

Revisión del diseño de un sistema fotovoltaico como alternativa sostenible en el sur occidente colombiano.

Review of the design of a photovoltaic system as a sustainable alternative in the south west of Colombia.

Luisa Fernanda Herrera Beltrán¹
luisa_herrera30@hotmail.com

Oscar Salazar²
Oscar.salazar00@usc.edu.co

Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Programa de especialización en Gerencia Ambiental y Desarrollo Sostenible Empresarial (1)
Docente dedicado exclusivo, facultad de Ingeniera- Universidad Santiago de Cali. Director trabajo de grado (2)

Resumen

La implementación de estrategias para generar energías limpias a través de paneles fotovoltaicos, se ha consolidado como una de las alternativas que vienen desarrollando las organizaciones dentro de sus programas ambientales con el fin reducir la huella ambiental y el impacto negativo ocasionado por los sistemas de generación de energía a partir de combustibles fósiles. Debido al desarrollo tecnológico, la tendencia es que la sociedad en general aumente el consumo de energía eléctrica, por lo tanto se hace necesario estudiar alternativas que promuevan el uso de energías renovables. Los sistemas fotovoltaicos utilizan la energía solar, un recurso que siempre está disponible y que se puede almacenar, los costos de instalación se recuperan a mediano o largo plazo ya que se logra un decremento en las cuentas del servicio eléctrico prestado por las empresas dedicadas a la generación, distribución y transmisión de energía eléctrica. Las instituciones prestadoras de servicio de salud se han venido sumando a las iniciativas mundiales de hospitales verdes, integrando a sus sistemas de energía, la instalación de paneles fotovoltaicos tanto en las unidades, como en las zonas externas, lo que ha representado una disminución de las emisiones de gases y por tanto en ambientes de salud más óptimos para la recuperación de los pacientes.

En este artículo de revisión se analizan las ventajas de los sistemas fotovoltaicos con respecto a los sistemas convencionales, se seleccionó una bibliografía para revisar los antecedentes en Colombia, las condiciones físicas y componentes tecnológicos que se requieren para su modelamiento e implementación, el ahorro que significa en costos de facturación por servicios de energía, la manera como se puede medir su impacto ambiental y casos de aplicación donde se muestra a través de cifras las bondades de estos sistemas de energía limpia.

Palabras Clave: Energía, energía renovable, energía solar fotovoltaica, sistema fotovoltaico, impacto ambiental.

Abstract

The implementation of strategies to generate clean energy through photovoltaic panels, has been consolidated as one of the alternatives that organizations have been developing within their environmental programs in order to reduce the environmental footprint and the negative impact caused by generation systems. energy from fossil fuels. Due to technological development, the tendency is for society in general to increase the consumption of electrical energy, therefore it is necessary to study alternatives that promote the use of renewable energies. Photovoltaic systems use solar energy, a resource that is always available and can be stored, installation costs are recovered in the medium or long term as a decrease in the electric service accounts provided by companies dedicated to the generation, distribution and transmission of electrical energy. The health service providers have been joining the global initiatives of green hospitals, integrating the installation of photovoltaic panels into their energy systems both in the units and in the external areas, which has represented a decrease in emissions of gases and therefore in optimal health environments for the recovery of patients.

In this review paper, the advantages of photovoltaic systems are analyzed with respect to conventional systems, a bibliography was selected to review the background in Colombia, the physical conditions and technological components that are required for its modeling and implementation, the saving that means in billing costs for energy services, the way in which its environmental impact can be measured and application cases where the benefits of these clean energy systems are shown through figures.

Keywords: Energy, renewable energy, photovoltaic solar energy, photovoltaic system, environmental impact.

1. INTRODUCCIÓN

Las actividades diarias de la población mundial, necesitan el consumo de energía y la mayor parte de la generación de esta es partir de combustibles fósiles, es por esto que según (IPCC, 2014) “las emisiones de CO₂ procedentes de la combustión de combustibles fósiles y los procesos industriales contribuyeron alrededor del 78% al aumento total de emisiones de gases de efecto invernadero entre 1970 y 2010, cooperando con un porcentaje parecido durante el período 2000-2010 (nivel de confianza alto). Las emisiones de CO₂ relacionadas con los combustibles fósiles alcanzaron los 32 (±2,7) GtCO₂/año, en 2010, y siguieron creciendo alrededor de un 3% entre 2010 y 2011, y alrededor del 1% al 2% entre 2011 y 2012”.

