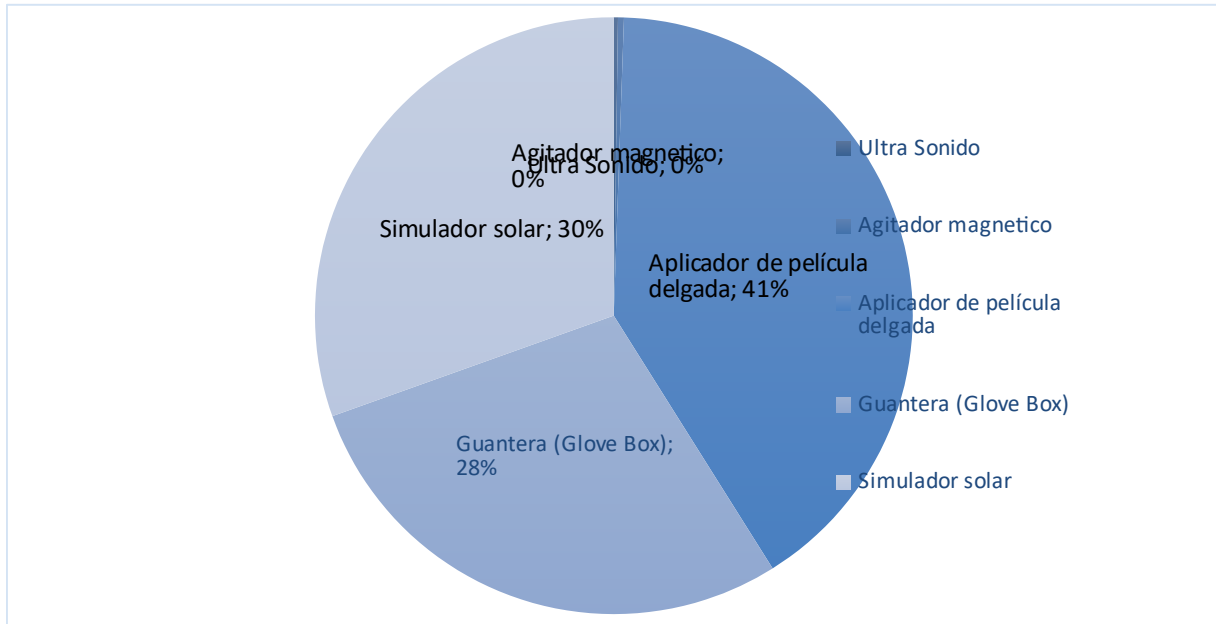
<b>ITEM</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>VR. UNITARIO</b>	<b>VR. TOTAL</b>
1	Ultra Sonido	GT SONIC	1	\$769.533	\$769.533
2	Agitador magnetico	Microyn (3L)	2	\$540.800	\$1.081.600
3	Aplicador de película delgada	Automatic Research	2	\$69.300.000	\$138.600.000
4	Guantera (Glove Box)	Glove box TMAX-MRX-1220	1	\$97.273.600	\$97.273.600
5	Simulador solar	TS-Space Systems	1	\$104.139.900	\$104.139.900
				<b>GRAN TOTAL</b>	\$341.864.633
				<b>DTO</b>	\$0
				<b>SUBTOTAL</b>	\$341.864.633
				<b>VALOR TOTAL</b>	<b>\$ 341.864.633</b>

Fuente: elaboración propia

La tabla 6 permitió realizar un estudio económico de un laboratorio de celdas solares orgánicas (OPV) para la investigación y desarrollo de energías renovables a nivel universitario en Colombia. El costo total de la maquinaria elegida para la creación de dicho laboratorio ronda los \$ 341.864.633 sin impuestos. Este precio incluye 1 ultrasonido para limpiar y desinfectar todo tipo de material que se utilice en la elaboración de las celdas solares, así como también 2 agitadores magnéticos marca Microyn de 3 L de capacidad para realizar obtener las mezclas homogéneas de las capas de las celdas solares orgánicas. Además, 2 aplicadores de películas delgadas marca Automatic Research para facilitar el uso y mejorar la experiencia de los estudiantes en el aprendizaje de la creación de celdas solares orgánicas. Por último, incluye una guantera marca Tmax de 4 brazos con el fin de generar una óptima capacidad de control de gases y un simulador solar para poder medir, caracterizar y conocer los resultados obtenidos de las celdas solares orgánicas hechas en el laboratorio propuesto.



