

EVALUACIÓN TÉCNICO AMBIENTAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

TECHNICAL ENVIRONMENTAL ASSESSMENT FOR THE IMPLEMENTATION OF A PHOTOVOLTAIC SYSTEM



¹José Sebastián Caicedo Vargas,² Jesús Alfonso Torres Ortega

^{1,2}Facultad de Ingeniería, Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia

Recibido: 25/01/2019 Aprobado 04/03/2019

RESUMEN

El presente proyecto está basado en el campo de la producción de energía por medio de sistemas solares fotovoltaicos, la aplicación de este tema se dará a la red de alumbrado público de un municipio, con la finalidad de determinar la viabilidad técnico ambiental del cambio de fuente de energía a dicho sistema. Para la implantación del sistema fotovoltaico se requiere la evaluación de varios aspectos fundamentales para su funcionamiento, entre estos se encuentran el comportamiento meteorológico, consumos energéticos, operaciones técnicas, balances financieros y beneficios ambientales. La metodología se basa en la determinación de la viabilidad en la implementación del sistema fotovoltaico como fuente de energía. Las condiciones meteorológicas del municipio y como se relacionan los parámetros entre sí, así como la caracterización de la red de alumbrado público a estudiar, y el número de aparatos eléctricos que generan la demanda energética para determinar el costo de KWh son fundamentales para realizar un dimensionamiento y la propuesta para un sistema solar fotovoltaico. Los costos de instalación, costo de propiedad y uso del sistema, ahorros acumulados, son indicadores, así como VPN y TIR para calcular el costo de KWh generado por el sistema fotovoltaico. Todo lo anterior con miras a obtener beneficios ambientales derivados del cambio de fuente de energía mediante la determinación de la cantidad de CO₂ que es dejado emitir al medio ambiente y valor monetario que es evitado al realizar tal acción.

Palabras clave: alumbrado, ambiente, celda solar, impacto.

ABSTRACT

The present project is based on the field of energy production through photovoltaic solar systems, the application of this theme will be given to the public lighting network of a municipality in order to determine the technical environmental viability of the change of source of energy to that system. For the implementation of the photovoltaic system, the evaluation of several fundamental aspects for its operation is required, among them are meteorological behavior, energy consumption, technical operations, financial balances and environmental benefits. The For the implementation of the photovoltaic system, the evaluation of several fundamental aspects for its operation is required, among them are meteorological behavior, energy consumption, technical operations, financial balances and environmental benefits. The

¹ jcaicedo48@unisalle.edu.co, orcid.org/0000-0001-6084-2582

² jatorres@unisalle.edu.co, orcid.org/0000-0002-4476-0816

methodology is based on the determination of the viability in the implementation of the photovoltaic system as a source of energy. The meteorological conditions of the municipality and how the parameters are related to each other, as well as the characterization of the public lighting network to be studied, and the number of electrical appliances that generate the energy demand to determine the cost of KWh are fundamental for sizing and the proposal for a photovoltaic solar system. The installation costs, cost of ownership and use of the system, accumulated savings, are indicators, as well as VPN and IRR to calculate the cost of KWh generated by the photovoltaic system. All of the above with a view to obtaining environmental benefits derived from the change of energy source by determining the amount of CO2 that is allowed to emit to the environment and monetary value that is avoided when performing such action.

Key words: *environment, impact, lighting, solar cell.*



1. INTRODUCCIÓN

Nuestro actual modo de vida se basa en un modelo energético centrado en el consumo de combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón), y en el uso irracional de la energía, esto a causa de la era digital que vivimos actualmente, lo que simultáneamente conlleva la emisión a la atmósfera de importantes cantidades de gases de efecto invernadero (GEI), principales causantes del **cambio climático** (Alava, 2017). La generación de energía eléctrica en el departamento de Boyacá se basa en provocar el giro de un eje conectado a un generador eléctrico. En el caso de producción a través de energías no renovables se dispone de una caldera alimentada con combustibles fósiles (carbón) que produce el calentamiento de una gran masa de agua originándose así el vapor de agua que produce el eje del giro (Alava, 2017).

Con la finalidad de buscar una mejora a los problemas ambientales causados a través de las diferentes fuentes de energía convencionales, y a dar una posible solución a problemas actuales que posee la red de alumbrado público, como lo son, la pérdida de energía, variaciones de voltaje y deterioro de la tecnología actualmente utilizada. Este estudio busca demostrar la factibilidad de la implantación de una red de alumbrado público funcional a partir de luminarias led alimentadas por un sistema solar fotovoltaico independiente de la red eléctrica de la empresa EBSA. Ya que por sus características operacionales permiten mejorar el aspecto operacional de los sistemas de alumbrado

público, además que este tipo de sistemas son alimentados a partir de fuentes gratuitas e inagotables, lo que lleva a un gran ahorro en cuanto a costos de iluminación de las vías, áreas urbanas, parques, escuelas, entre otros.

La Ley 1715 de 2014 tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las Fuentes No Convencionales de Energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las Zonas No Interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético (UPME, 2014). En la Tabla 1, se presentan algunas ventajas para el uso de energía solar fotovoltaica en Colombia. Los incentivos tributarios permiten recuperar la inversión realizada en energías renovables en poco tiempo. Por un lado, está la depreciación acelerada de los activos del proyecto a cinco años con una tasa anual de depreciación máxima del 20%, ya que al depreciar un activo en un mayor porcentaje se pagan menos impuestos. También está el derecho a reducir de la renta el 50% del valor de la inversión del proyecto dentro de los primeros cinco años de la realización y según el Artículo 12 los equipos, elementos, maquinaria y servicios importados para la ejecución de estos emprendimientos están exentos de IVA y aranceles (Higueras, 2016).