Como consecuencia del crecimiento desmesurado de la población y el auge del desarrollo industrial, se incrementan la demanda de energía, por ello se promueven políticas económicas, ambientales y sociales buscando una fuente de energía renovable, rentable y duradera que pueda suplir las necesidades energéticas que surjan en el futuro (Kannan & Vakeesan, 2016).

En la actualidad la energía solar fotovoltaica al ser una energía renovable, es utilizada cada vez más a nivel internacional, según la Unión Europea Fotovoltaica China, Japón y Estados Unidos son los principales países generadores de energía solar fotovoltaica. En el año 2014 China instaló 10,6 GW que comprende más del 25% de la potencia total fotovoltaica del país, muy cerca se encuentra Japón que es uno de los países que más ha apostado por este tipo de energía con 9,7 GW, Estados Unidos ocupó el tercer puesto con una instalación de 6,4 GW; mientras en Europa se conectaron a red 7 GW en el año 2014 frente a los 10,5 GW del año 2013, el Reino Unido por primera vez ha sido el mayor instalador con una potencia de 2,4 GW, seguido de Alemania con 1,9 GW y Francia con 0,9 GW (Unión Española Fotovoltaica, 2015). Si bien la energía renovable actualmente representa una proporción relativamente pequeña del consumo mundial de energía final (~ 19.1% en 2013), tiene el potencial de cubrir todas las necesidades de energía humana. En 2014, 164 países ya habían adoptado algún tipo de política de energía renovable (frente a 48 en 2004), con algunos de los objetivos bastante audaces. Por ejemplo, la UE pretende satisfacer el 20% de sus necesidades energéticas totales a través de energías renovables para 2020 (Gasparatos, Doll, Esteban, Ahmed, & Olang, 2017).

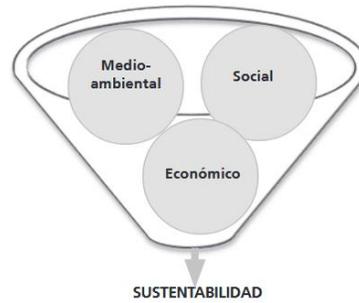
Colombia cuenta actualmente con una capacidad de generación eléctrica de 14.4Gw, distribuidos en un 69.9% de generación hidráulica, 24,8% corresponde a gas natural, 4,9% térmicas a carbón, 0,4% cogeneradores y el 0,1% es generación eólica (UPME, 2014). Con la renovación del mercado energético, fundamentado en la accesibilidad de recursos naturales, la disminución de los costos en la inversión de proyectos asociados al aprovechamiento de estas, la transformación del rendimiento y los avances de las tecnologías como lo son la energía eólica y la energía solar, al igual que la generación de energía eléctrica y calor obtenidas de la biomasa y energía geotérmica, empiezan a ser incorporadas en la matriz energética nacional. Las fuentes disponibles de información de recurso solar indican que “el país cuenta con una irradiación promedio de 4,5 kWh/m² /d, la cual supera el promedio mundial de 3,9 kWh/m² /d.” (UPME, 2015).

Este artículo presenta una revisión bibliográfica sobre el diseño de un sistema solar fotovoltaico, mostrándolo como una alternativa para la generación de energía eléctrica describiendo los componentes y aspectos técnicos para determinar la selección del sistema fotovoltaico que permita satisfacer la necesidad que se va a suplir.

2. MEDICIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

La utilización de fuentes renovables de energía es una alternativa a la transición de una economía que genera baja emisión de dióxido de carbono, permitiendo una solución al cambio climático, mejorando la seguridad energética y favoreciendo la eficiencia en el uso de los recursos (Hidalgo, 2015). Buscando un equilibrio entre las dimensiones social, económica y ambiental, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de futuras generaciones (Mura & Reyes, 2015). Figura 1

Figura 1. Equilibrio entre las dimensiones del desarrollo sustentable.