### Ilustración 5. Contribución por equipo al costo total del proyecto



Fuente: elaboración propia

El aplicador de películas delgadas es de vital importancia para la creación del laboratorio debido a que permite crear las cuatro capas que conforman una celda solar orgánica. De la ilustración 5 se puede observar que, más de la mitad del costo total del proyecto se destinó al aplicador de películas delgadas, un poco más de un cuarto del costo total del proyecto estuvo destinado para la guantera lo que hace que dicho costo se haga necesario para controlar el riesgo químico asociado a la producción de celdas solares orgánicas. El 18% del costo total del proyecto está destinado al simulador solar, que tiene como función la evaluación de la eficiencia de las celdas solares creadas en el laboratorio. Por otra parte, los costos del ultra sonido y el agitador magnético son poco relevantes comparados con el costo total de la maquinaria necesaria para la creación del laboratorio de celdas solares orgánicas.

## Análisis de la competencia de los sistemas fotovoltaicos orgánicos frente a los sistemas fotovoltaicos convencionales para su futura viabilidad comercial.

Se analizó la competencia de los sistemas fotovoltaicos orgánicos frente a los sistemas fotovoltaicos convencionales para su futura viabilidad comercial.

Se detectó Una celda solar orgánica de 1m<sup>2</sup> genera un Voltaje de 0.6V con 28W de potencia. Hay tres formas de producirlas: en escala de laboratorio, escalado en tándem, y en escala industrial. Para efectos de análisis comercial se analizó que en la escala de laboratorio una celda solar de 1m<sup>2</sup>cuesta €34.56, en tándem escalado una celda solar de 1m<sup>2</sup> cuesta €3.63 y para escala industrial el costo es de €1.81 aproximadamente usando materiales como el Pedot para la capa donadora y P3HT :PCBM para la capa activa o receptora de electrones (Machui et al., 2014). Al cambiar de materiales en las capas, cambian los costos, y de igual manera los porcentajes de eficiencia.

**Tabla 7. Tabla comparativa de celdas con base en silicio y orgánicas**

Propiedades	Tipo de celda				
	Silicio Monocristalina	Silicio Policristalina	Orgánicas Escala Laboratorio	Orgánicas Tándem Escalado	Orgánicas escala Industrial
Voltaje (V)	12	12	0,6	0,6	0,6
Potencia (W)	100	100	28	28	28
Eficiencia	25%	21%	10.7%	10.7%	10.7%
Vida útil	25 años	25 años	max. 11000 h aprox. 10 años	max. 11000 h aprox. 10 años	max. 11000 h aprox. 10 años
Dimensiones	0,642 m2	0,67 m2	1 m2	1 m2	1 m2
Precio (€)	€ 236,29	€ 80,0	€ 35,0	€ 3,63	€ 1,82
Precio	\$ 826.999	\$ 280.000	\$ 122.500	\$ 12.705	\$ 6.370

(COP)					
(COP/año)	\$ 41.350	\$ 14.000	\$ 12.250	\$ 1.271	\$ 637
Ref.	*	**	Precio OPV por m <sup>2</sup>	Precio OPV por m <sup>2</sup>	Precio OPV por m <sup>2</sup>

Fuente: elaboración propia \*(“MONOPanel Solar Giaride, 18v 12v 100w Célula Monocristalina D... - \$ 826.999 en Mercado Libre,”) \*\* (“POLI Panel Solar 100w Policristalino - \$ 280.000 en Mercado Libre,”) Precio OPV por m<sup>2</sup> (Machui et al., 2014)

Sabemos que al poner 20 celdas de 0.6V en serie, formando un panel lineal, se obtiene un valor de 12V por panel, y para poder aumentar la potencia (W) deben acomodarse en paralelo, con esta apreciación se puede entender que para llegar a cumplir un panel funcional de 12V y 100W se necesitan 23 paneles solares orgánicos de 1m<sup>2</sup> completando una extensión de 24m<sup>2</sup>. También el costo relacionado a esta extensión de 24m<sup>2</sup> se expresa en la Tabla 8 separado por tipo celda (Laboratorio, Tándem, Industrial) y, se hizo una comparación de los paneles solares orgánicos con los paneles solares convencionales de dos características. Mono cristalinos y poli cristalinos de silicio también de 100W 12V