TABLA 1
Ventajas de la tecnología solar fotovoltaica en Colombia

Ventajas	Comentarios
Existe un gran potencial solar en Colombia	La potencia solar en Colombia varía entre el 84% y el 58% del valor promedio anual máximo en el mundo (6,8 kWh/m ² en Arabia Saudita).
Es una tecnología limpia	Los sistemas fotovoltaicos (SFV) no generan residuos, emisiones, ruido durante su funcionamiento. No utilizan combustibles eliminando la peligrosidad de almacenamiento.
Se manejan amplios rangos de potencia	Desde un vatio hasta cientos de megavatios.
Los sistemas fotovoltaicos (SFV) son modulares	Permite fácilmente incrementar o disminuir la potencia, dependiendo como varíe la demanda y corregir problemas de sub o sobredimensionamiento.
Los SFV son móviles	Permite su fácil traslado, transporte e instalación.
Los SFV son de fácil manejo	Permiten una fácil aceptación por parte de todo tipo de usuario con un entrenamiento básico.
Los SFV requieren de poco mantenimiento	Se limita a la limpieza de módulos y mantenimiento de instalaciones de acuerdo al tipo de SFV utilizado.
Los módulos tienen una larga vida útil	Esta oscila entre 20 y 30 años. En la actualidad algunos fabricantes están garantizando una vida útil de 20 años para módulos industriales y 10 años para rurales.
Tiene costos de mantenimiento y operación bajos	Se limita al pago en comparación con otras alternativas energéticas de máximo un operario cuando el sistema lo amerite
Es cada vez más rentable frente a otras alternativas	Podrían servir para abrir mercado a la futura interconexión cuando la demanda lo justifique. El número de casos en que la alternativa fotovoltaica es más rentable depende de las diferentes condiciones de potencia instalada, número de usuarios y distancia a la red de interconexión. Ha crecido en los últimos años debido a la reducción de los costos de los módulos.

Fuente: Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas (INEA, 1996).

2. MARCO REFERENCIAL

El sol representa una fuente energética duradera para el hombre, pudiéndose aprovechar por su abundancia y disponibilidad, de forma natural o artificial, siendo un invariante en la organización agrícola, urbana e industrial, dicho aprovechamiento de la energía solar en forma directa se puede realizar mediante su captación por medio de los sistemas térmicos o fotovoltaicos (Diez Morante, 2016).

La sustentabilidad es “un proceso” que tiene por objetivo encontrar el equilibrio entre el medio ambiente y el uso de los recursos naturales. La humanidad en su paso por el planeta ha degradado los recursos naturales de tal forma que actualmente es necesario procurar y planear concienzudamente el consumo de

estos para garantizar su existencia en las generaciones futuras (Suazo Debernardi, 2018).

Este concepto surge en el año de 1987, cuando la World Commission on Environment and Development de las Naciones Unidas publicó el informe “Our common future” (Nuestro futuro en común), que está centrado en la idea del desarrollo sustentable o sostenible. Sin embargo, este concepto no fue realmente adoptado hasta 1992 por 180 jefes de Estado, en Río de Janeiro, durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el medio ambiente y el desarrollo. En dicha conferencia se acuerdan 27 principios relacionados con la sustentabilidad que se materializan en un programa mundial conocido como Agenda 21. (Centro de Cambio Global y la Sustentabilidad, 2014).

Existen diferentes enfoques para definir la sustentabilidad, la definición adoptada por la World Commission on Environment and Development y formulada en 1987 en el mismo informe Brundtland, “Our Common Future” es la siguiente: “El desarrollo sustentable hace referencia a la capacidad que haya desarrollado el sistema humano para satisfacer las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer los recursos y oportunidades para el crecimiento y desarrollo de las generaciones futuras”.

Las fuentes de energía renovables (FER) han estado presentes desde la aparición del hombre, quedando su uso en formas o producciones aisladas sin mayor importancia económica o social. (Batista Rodríguez & Urquiza Salgado, 2018).

Algunas tecnologías de la energía renovable pueden ser adoptadas en el lugar de consumo (en régimen descentralizado) en medios rurales y urbanos, mientras que otras son implantadas principalmente en redes de suministro de gran tamaño (en régimen centralizado) (IPCC, 2011).

2.1 Energía solar fotovoltaica

La energía procedente del Sol es radiación electromagnética proporcionada por las reacciones del hidrógeno en el núcleo del sol por fusión nuclear y emitida por la superficie solar (Ideam, 2019). La energía solar puede ser aprovechada en forma de energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico a través de sistemas solares definidos como “un conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren para captar la energía solar disponible y transformarla en utilizable (Méndez Muñoz & Cuervo García, 2011).

2.2. Sistema solar fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico es un conjunto de dispositivos que aprovechan la energía producida por el sol y la convierten en energía eléctrica. Los sistemas fotovoltaicos se basan en la capacidad de las celdas fotovoltaicas de transformar energía solar en energía eléctrica (DC). En un sistema conectado a la red eléctrica esta energía, mediante el uso de un inversor, es transformada a corriente alterna (AC), la cual puede ser utilizada en hogares e industrias.

La generación de energía eléctrica dependerá de las horas que el sol brille sobre el panel solar y del tipo y cantidad de módulos instalados, orientación, inclinación, radiación solar que les llegue, calidad de la instalación y la potencia nominal (Quiminet, 2011).

3. COMPONENTES DEL SISTEMA

3.1. Panel fotovoltaico

Un panel fotovoltaico es un tipo de panel solar diseñado para el aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica. Su función es transformar la energía solar en electricidad. Los paneles fotovoltaicos se pueden utilizar para generar energía eléctrica tanto en aplicaciones domésticas o en aplicaciones comerciales.

Los módulos fotovoltaicos están formados por un conjunto de celdas fotovoltaicas interconectadas entre ellas. Las células fotovoltaicas que componen un panel fotovoltaico se encuentran encajadas y protegidas. Estas son capaces de generar una tensión de unas décimas de voltio (+/- 0,5 V) y una potencia máxima de 1 o 2 Watts. Por tanto, es necesario conectar en serie varias células (que se comportan como pequeños generadores de corriente) para conseguir tensiones de 624 V, aceptadas en muchas aplicaciones (Solar, 2019).