Fuente: (Mura & Reyes, 2015).

Existen diversos métodos para medir el impacto ambiental, sin embargo dependiendo del proyecto a implementar es necesario escoger el que nos permita medir el impacto con mayor exactitud.

La evaluación de impacto ambiental es una herramienta utilizada para evaluar los impactos generados por los proyectos, de modo que pueda intervenir en la toma de decisiones, a lo largo del tiempo se han desarrollado diversos métodos para valorar los impactos ambientales, pero no existe un método oficial que pueda aplicarse a todos los tipos de proyectos (Calderón, Prada, & Loyo, 2013).

(Canter & Sadler, 1997) “clasificaron las metodologías para la evaluación de impacto ambiental en varios grupos: Analógicos, Listas de Chequeo, Listas de chequeo enfocadas a decisiones, análisis ambiental coste-beneficio, opinión de expertos o dictamen profesional, sistemas expertos, índices o indicadores, pruebas de laboratorio y modelos a escala, evaluación de paisajes, cálculos de balance de materia, matrices de interacción, monitorización, estudios de campo, redes (árboles de impacto, impacto de cambio, diagramas causa-efecto o diagramas de consecuencia), sobre posición de mapas, modelización cualitativa, modelización cuantitativa, evaluación de riesgo, extrapolación de tendencias”.

Actualmente en Colombia las fuentes de energía convencionales generan impactos ambientales, los cuales implican los efectos negativos sobre el medio ambiente y la población, esto debido a las actividades que generan aspectos ambientales relevantes como lo son la explotación desmedida de los recursos naturales, la segregación y disposición final inadecuada de los residuos, las emisión atmosféricas y el cambio en el uso del suelo. A partir de estos aspectos se reconocen impactos ambientales directos e indirectos que tienen tres dimensiones de magnitud, importancia y significancia (André, Delisle, & Revéret, 2004).

La energía renovable se relaciona con los beneficios fundamentales para el planeta identificando la reducción anual de emisiones de CO₂, por ser una fuente inagotable asegura el abastecimiento energético que por diferentes factores como sequías provocan racionamiento energético y contribuye a la reducción del impacto ambiental negativo evidenciado en el detrimento del recurso hídrico ocasionado por las centrales hidroeléctricas (Niño, Rincón, & Altamiranda, 2016).

3. AHORRO GENERADO POR SISTEMAS FV

El análisis costo beneficio de un proyecto consiste en evaluar los beneficios financieros, es decir las ganancias que percibe la entidad encargada de la ejecución del mismo (Castro, Rosales, & Rahal, 2008). En los proyectos de generación de energía eléctrica estos beneficios son de mediano y largo plazo puesto que varía según la tecnología empleada las características de los recursos disponibles (García, Corredor, Calderón, & Gómez, 2013).

Los sistemas fotovoltaicos generan muchos beneficios a nivel financiero por su larga vida útil y bajo costos de

mantenimiento, frente a otras fuentes, esta genera menores emisiones de dióxido de carbono CO₂ que se generan con otros sistemas, al igual que no trae los graves problemas ambientales que causan otras fuentes durante la generación, como el cambio climático, calentamiento global, contaminación del aire, lluvia ácida (Gómez-Ramírez, Murcia-Murcia, & Cabeza-Rojas, 2016).

Otra de las ventajas con respecto a los combustibles fósiles es que la energía solar no necesita ser extraída, o transportada al sitio de generación, que está cerca de la carga, lo que significa una disminución en los costes de producción. Sin embargo, durante su ciclo de vida, se consume una gran cantidad de energía y emite algunos gases de efecto invernadero en algunas etapas (Sampaio & González, 2017).

En la actualidad muchos usuarios comerciales y residenciales han optado por instalar sistemas de generación fotovoltaica, para disminuir el valor que pagan por la factura eléctrica, implementando un modelo de autoconsumo que repercuten en beneficios financieros a mediano y largo plazo.