**Tabla 8 Comparación de precios silicio y orgánicas.**

Propiedades	Tipo de celda				
	Silicio Monocristalina	Silicio Policristalina	Orgánicas Escala Laboratorio	Orgánicas Tándem Escalado	Orgánicas escala industrial
Voltaje (V)	12	12	12	12	12
Potencia (W)	100	100	100	100	100
Eficiencia	25%	21%	10.7%	10.7%	10.7%
Vida útil	25 años	25 años	10 años	10 años	10 años
Dimensiones	0,642 m <sup>2</sup>	0,67 m <sup>2</sup>	24 m <sup>2</sup>	24 m <sup>2</sup>	24 m <sup>2</sup>
Precio (€)	€ 236,29	€ 80,0	€ 805,0	€ 83,5	€ 41,9

Precio (COP)	\$ 826.999	\$ 280.000	\$ 2.817.500	\$ 292.215	\$ 146.510
(COP/año)	\$ 33.080	\$ 11.200	\$ 281.750	\$ 29.222	\$ 14.651

Fuente: elaboración propia

Se muestra que las celdas solares orgánicas no son más económicas que las celdas de silicio, lo que explica por qué los paneles solares convencionales están predominando el mercado y las celdas solares orgánicas aún siguen en investigación y desarrollo. Esto es una oportunidad para que la Universidad Icesi implemente un laboratorio de investigación y desarrollo en celdas solares orgánicas, así se posesionaria en alto nivel investigativo y actual frente a los sistemas de creación de energías no convencionales.

Frente a este análisis los sistemas de celdas solares orgánicas, aunque en la actualidad no sean viables comercialmente si lo son ambientalmente, ya que usan materiales orgánicos y su proceso de producción es relativamente de bajo impacto. El tiempo de vida de las celdas orgánicas es más corto que las de silicio, lo que permite una pronta actualización de tecnología, dando la posibilidad de alta investigación y desarrollo en corto tiempo.

## Conclusiones

- Se determinaron los costos de inversión de la maquinaria necesaria para la producción de celdas solares orgánicas. Se encontró el presupuesto de 341 millones de pesos para la compra total de las mínimas maquinas necesarias para el laboratorio.
- Se Identificó la cadena de compra para el suministro de las maquinas necesarias para la puesta en marcha de un laboratorio de celdas solares detectando que las maquinas se encuentran en 4 países, Estados Unidos, Alemania, China y Reino Unido.
- Se analizó la competencia de los sistemas fotovoltaicos orgánicos frente a los sistemas fotovoltaicos convencionales para su futura viabilidad comercial. Notando que para la creación de celdas solares orgánicas por vía laboratorio para futura comercialización es más costoso que el actual de silicio, a largo plazo la inversión en silicio sigue siendo más baja comparada con las celdas solares orgánicas hechas por cualquiera de los tres métodos, Laboratorio, Tándem o método Industrial.
- Los estudiantes del departamento de ingeniería pueden desarrollar competencias de diseño de celdas solares mediante el laboratorio, investigar componentes de nuevos materiales y aplicar metodologías de lean manufacturing para mejoramientos continuos, rueda de eco diseños, diferentes distribuciones de planta para la organización de celdas de producción, aplicar las metodologías de aprendizaje activo, mediante la investigación y desarrollo de la absorción de energía solar por medio de las orgánicas realizables en el laboratorio.
- Con esta propuesta se puede fortalecer las habilidades de desarrollo de empresa, innovación de temas tecnológicos y medio ambiente.

## Recomendaciones

- Se recomienda ver la factibilidad de crear en este mismo laboratorio celdas solares tipo mixtas orgánicas e inorgánicas o con materiales de nueva tecnología como las perovskitas.
- Se recomienda evaluar la posibilidad de desarrollar software compatible con los sistemas ya establecidos por la Universidad, para la caracterización de las celdas solares orgánicas, en condiciones de investigación específicas.
- Investigar sobre los posibles métodos adicionales para crear celdas solares con el aplicador de películas delgadas cotizado.
- Se recomienda como continuación del proyecto diseñar la distribución de planta, para la ubicación de áreas de trabajo y maquinaria.
- Se recomienda levantar la demanda del sector empresarial energético del país, para determinar la necesidad del personal capacitado en energía solar, para la toma de decisiones.
- Se recomienda investigar nuevos métodos de elaboración de celdas solares orgánicas que involucren la maquinaria ya determinada ejemplo: (perovskitas).