Los tipos de paneles fotovoltaicos que se tendrán en cuenta durante el desarrollo del estudio son: el silicio mono cristalino, alcanza las mayores eficiencias en el mercado en la conversión de la luz en energía eléctrica, estas eficiencias al 2012 equivalen a un rendimiento de 14-20%, con una durabilidad de 25 años, aprox. Disminución de la eficiencia con la temperatura: silicio policristalino, con esta tecnología se obtienen eficiencias menores (11 al 15%), pero hay un ahorro en el costo, y finalmente de capa fina, su tecnología de capa fina se ha desarrollado con el fin de reducir los procedimientos tradicionales de fabricación de las tecnologías cristalinas, asociadas a altas pérdidas de material, su bajo costo, su gran absorción y su menor variación de rendimiento con la temperatura, están dentro de sus ventajas. Su principal desventaja, aparte de inferior rendimiento, es que requiere aproximadamente, el

doble de área para una misma potencia que las monocristalinas (Pereira, 2013).

Inversor. El inversor es el elemento que transforma la energía eléctrica (corriente continua) producida por los paneles en corriente alterna de las mismas características a la red eléctrica. Existen diferentes tipos de inversores, pero se considera recomendable escogerlo en función del tamaño de la instalación a realizar (MadridSolar, 2006).

Batería. Las baterías dan una energía constante, aunque los paneles capten a intervalos. Pueden suministrar una potencia más alta, como en el arranque de fluorescentes o motores. La capacidad dependerá de la radiación solar; por tanto, poner baterías más grandes no sirve, porque no se llenarán y se producirá sulfatación en ellas (Casa & Barrio, 2017).

4. DIMENSIONAMIENTO

A continuación, se presentan los criterios de diseño contemplados para el dimensionamiento adecuado de un sistema solar fotovoltaico.

4.1 Demanda energética

La demanda a ser cubierta por el sistema solar fotovoltaico será determinada a partir de la caracterización de los aparatos eléctricos componentes de la red de alumbrado público. Dicha caracterización está conformada por:

- Tipo y número de luminarias componentes de la red de alumbrado público caso de estudio.
- Potencia promedio, esta se determinará a partir del tipo de bombilla y componentes eléctricos de la luminaria.
- Potencia total, esta resulta de la multiplicación de la potencia promedio y la cantidad de las mismas luminarias.
- Horas de uso diario, este valor corresponde al intervalo de tiempo al cual se presta el servicio de alumbrado público.

- Consumo diario, corresponde a la multiplicación de la potencia total por tipo de luminaria y el número total de horas en las que trabajan las luminarias.

4.2 Orientación de los paneles solares

La mayor cantidad de energía que pueden absorber los paneles solares se dan cuando estos se encuentran ubicados de forma perpendicular a los rayos del sol, en algunas aplicaciones los paneles solares no se encuentran fijos, por lo tanto, su inclinación se modifica en función de la estación del año en la que se aproveche de mejor manera la energía proveniente del sol (Beltrán Soto, 2017).

A continuación, se presenta la Tabla 2, guía de inclinación para un panel solar, teniendo en cuenta la latitud del lugar.

TABLA 2

Inclinación del panel solar en relación a la latitud

Latitud del lugar	Angulo de inclinación del módulo
De 0° a 15°	15°
De 15° a 25°	El mismo que la latitud
De 25° a 30°	Latitud + 5°
De 30° a 35°	Latitud + 10°
De 35° a 40°	Latitud + 15°
M.0as de 40°	Latitud + 20°

Fuente: (Roldan Vilorio, 2010)

4.3 Horas solares pico

Este factor determina el número teórico de horas de sol diarias, para determinar dicho valor se usa la siguiente fórmula.

$$HSP = k * No \text{ de KWh/M2 día}$$

La constante K se determina con ayuda de las tablas de factor de corrección para superficies inclinadas (Cleanenergysolar, 2019).

El valor de la potencia total del arreglo de paneles es obtenido a partir de la siguiente expresión:

$$P_{tap} = \frac{(F_{cp} * D_e)}{I_s}$$

Donde: P_{tap} = potencia total del arreglo de paneles, F_{cp} = Factor de compensación por perdidas (referencia), D_e = demanda de energía, I_s = irradiación solar. Número de paneles:

$$N_{pfv} = \frac{E}{0.9(P_{tap} * I_s)}$$

Donde: N_{pfv} = Número de paneles fotovoltaicos, E = Consumo energético real, P_{tap} = Potencia total del arreglo de los paneles, I_s = Irradiación solar. Para este punto se tiene en cuenta:

$$E_t = P_{efect} * h$$

$$E = \frac{E_t}{R}$$

Donde: E_t = consumo teórico, P_{efect} = Potencia de la luminaria, H = Número de horas de uso por cada día, E = consumo energético real, R = Parámetro de rendimiento global de instalación fotovoltaica

$$R = (1 - K_b - K_c - K_v) * \left(1 - \frac{K_a * N}{P_d}\right)$$

K_a = Coeficiente de auto descarga diaria, K_b = Coeficiente de pérdidas por rendimiento del acumulador, K_c = Coeficiente de pérdidas, K_v = Coeficiente de pérdidas varias, N = Número de días de autonomía de la instalación, P_d = Profundidad de descarga de la batería.

4.4 Batería

Para este estudio se tomarán referencias bibliográficas (Llamuca Lamda & Caisaguano Moreano, 2016; Inguil Lema & Espinoza Ortega, 2014; Pazmiño & Cuasapaz, 2011), que son basados en estudios similares aplicados al alumbrado público, diciendo esto el valor de R será:

$$R = (1 - 0.05 - 0.05 - 0.05) * \left(1 - \frac{0.005 * 1}{0.5}\right) = 0.8415$$

4.5 Potencia total del banco de baterías

$$P_{tbb} = \frac{(A_{ut} * D_e)}{(E_b * D_m)}$$

Donde: P_{tbb} = potencia total del banco de baterías, A_{ut} = Autonomía, D_e = demanda energética E_b = Eficiencia de las baterías, D_m = Descarga máxima.

4.6. Capacidad total del banco de baterías

$$C_{tbb} = \frac{P_{tbb}}{V_s}$$

Donde: C_{tbb} = Capacidad total del banco de baterías, P_{tbb} = Potencia total del banco de baterías V_s = voltaje del sistema

4.7 Número de baterías:

$$N_b = \frac{C_{tbb}}{C_b}$$

Donde: N_b = Número de baterías, C_{tbb} = capacidad total del banco de baterías C_b = Capacidad de las baterías (150Ah/día).