La generación de energía con un sistema fotovoltaico, tiene la ventaja de ser un recurso inagotable y no produce emisiones en su producción. Debido a las ventajas de la implementación de las celdas solares fotovoltaicas, se ha aumentado el interés en el ámbito internacional; por ser un sistema que genera electricidad sin contaminar, es modular y se puede producir aun con luz difusa.

Para evaluar el beneficio ambiental de un sistema solar fotovoltaico se tiene en cuenta el factor de emisión marginal, (RESOLUCIÓN 91304, 2014), dice en el artículo 1 “Adoptar el factor marginal de emisión de gases de efecto invernadero del Sistema Interconectado Nacional de 0,374 TonCO₂/MWh, para realizar el cálculo de las reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero de los proyectos aplicables al Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)”.

3.1 Métodos y Opciones de Cálculo

Según (Madríñan, Florez, & Gonzalez, 2016) “El valor calculado determina el factor de emisión de CO₂, para el desplazamiento de la electricidad generada por las plantas de energía en un sistema eléctrico.

El factor emisión se determina a partir del cálculo del margen combinado (MC), que es el resultado de promediar y ponderar dos factores de emisión de un sistema eléctrico: i) el factor de emisión del margen de operación (MO) y ii) el factor de emisión del margen de construcción (MCo).

El MO se refiere al factor de emisión del grupo de plantas de generación de energías existentes, cuya generación de electricidad sería afectada por la actividad de proyecto MDL. Este parámetro representa los cambios sobre la energía generada por el sistema eléctrico por:

- La generación de energía por la actividad de proyecto propuesto.
- Por cambios en la demanda de energía eléctrica por actividades de proyecto que disminuyen el consumo de electricidad.

El MCo se refiere al factor de emisión al grupo de plantas de generación de energía cuya construcción y futura entrada en operación se vería afectada por la actividad del proyecto MDL.

Para el cálculo del factor de emisión del Margen Combinado, en la herramienta se ha establecido la aplicación de seis pasos, los cuales permiten determinar los factores de emisión del MO y el MCo teniendo en cuenta las características del sistema eléctrico, el tipo de plantas de generación consideradas, la disponibilidad de información y datos relevantes.

Paso 1: Identificar el sistema eléctrico relevante.

Paso 2: Seleccionar un método para determinar el factor de emisión MO.

Paso 3: Calcular el factor de emisión del margen de operación (MO) de acuerdo con la metodología seleccionada.

Paso 4: Identificar el grupo de plantas de energía a ser incluido en el margen de construcción.

Paso 5: Calcular el factor de emisión del MCo.

Paso 6: Calcular el factor de emisión del margen combinado (MC).”

Para el desarrollo de proyectos de generación de energía a partir de fuentes no convencionales como lo es la fotovoltaica existentes beneficios a los cuales se podrá optar según lo regula la (Ley 1715, 2014), en el Artículo 11 “La utilización de energía a partir de FNCE tendrán derecho a reducir anualmente de su renta, por los 5 años siguientes al año gravable en que hayan realizado la inversión, el cincuenta por ciento (50%) del valor total de la inversión realizada.” Artículo 12 “Los equipos, elementos, maquinaria y servicios nacionales o importados que se destinen a la pre inversión e inversión, para la producción y utilización de energía a partir de las fuentes no convencionales, así como para la medición y evaluación de los potenciales recursos estarán excluidos de IVA.” Artículo 13 “proyectos de FNCE gozarán de exención del pago de los Derechos Arancelarios de Importación de maquinaria, equipos, materiales e insumos destinados exclusivamente para labores de preinversión y de inversión de proyectos con dichas fuentes”. Artículo 14 “La depreciación acelerada será aplicable a las maquinarias, equipos y obras civiles necesarias para la preinversión, inversión y operación de la generación con FNCE, que sean adquiridos y/o construidos, exclusivamente para ese fin”.

Para calcular el ahorro de emisiones de CO₂ se debe tener en cuenta la generación de KW, que se espera del sistema fotovoltaico en el periodo de su funcionamiento y se aplica el factor marginal del sistema eléctrico actual.

4. MODELAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

La tecnología fotovoltaica busca convertir directamente la radiación solar en electricidad. Basada en el efecto fotoeléctrico (Secretaría de Energía de la Republica de Argentina, 2008).