## BIBLIOGRAFÍA

- Bandelin Sonorex Super RK 106 5.6 Liter Round Ultrasonic Bath, New in Box | eBay. (n.d.). Retrieved October 14, 2018, from <https://www.ebay.com/itm/Bandelin-Sonorex-Super-RK-106-5-6-Liter-Round-Ultrasonic-Bath-New-in-Box/352485086351?hash=item5211bf948f:g:T4sAAOSwMalaz61u:rk:1:pf:0>
- Gt Sonic 6l Ultrasonic Cleaner Stainless - Mercado Libre. (2018). Retrieved October 14, 2018, from [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-480602225-gt-sonic-6l-ultrasonic-cleaner-stainless-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-480602225-gt-sonic-6l-ultrasonic-cleaner-stainless-_JM)
- Krantz, J., Forberich, K., Kubis, P., Machui, F., Min, J., Stubhan, T., & Brabec, C. J. (2015). Printing high performance reflective electrodes for organic solar cells. *Organic Electronics: Physics, Materials, Applications*, 17(December), 334–339. <https://doi.org/10.1016/j.orgel.2014.12.016>
- Lab Scient Baño de ultrasonido. (n.d.). Retrieved October 14, 2018, from [https://instrumentalia.com.co/es/laboratorios/378-bano-de-ultrasonido.html?gclid=EAIaIQobChMIvq-xoaqF3gIVAcJ3Ch1Sag7BEAkYBCABEgK4ivD\\_BwE](https://instrumentalia.com.co/es/laboratorios/378-bano-de-ultrasonido.html?gclid=EAIaIQobChMIvq-xoaqF3gIVAcJ3Ch1Sag7BEAkYBCABEgK4ivD_BwE)
- Liu, Z., Zhang, X., Li, P., & Gao, X. (2018). Recent development of efficient A-D-A type fused-ring electron acceptors for organic solar. *Solar Energy*, 174(August), 171–188. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.09.008>
- Loff, S. (2015). NASA Image of the Day. Retrieved from <https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/iotd.html>

Machui, F., Hösel, M., Li, N., Spyropoulos, G. D., Ameri, T., Søndergaard, R. R., ... Krebs, F. C. (2014). Cost analysis of roll-to-roll fabricated ITO free single and tandem organic solar modules based on data from manufacture. *Energy and Environmental Science*, 7(9), 2792–2802. <https://doi.org/10.1039/c4ee01222d>

Meneses, N., & Rodriguez, S. (2013). Diseño De Un Curso De Introducción a Las Energías Renovables En La Universidad Icesi. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

MONOPanel Solar Giaride, 18v 12v 100w Célula Monocristalina D... - \$ 826.999 en Mercado Libre. (n.d.). Retrieved October 16, 2018, from [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-472155002-panel-solar-giaride-18v-12v-100w-celula-monocristalina-d-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-472155002-panel-solar-giaride-18v-12v-100w-celula-monocristalina-d-_JM)

NREL. (2017). Organic Photovoltaic Solar Cells | Photovoltaic Research | NREL. Retrieved May 2, 2018, from <https://www.nrel.gov/pv/organic-photovoltaic-solar-cells.html>

POLI Panel Solar 100w Policristalino - \$ 280.000 en Mercado Libre. (n.d.). Retrieved October 16, 2018, from [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-465389108-panel-solar-100w-policristalino-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-465389108-panel-solar-100w-policristalino-_JM)

Tanno, o-yuki, Miyashita, Y., Yoshida, K., Suzuki, T., & Hirose, F. (2015). *Doping effects of bulkhetero junction organic solar cells*. Retrieved from [https://www.jstage.jst.go.jp/article/tsjc/2013/0/2013\\_20/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/tsjc/2013/0/2013_20/_pdf)