4.8. Corriente del controlador

$$Acr = \frac{P_{tap}}{V_s}$$

Donde: Acr= corriente del controlador, P_{tap}= Potencia total del arreglo de paneles V_s= voltaje del sistema 12v

La implementación de estos sistemas solares fotovoltaicos y sistemas eólicos para la producción de energía, representa el desarrollo cultural y económico de la región, puesto que en la mayoría de los casos estas tecnologías tienen el apoyo y la financiación de gobiernos internacionales, además de que evitaría la quema de carbón mineral que es utilizado en las termo eléctricas funcionales en el departamento de Boyacá, las lagunas artificiales y el recurso hídrico utilizado para la generación de energía puede ser destinado al riego de cultivos, usos industriales y suministros de agua potable para las áreas en las que es difícil u escaso el servicio. La Figura 1 presenta una iluminaria tradicional a base de vapor de sodio.



Fig. 1. Iluminaria funcional a base de vapor de sodio.

Fuente: www.coservicios.com



Fig. 2. Iluminaria funcional a base led.

Fuente: www.coservicios.com

En la Figura 2 se muestra la instalación habitual de las luminarias tipo led dentro de un municipio. Habitualmente se presentan dos luminarias por cada poste para dar iluminación a ambos carriles de la vía, en las figuras 3 y 4 se presenta el orden y forma de la iluminaria con el panel solar incorporado.



Fig. 3. Iluminarias Led tradicional.

Fuente: www.coservicios.com



Fig. 4. Iluminaria Led con panel Solar incorporado
Fuente: *Pagina Web.

5. METODOLOGÍA

5.1 Fase 1. Diagnóstico de condiciones meteorológicas

La cual es diseñada con base en el objetivo que plantea el diagnóstico de las condiciones meteorológicas del municipio, para estimar el correcto funcionamiento de un sistema solar fotovoltaico como fuente de energía a la red de alumbrado público que funciona sobre la vía nacional que pasa por la ciudad.

5.1.1 Actividad 1: identificación de fuentes de información

Esta actividad se plantea para identificar la fuente de información más cercana al área de estudio, para esto se identifican dos estaciones meteorológicas localizadas en las coordenadas (5.726120, -72.920861) y (5.6762846, -72.970097) las cuales pertenecen al Ideam y reportan hasta la actualidad. Dichas estaciones proporcionan los datos a parámetros necesarios por el sistema solar fotovoltaico a plantear.

5.1.2 Actividad 2: solicitud de información

Por medio de la página virtual del Ideam se realiza la solicitud de datos a los parámetros que se relacionan directamente con el funcionamiento del sistema fotovoltaico, estos corresponden a la radiación solar, brillo solar, precipitación y temperatura, el periodo de tiempo se determinó a 30 años.

5.1.3 Actividad 3: interpretación de datos recibidos

El Ideam facilita el envío de los datos solicitados por el grupo de trabajo, esto se lleva a cabo por medio electrónico bajo un formato documento de texto, el cual debe ser pasado a una hoja de cálculo a Excel para facilitar su manejo y filtración. Ya en este programa se procede a aglomerar la información de forma tal que su interpretación sea mucho más fácil.

Teniendo en cuenta que la información solicitada es mensual, de los últimos 30 años, se genera el promedio mensual entre todos los años, con la finalidad de tener valores aproximados del comportamiento general de la zona de estudio y así poder generar las tablas, gráficas y relaciones interparametrales descritas en la siguiente actividad.

5.1.4 Actividad 4: relación interparietal

Los datos de brillo, radiación solar y precipitación se trabajarán en unidades de hora y mm respectivamente, con la finalidad de comparar las relaciones directas como lo son radiación solar-brillo solar, radiación solar-precipitación y brillo solar-precipitación, teniendo en cuenta que este último representa transversalmente el comportamiento de la nubosidad.

La determinación del comportamiento de la temperatura del lugar es importante para el dimensionamiento del sistema, puesto que de este parámetro depende la temperatura de trabajo de los módulos, lo que determina la eficiencia de operación de todo el sistema. Los valores tratados serán en intervalos medios, máximos y mínimos mensuales.

5.2 Fase 2. Caracterización de la red de alumbrado público y propuesta del sistema fotovoltaico

Esta fase corresponde al establecimiento de los requisitos del sistema fotovoltaico, de acuerdo con los requerimientos técnicos y energéticos actuales de la red de alumbrado público, que aseguren la calidad del suministro.

5.2.1 Actividad 1: diagnóstico de condiciones financieras

El diagnóstico de las condiciones financieras se determinará a partir de la cantidad de dinero que en un

periodo determinado se ve involucrado a cambio de la prestación del servicio de suministro de energía, para esto se estudiarán las facturas o consumos de energía correspondientes a los últimos 5 años, con la finalidad de determinar el comportamiento de costo por kilovatio y poder realizar una proyección a 25 años de dicho valor.

5.2.2 Actividad 2: diagnóstico energético

El diagnóstico energético, se determinará a través del número de elementos que consuman energía, en este caso, se habla directamente de las luminarias que se encuentran a lo largo de la vía de estudio, además de esto se determinaran las características técnicas y tiempos de usos diarios de cada uno de estas.

Esta actividad se plantea hacer por medio de visita a campo con la finalidad de tener mayor conocimiento de estado actual de la red y tener un inventario detallado de esta. A su vez se hace uso de planos en AutoCAD, aportados por la empresa de servicios públicos de la ciudad Coservicios, dicho plano es la representación catastral de la red en operación, se encuentran el tipo de luminaria, la especificación de la potencia, el sistema de arranque, altura y tipo de posta.

5.2.3 Actividad 3: cálculos base sistemas fotovoltaicos

Entre los cálculos y consideraciones necesarias para obtener la dimensión del sistema se encuentra la orientación e inclinación de los módulos, las horas solares pico, el factor de pérdidas del sistema, el número de módulos necesarios, la conexión de la instalación y el área necesaria que se debe destinar (Guevara Agudelo & Pérez Calderón, 2015).