Para realizar la simulación del sistema fotovoltaico, se debe partir de las condiciones concretas de la instalación y la producción eléctrica que se puede esperar del sistema fotovoltaico (Fuentefría, Santos, & Pérez, 2017). También es importante para la selección del sistema fotovoltaico el componente económico, puesto que es de relevancia elegir la instalación más viable económicamente que pueda satisfacer la necesidad de energía eléctrica que se va a suplir con el sistema fotovoltaico (Fouda, Nada, & Elattar, 2016).

4.1 Clasificación de los sistemas fotovoltaicos

Las instalaciones fotovoltaicas se dividen en dos grandes grupos en función del objetivo de las mismas; instalaciones aisladas de la red y las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red (Rojas, 2005). Un sistema fotovoltaico conectado a la red es un sistema cuya función es producir energía eléctrica en condiciones adecuadas para poder ser inyectada en la red convencional y un sistema fotovoltaico autónomo produce energía eléctrica para satisfacer el consumo de cargas eléctricas no conectadas a la red, empleando un sistema de acumulación energético para hacer frente a los periodos en los que la generación es inferior al consumo (Perpiñan, 2015).

4.2 Componentes de un sistema fotovoltaico

Un sistema solar fotovoltaico está compuesto por paneles fotovoltaicos que son elementos constituidos por células sensibles a la luz que desprenden electrones cuando los rayos de luz inciden sobre ellos, estos capturan la energía

solar transformándola en energía eléctrica y admiten radicación directa y difusa, lo que hace posible la generación de electricidad en los días nublados (Arencibia-Carballo, 2016).

El regulador de carga tiene la función de controlar la carga de la batería interrumpiendo la conexión con el panel cuando ya esté cargada, también evita las sobretensiones e interrumpe la conexión con la red de consumo cuando hay un nivel demasiado bajo en la batería para evitar que, en caso de una gran demanda, ésta se dañe (Garnica, Mora, & Jaimes, 2018).

Las baterías se encargan de acumular la energía para entregarla cuando se requiera, su dimensionamiento se determina a partir de las tensiones del sistema y de la batería seleccionada (Espinosa, Vargas, & Mora, 2015).

El inversor está encargado de transformar la corriente continua en corriente alterna proporcionando protección contra cortos circuitos (Garnica, Mora, & Jaimes, 2018).

4.3 Calculo del perfil de carga

El perfil de carga permite conocer el comportamiento de la energía eléctrica para analizar la información sobre los consumos y es útil para determinar los cálculos del acondicionamiento, potencia y distribución de los sistemas fotovoltaico (Salamanca-Ávila, 2017).

5. CASOS APLICADOS

En Colombia desde 1998 se viene hablando de las ventajas de los sistemas fotovoltaicos, en el artículo: “Energía Renovable para Centros de Salud Rurales” publicado por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable, se detallan los componentes usados en un sistema fotovoltaico, su funcionamiento y su integración al sistema de generación de energía convencional, presentando casos exitosos alrededor del mundo:

- Fotovoltaicos para la inmunización: Experiencia en África.
- Clínica de Salud con Energía Fotovoltaica: Chihuahua Méjico.
- 300 centros de salud Energizados con Fotovoltaicos: Programa Nacional de Perú.
- Fotovoltaicos para la salud una propuesta integrada, Choco – Colombia.
- Programa Nacional para integrar la Energía Fotovoltaica en Centros de Salud de Republica Dominicana (Jimenez & Olson, 1998)

La energía solar se ha convertido en un importante agente de cambio en los hospitales. El Hospital Regional San José del Carmen a través del Ministerio de Energía del Chile instalo 200 paneles solares este sistema solar evitará la emisión de 26 toneladas de CO₂ al año y le permitirán ahorrar más de 6 millones de pesos al principal centro de Salud de Atacama (Energía limpia XXI, 2017).