Bandelin Sonorex Super RK 106 5.6 Liter Round Ultrasonic Bath, New in Box | eBay. (n.d.). Retrieved October 14, 2018, from <https://www.ebay.com/itm/Bandelin-Sonorex-Super-RK-106-5-6-Liter-Round-Ultrasonic-Bath-New-in-Box/352485086351?>



hash=item5211bf948f:g:T4sAAOSwMalaz61u:rk:1:pf:0

Gt Sonic 6l Ultrasonic Cleaner Stainless - Mercado Libre. (2018). Retrieved October 14, 2018, from [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-480602225-gt-sonic-6l-ultrasonic-cleaner-stainless-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-480602225-gt-sonic-6l-ultrasonic-cleaner-stainless-_JM)

Krantz, J., Forberich, K., Kubis, P., Machui, F., Min, J., Stubhan, T., & Brabec, C. J. (2015). Printing high performance reflective electrodes for organic solar cells. *Organic Electronics: Physics, Materials, Applications*, 17(December), 334–339. <https://doi.org/10.1016/j.orgel.2014.12.016>

Lab Scient Baño de ultrasonido. (n.d.). Retrieved October 14, 2018, from [https://instrumentalia.com.co/es/laboratorios/378-bano-de-ultrasonido.html?gclid=EAIaIQobChMIvq-xoaqF3gIVAcJ3Ch1Sag7BEAkYBCABEgK4ivD\\_BwE](https://instrumentalia.com.co/es/laboratorios/378-bano-de-ultrasonido.html?gclid=EAIaIQobChMIvq-xoaqF3gIVAcJ3Ch1Sag7BEAkYBCABEgK4ivD_BwE)

Liu, Z., Zhang, X., Li, P., & Gao, X. (2018). Recent development of efficient A-D-A type fused-ring electron acceptors for organic solar. *Solar Energy*, 174(August), 171–188. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.09.008>

Loff, S. (2015). NASA Image of the Day. Retrieved from <https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/iotd.html>

Machui, F., Hösel, M., Li, N., Spyropoulos, G. D., Ameri, T., Søndergaard, R. R., ... Krebs, F. C. (2014). Cost analysis of roll-to-roll fabricated ITO free single and tandem organic solar modules based on data from manufacture. *Energy and Environmental Science*, 7(9), 2792–2802. <https://doi.org/10.1039/c4ee01222d>

Meneses, N., & Rodriguez, S. (2013). Diseño De Un Curso De Introducción a Las Energías Renovables En La Universidad Icesi. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

MONOPanel Solar Giaride, 18v 12v 100w Célula Monocristalina D... - \$ 826.999 en Mercado Libre. (n.d.). Retrieved October 16, 2018, from [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-472155002-panel-solar-giaride-18v-12v-100w-celula-monocristalina-d-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-472155002-panel-solar-giaride-18v-12v-100w-celula-monocristalina-d-_JM)

NREL. (2017). Organic Photovoltaic Solar Cells | Photovoltaic Research | NREL. Retrieved May 2, 2018, from <https://www.nrel.gov/pv/organic-photovoltaic-solar-cells.html>

POLI Panel Solar 100w Policristalino - \$ 280.000 en Mercado Libre. (n.d.). Retrieved October 16, 2018, from [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-465389108-panel-solar-100w-policristalino-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-465389108-panel-solar-100w-policristalino-_JM)

Tanno, oyuki, Miyashita, Y., Yoshida, K., Suzuki, T., & Hirose, F. (2015). *Doping effects of bulkhetero junction organic solar cells*. Retrieved from [https://www.jstage.jst.go.jp/article/tsjc/2013/0/2013\\_20/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/tsjc/2013/0/2013_20/_pdf)

## **Anexos**

Anexo A Thin Film Coater AR datasheet + quote

Anexo B. Thin film applicator zehntner

Anexo C. Terra Universal GLOVEBOX

Anexo D. 1Mbraun LABstar GLOVEBOX

Anexo D.2 Quotation Mbraun LABstar GLOVEBOX

Anexo E. Cotización y hoja técnica guanteras tmax

Anexo E. Tmax TMAX-MRX-1220 Quotation

Anexo F. Newport Sol3 simulador solar

Anexo G. solar simulator TSQ1387

Anexo H1 Cotización Agitador magnético

Anexo H2 Cotización Agitador magnético

Anexo I. Quotation(Zolix)

Anexo I. Zolix Datasheet Solar IV System

AnexoJ. Árbol de problema