Al igual que la actividad 2, el estudio del área requerida está ligada al área real en la cual se puede llevar a cabo el proyecto, y esta se determinará por medio de mediciones directas que se realizarán en una visita de campo.

5.2.4 Actividad 4: módulo fotovoltaico

El módulo fotovoltaico postulado, será aquel que cubra la demanda energética y las condiciones operacionales (permitir la iluminación continua durante

las 12 horas diarias normales de funcionamiento), que exige el tramo actual de la red de alumbrado público que es caso de estudio.

Para la propuesta se empleará el “método del peor mes”, el cual se basa en establecer las condiciones más desfavorables para el sistema y con esto asegurar que el módulo propuesto logre trabajar en la totalidad de los meses.

Teniendo en cuenta que el sistema fotovoltaico se propone a partir de las condiciones operacionales actuales, se plantea la opción dar una segunda alternativa la cual deberá garantizar el óptimo funcionamiento y mejoras técnicas y económicas sustentables.

5.3 Fase 3. Determinación y evaluación de indicadores técnico ambientales y económicos

Esta fase se basa en la evaluación por medio de indicadores económicos y ambientales de la viabilidad del sistema fotovoltaico planteado como fuente de energía.

5.3.1 Actividad 1: indicadores económicos

Para determinar los beneficios económicos de un sistema fotovoltaico, se requiere hacer uso de los indicadores como Valor Presente Neto (VPN), y la Tasa Interna de Retorno (TIR), el ahorro de energía se determinará a partir de la energía solar utilizada mediante proyecciones de costo KWh determinadas en el diagnóstico de condiciones financieras y la demanda energética.

En este punto se hace necesario determinar el costo de propiedad y uso del sistema fotovoltaico teniendo en cuenta la depreciación anual, calculada con el método de sumatoria de dígitos (este es un método de depreciación acelerado, en el cual la depreciación es mayor en los primeros años de vida del activo fijo, disminuyendo en los años subsecuentes), el costo capital y el costo por mantenimiento.

Los resultados de VPN se representan en términos absolutos, valores positivos implican la recuperación de la inversión adicional a los flujos superiores a cero;

valores negativos indican que los ahorros por la implementación del sistema fotovoltaico son inferiores a la inversión realizada. La TIR corresponde a la tasa en la que el VPN se hace cero lo que quiere decir que el valor actual de los ahorros futuros es igual al valor de la inversión.

5.3.2 Actividad 2: emisiones de CO₂

Con el fin de evaluar los beneficios medio ambientales derivados de la implementación del sistema solar fotovoltaico, se utilizará la metodología de cálculo de emisión de gases de efecto invernadero del Sistema Interconectado Nacional (Resolución 91304 del 2014) dado como toneladas de CO₂ por megavatio hora producidas, con el fin de determinar la reducción de estas emisiones por tratarse de un proyecto de mecanismo de desarrollo limpio (MDL) como lo es la energía solar fotovoltaica.

Para determinar el valor de regalías o el costo económico ahorrado por dejar de emitir la cantidad determinada de toneladas de CO₂ al ambiente, se lleva a cabo la consulta bibliográfica para conocer la variación de costos de derecho de emisión estipulado por los gobiernos europeos y las naciones unidas.

5.4 Fase 4. Análisis y conclusión de los indicadores

Para esta fase, se pretende agrupar las diversas conclusiones derivadas del desarrollo metodológico planteado y a su vez dar recomendaciones a futuros estudios basados en temas similares al aquí tratado.

5.4.1 Actividad 1: interpretación de resultados

En esta etapa se plantea interpretar y dar conclusión con base a los resultados obtenidos por cada uno de los indicadores que se determinan y se consideren durante la etapa anterior, y con el desarrollo metodológico en general, con la finalidad de verificar el cumplimiento de objetivos, frente a unos estándares esperados, explorar y analizar los impactos y efectos no esperados, tanto positivos como negativos.

6. PROPUESTA DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para que el sistema fotovoltaico propuesto cumpla a cabalidad con las condiciones técnicas actuales, se hace necesario realizar un inventario detallado del número y tipo de elementos eléctricos funcionales, con la finalidad de determinar la demanda energética, tiempos y costos de operación.

6.1 Producción de energía esperada del sistema fotovoltaico

Teniendo en cuenta que la vida útil del sistema fotovoltaico es de 25 años y la demanda energética es de 58792.238 W y el consumo energético se estima a partir de la demanda multiplicada por el número de horas de uso del sistema, que para este caso es de 12 horas. La producción de energía estimada en este periodo corresponde a:

$$\begin{aligned} & \text{Generación estimada} \\ & = \text{Etotal consumida por día} \\ & * 365 \text{ días} * 25 \text{ años} \\ & \text{Generación estimada} \\ & = 705.506 \text{ KWd} \\ & * 365 \text{ días} * 25 \text{ años} \\ & \text{Generación estimada} \\ & = 6'848.367.250 \text{ KWd} \end{aligned}$$

Se espera que, con las condiciones operacionales actuales de la red de alumbrado público, el sistema fotovoltaico en el periodo de su vida útil logre generar 6'848.367.250 KWd. Cabe destacar que, hasta este punto, la demanda y consumo del sistema actual como el del sistema fotovoltaico es el mismo, puesto que alimentan los mismos aparatos eléctricos.

6.2 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

6.2.1 Orientación de los paneles solares

La mayor cantidad de energía que puede absorber los paneles solares se da cuando estos se encuentran en posición perpendicular a los rayos de sol. Para garantizar esto se hace uso de la guía del ángulo de inclinación derivado de la latitud del lugar.

6.2.2 $KWh/m^2 d$ para un municipio

Teniendo en cuenta las medias mensuales del parámetro de radiación solar para un municipio, se utilizará como criterio de diseño la medida más baja para garantizar el funcionamiento en el caso más desfavorable para el sistema fotovoltaico postulado, dicho valor estimado corresponde a $4.3 KWh/m^2 día$.