En América Latina varias instituciones de salud se han unido a la red Global de Hospitales Verdes y Saludables, implementando estrategias para reducir su impacto ambiental a través de generación de energías limpias renovables, entre las instituciones que han implementado sistemas fotovoltaicos en sus programas ambientales según el Informe sobre el trabajo de los miembros de la Red Global del 2018 se encuentran:

El Hospital San Rafael de Pasto que fue galardonado con el premio a la trayectoria en la reducción ambiental de 2017, gracias a programas ambientales como instalación de paneles solares para iluminar las locaciones externas: el área del parque y los senderos de la Unidad Julio Piña (Red Global de Hospitales Verdes y Saludables, 2018).

El Hospital de Cañaveralejo que se integró al programa en el 2010, instalando de 36 paneles solares fotovoltaicos de 210 W cada uno, que provisionan de energía el servicio de Urgencias. Dados los resultados positivos obtenidos, las estrategias se han implementado en otras Entidades Sociales del Estado (ESE) (Red Global de Hospitales Verdes y Saludables, 2018).

El Hospital IPS Siloé Siglo XXI, que implemento el proyecto Siloé Verde, dentro de las acciones desarrolladas para adquirir energías limpias está la instalación de paneles solares de 210 W, como una fuente de energía alternativa renovable que reemplaza en un 100% el suministro de energía convencional (Red Global de Hospitales Verdes y Saludables, 2018).

6. CONCLUSIONES

La implementación de sistemas de generación de energía renovable a través de paneles fotovoltaicos es una de las alternativas más adecuadas para todas aquellas organizaciones que se vienen concientizando de su rol en el cuidado del planeta, sobre todo para las instituciones de salud que deben ser garantes no solo del cuidado de los pacientes, sino también de generar entornos que contribuyan tanto en la recuperación como en la disminución de factores que contribuyan a la generación de afectaciones de salud para la sociedad.

Al momento de realizar el estudio de factibilidad para la implementación de un sistema de energía de paneles fotovoltaicos, se debe tener en cuenta que la inversión inicial podría superar los costos que se generan por facturas a empresas de servicios públicos, por ello es importante realizar un seguimiento constante que nos permita identificar los avances del proyecto, hasta que se llegue al punto de equilibrio y a evidenciar que efectivamente se generó una disminución en los costos.

Paralelo al modelamiento del sistema solar fotovoltaico se debe definir un método de medición que nos permita verificar la eficacia del sistema para suplir los requerimientos eléctricos, más si se trata de una institución prestadora de salud, donde los dispositivos médicos no deben parar, por ello es conveniente que en su etapa inicial, se complemente con el sistema de energía convencional o se empiece con zonas que no requieran de un suministro de energía constante.

En los casos donde se ha aplicado la tecnología en Colombia, se puede evidenciar resultados provechosos tanto a nivel económico, como a nivel de cuidado ambiental, es por ello que muchas instituciones de salud se vienen sumando a iniciativas como la Red de Hospitales Verdes y Saludables, incluyendo en sus programas ambientales la implementación de sistemas de generación de energía a través de fuentes renovables.

En Colombia es posible aumentar el porcentaje de organizaciones que implementen la tecnología de generación de energía a través de un sistema fotovoltaico, pero para ello es importante que el ministerio de ambiente y desarrollo junto con los gobiernos regionales, generen incentivos para quienes lo hagan, e igualmente que se implementen campañas a través de medios masivos que muestren las ventajas económicas y ambientales que ofrecen estos sistemas de generación de energía limpia.

7. REFERENCIAS

- Energía limpia XXI. (2017). Hospitales de Chile con techos con energía solar y eficiencia energética.
- Ley 1715. Congreso de la Republica de Colombia. (13 de Mayo de 2014).
- RESOLUCIÓN 91304. Ministerio de Minas y Energía de la Republica de Colombia. (25 de Noviembre de 2014).
- André, P., Delisle, C. E., & Revéret, J.-P. (2004). Environmental Assessment for Sustainable Development: Processes, Actors and Practice. Montreal.
- Arrecibia-Carballo, G. (2016). La importancia del uso de paneles solares en la generación de energía eléctrica.

REDVET - Revista electrónica de Veterinaria, Vol. 17(Nº 6).