6.2.3 Número teórico de horas solares pico

Dicho valor será calculado con la siguiente fórmula:

$$HSP = k * No de \frac{KWh}{m^2} día$$

En donde el valor de radiación solar corresponde a $4.3 KWh/m^2 día$ lectura la cual pertenece al mes de octubre. La constante K toma un valor de 1.04, este valor se determina con ayuda de las tablas de factor de corrección de para superficies inclinadas (Cleanenergysolar, 2019), el valor de esta constante se determina a partir de la latitud del lugar, grado de inclinación y el mes al cual corresponde la lectura de la radiación solar.

Remplazando valores nos da el siguiente resultado:

$$HSP = 1.04 * 4.3 \frac{KWh}{M^2} día = 4.47 h$$

6.2.4 Determinación de paneles solares

Teniendo en cuenta la variedad de luminarias que conforman la red de alumbrado público se busca adaptar a cada una de estas un panel solar, batería y regulador de corriente. El criterio de selección se deriva del área dispuesta para la instalación y el consumo de la luminaria.

Todas las fórmulas enunciadas a continuación son descritas a mayor detalle en el marco de referencia del presente documento.

A continuación, se muestran las fórmulas que se utilizan para la determinación de los tipos de paneles

necesarios para el sistema, posterior a esto se presenta la Tabla 3 en la cual se muestra en resumen la aplicación de estas fórmulas a cada tipo de luminaria, teniendo en cuenta el número máximo de horas solares que es un 4.5 h, un factor de pérdidas de 0.9 y un parámetro de rendimiento global fotovoltaico de 0.8415.

Potencia total del arreglo de paneles solares.

$$Ptap = \frac{(Fcp * De)}{Is}$$

Consumo teórico.

$$Et = Pefect * h$$

Consumo energético real

$$E = \frac{Et}{R}$$

Número de paneles.

$$Npfv = \frac{E}{0.9(Ptap * Is)}$$

6.2.5 Baterías del sistema fotovoltaico

En este punto se determina usar baterías de 12 v con capacidad de 150 ah/día, a continuación, se presentan las fórmulas usadas para determinar la potencia, capacidad y número de baterías que exige el sistema a cada tipo de luminarias, posteriormente se presenta la Tabla 4 en forma de resumen a la aplicación de estas.

Potencia total de la batería

$$Ptbb = \frac{(Aut * De)}{(Eb * Dm)}$$

Capacidad de la batería

$$Ctbb = \frac{Ptbb}{Vs}$$

Número de baterías.

$$Nb = \frac{Ctbb}{Cb}$$

6.2.6 Corriente del controlador

Este aparato es determinado a partir de la siguiente fórmula, la Tabla 5 presenta el resumen de los cálculos para cada luminaria.

$$Acr = \frac{Ptap}{Vs}$$

TABLA 3
Cálculo del número de paneles para cada tipo de luminarias

CALULO DE No PANELES PARA CADA TIPO DE LUMINARIA								
Tipo de luminaria	W	Potencial total de la luminaria	Consumo energetico [Wh/día]	Potencia Total de arreglo de paneles [Wp]	Consumo terico	Parametro de rendimiento global	Consumo energetico real	No de paneles
Na con Ftocelda	70	85,974	1031,69	206	1031,688	0,8415	1226,01	1,5
Na con Ftocelda	150	171,7	2060,40	412	2060,4	0,8415	2448,48	1,5
Na con Ftocelda	250	281,7	3380,40	676	3380,4	0,8415	4017,11	1,5
Na con Ftocontrol	150	169,8	2037,60	408	2037,6	0,8415	2421,39	1,5
Led	50	51,9	622,80	125	622,8	0,8415	740,11	1,5
Led	100	101,9	1222,80	245	1222,8	0,8415	1453,12	1,5

Fuente: Caicedo (2020)

TABLA 4
Baterías funcionales a cada tipo de luminarias

Baterias funcionales a cada tipo de luminarias				
Tipo de luminaria	Consumo energetico [Wh/día]	Potencia total de baterias [Wh/día]	Capacidad de baterias	No de baterias
Na con Ftocelda	1031.688	2579	215	1
Na con Ftocelda	2060.4	5151	429	3
Na con Ftocelda	3380.4	8451	704	5
Na con Ftocontrol	2037.6	5094	425	3
Led	622.8	1557	130	1
Led	1222.8	3057	255	2

Fuente: Caicedo (2020)

TABLA 5

Controlador funcional para cada tipo de luminaria

Controlador funcional para cada tipo de luminaria			
Tipo de luminaria	Consumo energético [Wh/día]	Potencia total de baterías [Wh/día]	Corriente del controlador
Na con Ftocelda	1031.688	2579	17
Na con Ftocelda	2060.4	5151	34
Na con Ftocelda	3380.4	8451	56
Na con Ftocontrol	2037.6	5094	34
Led	622.8	1557	10
Led	1222.8	3057	20

Fuente: Caicedo (2020)

6. BENEFICIOS AMBIENTALES

La energía obtenida a partir de la luz solar siempre va a ser limpia y renovable, lo que resulta en un enorme beneficio al medioambiente frente a las fuentes de energía convencionales, ya que reduce de manera significativa la huella de carbono y los gases de efecto invernadero.

La energía solar fotovoltaica, al igual que otras energías renovables, constituyen, frente a los combustibles fósiles un mejoramiento que se evidencia en que contribuyen al autoabastecimiento energético nacional y por lo tanto social, con un impacto comparativamente mucho menor que las fuentes convencionales de energía (Ineel, 2018). Los efectos de la energía solar fotovoltaica sobre los principales factores ambientales son los siguientes:

- **Clima:** la generación de energía eléctrica directamente a partir de la luz solar no requiere ningún tipo de combustión, por lo que no se produce contaminación térmica ni emisiones de CO₂ que favorezcan el efecto invernadero. (Ineel, 2018).
- **Geología:** las células fotovoltaicas se fabrican con silicio, elemento obtenido de la arena, muy abundante en la naturaleza y del que no se requieren cantidades significativas. Por lo tanto, en la fabricación de los paneles fotovoltaicos no se producen alteraciones en las características litológicas, topográficas o estructurales del terreno. (Ineel, 2018).
- **Medio social:** el suelo necesario para instalar un sistema fotovoltaico de dimensión media, no representa una cantidad significativa como para producir un grave impacto.
- **Suelo:** al no producirse ni contaminantes, ni vertidos, ni movimientos de tierra, la incidencia sobre las características físico-químicas del suelo o su erosionabilidad es nula. Aguas superficiales y subterráneas: No se produce alteración de los acuíferos o de las aguas superficiales ni por consumo, ni por contaminación por residuos o vertidos (Ineel, 2018).
- **Aguas superficiales y subterráneas:** no se produce alteración de los acuíferos o de las aguas superficiales ni por consumo, ni por contaminación por residuos o vertidos. (Ineel, 2018).
- **Flora y fauna:** la repercusión sobre la vegetación es nula, y, al eliminarse los tendidos eléctricos, se evitan los posibles efectos perjudiciales para las aves (Ineel, 2018).
- **Paisaje:** los paneles solares tienen distintas posibilidades de integración, lo que hace que sean un elemento fácil de integrar y armonizar en diferentes tipos de estructuras, minimizando su impacto visual. Además, al tratarse de sistemas autónomos, no se altera el paisaje con postes y líneas eléctricas (Ineel, 2018).
- **Ruidos:** el sistema fotovoltaico es absolutamente silencioso, lo que representa una clara ventaja frente a los generadores de motor en viviendas aisladas (Ineel, 2018).

6.1 Rendimiento medio ambiental del sistema solar fotovoltaico

6.1.1 Emisiones derivadas de la producción de energía por medio del sistema fotovoltaico

El cálculo de emisiones de CO₂ se realiza a partir de la producción estimada de KW que se espera parte del sistema fotovoltaico a lo largo de su vida útil y la aplicación del factor marginal de emisión de gases de efecto invernadero del Sistema Interconectado Nacional que según la Resolución 91304 de 2014 tiene un valor de 0,374 TonCO₂/MWh.

Teniendo en cuenta el cambio de tipo de luminarias, se hace necesario aclarar la nueva generación de energía estimada.

$$\begin{aligned} \text{Generación estimada} \\ &= \text{Etotal consumida por día} \\ & * 365 \text{ días} * 25 \text{ años} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Generación estimada} \\ &= 430828 \text{ KWd} \\ & * 365 \text{ días} * 25 \text{ años} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Generación estimada} \\ &= 3931312,8 \text{ KWd} \end{aligned}$$

A continuación, se realiza la conversión de unidades.

$$\begin{aligned} \text{Generación estimada [MWh]} \\ &= \frac{3931312,8 \text{ KWd}}{1 \text{ MWh}} \\ & * \frac{1000 \text{ KWd}}{1 \text{ MWh}} \\ \text{Generación estimada [MWh]} \\ &= 3931.3128 \text{ MWh} \end{aligned}$$

Con la generación estimada por el sistema solar fotovoltaico en las unidades correctas, se aplica el valor establecido por la resolución ya mencionada.

$$\begin{aligned} \text{Emisión de CO}_2 \\ &= \frac{3931.3128 \text{ MWh}}{0.374 \text{ Ton CO}_2} \\ & * \frac{1 \text{ MWh}}{1 \text{ MWh}} \\ \text{Emisión de CO}_2 &= 1470.311 \text{ Ton CO}_2 \end{aligned}$$

Con la generación de energía por medio del sistema solar fotovoltaico se está contribuyendo a reducir la emisión de 1.470.311 Ton de CO₂ a la atmósfera durante los 25 años de vida útil del sistema.

6.2 Valor monetario de las emisiones

Teniendo en cuenta los precios de cobro por tonelada de CO₂ dados por el comercio internacional de emisiones (Sende CO₂, 2019), se toma el valor comercial que aplica al mes de abril del 2019, el cual es de 52.67€ EUA o 0.22€ CER.

$$\begin{aligned} \text{Costo emisión CO}_2 \text{ EUA} \\ &= 52.67€ \\ & * 1470.311 \text{ Ton CO}_2 \end{aligned}$$

$$\text{Costo emisión CO}_2 \text{ EUA} = 77441.28€$$

$$\begin{aligned} \text{Costo emisión CO}_2 \text{ CER} \\ &= 0.22€ \\ & * 1470.311 \text{ Ton CO}_2 \end{aligned}$$

$$\text{Costo emisión CO}_2 \text{ CER} = 323.468€$$

7. CONCLUSIONES

Se evidencia que las condiciones meteorológicas no presentan variaciones abruptas durante el transcurso del año, la temperatura de la zona permite un óptimo almacenamiento de la energía producida por los paneles solares implementados, además la radiación solar promedio en un municipio tiene una media de 4.7 KWh/m²*día lo cual es ideal para la implementación del sistema solar fotovoltaico.

Al realizar el dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico bajo el método del peor mes como se plantea en la metodología, se garantiza que el sistema funcione durante los periodos críticos que se pueden llegar a presentar en los meses de junio, agosto, septiembre y octubre; meses en los cuales se registra las mediciones de radiación solar más bajas.

Las luminarias actuales son obsoletas frente al avance tecnológico de esta área. Para suplir esta falencia la alternativa dos se basa en el remplazo de las luminarias funcionales a base de vapor de sodio por luminarias tipo led ya funcionales dentro de la red de alumbrado público (50W y 100W). Dichas luminarias presentan una mayor durabilidad funcional y una mejor eficiencia energética.

Con la implementación del sistema fotovoltaico y la alternativa planteada, se logra evidenciar la diferencia en el consumo energético entre este y el sistema actual durante 25 años. se habla de que el sistema convencional actual consume 6.848.367.250 KWd y con la alternativa planteada se genera un consumo de 3.931.312,8 KWd. Lo cual conlleva a que el valor de KWd sea de \$289.05 valor que comparado con la última lectura de \$548.24 registrada para el mes de abril del año 2019, representa un 52%.

En términos ambientales se demuestra el gran beneficio que se deriva de la implementación de fuentes de energía limpias, dicho beneficio es lograr emitir al medio ambiente 1.470.311 toneladas de CO₂ derivados de la producción de energía durante 25 años por parte del sistema solar fotovoltaico propuesto.