Calderón, J. T., Prada, R. M., & Loyo, G. A. (2013). Métodos de Evaluación de Impacto Ambiental en Colombia. Revista de Investigación Agraria y Ambiental (Vol. 4).

Canter, L., & Sadler, B. (1997). A tool kit for effective EIA practice-Review of methods and perspectives on their application.

Castro, R., Rosales, R., & Rahal, A. (2008). Metodologías de preparación y evaluación de proyectos de inversión pública. Con ayuda de planillas parametrizadas. U. de los Andes.

Espinosa, A. A., Vargas, J. S., & Mora, J. H. (2015). Metodología de dimensionamiento de un sistema de respaldo energético basado en tecnología fotovoltaica. Revista Tecnura, Vol. 19, 66-71.

Fouda, A., Nada, S. A., & Elattar, H. (2016). An integrated A/C and HDH water desalination system assisted by solar energy: Transient analysis and economical study. Applied Thermal Engineering, Vol.108, Pages 1320-1335.

Fuentefría, A. S., Santos, R. D., & Pérez, Y. H. (2017). Diseño de un sistema fotovoltaico para alimentar una vivienda. .

García, H., Corredor, A., Calderón, L., & Gómez, M. (2013). Análisis costo beneficio de energías renovables no convencionales en Colombia. Fededesarrollo.

Garnica, J. E., Mora, S. B., & Jaimes, J. F. (2018). Viabilidad técnico-económica de un sistema fotovoltaico en una planta de tratamiento de agua. INGE CUC, Vol. 14(No.1), 41-51.

Gasparatos, A., Doll, C. N., Esteban, M., Ahmed, A., & Olang, T. A. (2017). Renewable energy and biodiversity: Implications for transitioning to a Green Economy. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 70, Pages 161-184.

Gómez-Ramírez, J., Murcia-Murcia, J. D., & Cabeza-Rojas, I. (2016). La energía solar fotovoltaica en Colombia: Potenciales, antecedentes y perspectivas. U. Santo tomas.

Hidalgo, D. B. (2015). Energía y desarrollo sostenible en Cuba. Centro Azucar, Vol 42.

IPCC. (2014). Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Ginebra, Suiza: IPCC.

Jimenez, A. C., & Olson, K. (1998). Energía Renovable para Centros de Salud Rurales. Laboratorio Nacional de Energía Renovable.

Kannan, N., & Vakeesan, D. (2016). Solar energy for future world: - A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 62, Pages 1092-1105.

Madríñan, M. B., Florez, H. H., & Gonzalez, Y. P. (2016). Factores de emisión del sistema interconectado nacional Colombia-SIN. Bogota: UPME.

Mura, H. G., & Reyes, J. I. (2015). De la sostenibilidad a la sustentabilidad. Modelo de desarrollo sustentable para su implementación en políticas y proyectos. EAN, Vol. 78, Pag. 40-55.

Niño, M. D., Rincón, F. A., & Altamiranda, O. Z. (2016). Análisis financiero para la implementación de un sistema de energía sola rfotovoltaica para el centro recreacional Club Naval de Oficiales Santa Cruz de Castillogrande. La Tadeo, Vol. 2 Núm. 2, Pag. 114-127.

Perpiñan, O. (2015). Energía Solar Fotovoltaica.

Red Global de Hospitales Verdes y Saludables. (2018). Hospitales que curan el planeta. Informe sobre el trabajo de los miembros de la Red Global de Hospitales Verdes y Saludables en América Latina 2018.

Rojas, J. R. (2005). Sistemas fotovoltaicos en Arquitectura y Urbanismo. Revista de urbanismo (12).

Salamanca-Ávila, S. (2017). Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica. Caso de aplicación en la ciudad de Bogotá. Revista Científica, 30(3), 263-277.

Sampaio, P. G., & González, M. O. (2017). Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 74, Pages 590-601.

Secretaría de Energía de la Republica de Argentina. (2008). Energías Renovables 2008 - Energía Solar.

Unión Española Fotovoltaica. (2015). La energía fotovoltaica una alternativa real. Madrid.

UPME. (2014). Estudio de generación electrica bajo escenario de cambio climatico. Bogota.

UPME. (2015). Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia. Bogotá.