REFERENCIAS

- Alava, C. d. (2017). ¿Quieres conocer el impacto ambiental del consumo energético y cuidar el medio ambiente? Universidad del País Vasco. Recuperado de: <https://www.ehu.es/es/web/araba/campus-iraunkorra-energia-kontsumoa-eraginak>
- Batista Rodríguez, C. & Urquiza Salgado, R. (2018). Experiencias de la Universidad Antonio Nariño, Sede Tunja, en el aprovechamiento de las fuentes de energía renovable. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo*, 9(2), Recuperado de: http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/RA/article/view/3217/1734
- Beltrán Soto, J. M. (2017). Metodología de diseño para instalaciones solares residenciales en la ciudad de Medellín. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. Recuperado de: <http://bdigital.unal.edu.co/58668/1/1037605169.2017.pdf>
- Caicedo, J. (2020). Evaluación técnico ambiental para la implementación del sistema fotovoltaico para la iluminación de la vía nacional que cruza la ciudad de Sogamoso (Boyacá). Tesis de grado. Facultad de Ingeniería. Universidad de La Salle. Bogotá.
- Casa, M. & Barrio, M. (2017). *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*. Mexico: Alfaomega.
- Centro de Cambio Global y la Sustentabilidad, A. (2014). ¿Qué es sustentabilidad? Centro de Cambio Global y la Sustentabilidad, A.C. Recuperado de: <http://ccgss.org/sustentabilidad/>
- Cleanenergysolar. (13 de mayo de 2019). Tablas. Factor de corrección de K para superficies inclinadas. Recuperado de: <https://renovablesconsaburum.files.wordpress.com/2015/12/tablas-factor-correccion-k.pdf>
- Guevara Agudelo, C. Y. & Pérez Calderón, M. L.. (2015). Análisis de viabilidad del suministro de energía eléctrica a la granja la fortaleza ubicada en Melgar – Tolima mediante la implementación de un sistema solar fotovoltaico. Tesis de grado. Universidad Libre, Bogotá. Recuperado de: <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7962/Proyecto%20de%20grado%20final.%20Guevara%20y%20Perez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Diez Morante, F. J. (2016). Optimización del rendimiento de los sistemas solares térmicos mediante modelos neurales. Tesis doctoral. Universidad de Valladolid, Valladolid. Recuperado de: <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/21048>
- Dinero. (2019). Transición y coexistencia energéticas de las fuentes fósiles a las renovables. *Dinero*. Recuperado de: <https://www.dinero.com/opinion/articulo/transicion-y-coexistencia-energeticas-de-las-fuentes-fosiles-a-las-renovables/278434>
- Energía Solar. (2018). Panel fotovoltaico. *Energía Solar*. Recuperado de: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/panel-fotovoltaico>
- García, J. M. (2011). *Energía solar fotovoltaica*. Madrid: FC.
- Higueras, D. (15 de 03 de 2016). La Ley 1715: ¿amiga del inversionista en renovables? *Semana Sostenible*. Recuperado de: <https://sostenibilidad.semana.com/opinion/articulo/la-ley-1715-amiga-del-inversionista-en-renovables/34768>
- https://www.coservicios.com/search?q=coservicios&rlz=1C1CHBD_esCO780CO781&oq=coservicios&aqs=chrome..69i57j0l7.6349j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8
- https://www.google.com/search?q=luminaria+led+con+panel+solar&rlz=1C1CHBD_esCO780CO781&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=hKs2KhxXv9YQAM%253A%252CePE1zoBtfaOx8M%252C_&vet=1&usg=AI4_-kRgYZF9njs1n35TRHv1BEC9nM6sTA&sa=X&ved=2ahUKewjEgcTEst7nAhVFqZ4KHbfBN0Q9QEwCHoECAkQLA#imgrc=hKs2KhxXv9YQAM
- Ideam. (18 de marzo de 2019). Radiación solar. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar>
- Inea. (1996). *Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas INEA*.
- Ineel. (mayo de 2018). ¿Qué impacto ambiental tiene la energía solar fotovoltaica?. Recuperado de: https://www2.ineel.mx/proyectofotovoltaico/preg_12.html
- Inguil Lema, A. M. & Espinoza Ortega, H. S. (2014). Análisis Modelado y Validación de un Sistema Fotovoltaico para el Alumbrado de la Avenida de las Américas. Tesis de grado. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca. Recuperado de: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6867>
- Invias, I. N. (11 de abril de 2019). Invias. Recuperado de: <https://hermes.invias.gov.co/carreteras/>
- IPCC, G. c. (2011). Informe especial sobre fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático. Recuperado de:

- <https://www.colef.mx/evento/informe-especial-sobre-las-fuentes-de-energia-renovable-y-mitigacion-del-cambio-climatico/>
- Llamuca Lamda, A. B. & Caisaguano Moreano, A. X. (2016). Control y monitoreo de un sistema de generación de energía eléctrica con paneles solares para el alumbrado público en la facultad de informática y electrónica. Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba. Recuperado de: <http://dspace.esoch.edu.ec/handle/123456789/6127>
- MadridSolar. (2006). *Guía de la energía solar*. Madrid: MadridSolar.
- Méndez Muñoz & Cuervo García, J. (2011). *Energía Solar Fotovoltaica*. Madrid, España: Fundación Cinfemental.
- Pazmiño, M. & Cuasapaz, L. A. (2011). Cálculo del sistema de electrificación solar para cubrir la demanda de iluminación en un barco turístico en el archipiélago de Galápagos. Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil. Recuperado de: <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/17117/1/informe%20cycit%20final.pdf>
- Pereira, M. (2013). *Energía Solar Fotovoltaica. Sistemas Solares Fotovoltaico para la producción*.
- Quiminet. (16 de 11 de 2011). *Quiminet*. Obtenido de <https://www.quiminet.com/articulos/que-es-un-sistema-fotovoltaico-2638847.htm>
- Roldán Vilorio, J. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid: Paraninfo.
- Suazo Debernardi, B. (27 de abril de 2018). Sustentabilidad y tecnología verde. Formas para convivir con la Tierra. *gestiopolis*. Recuperado de: <https://www.gestiopolis.com/sustentabilidad-y-tecnologia-verde-formas-para-convivir-con-la-tierra/>
- UPME, U. (2014). *Guía práctica para la aplicación de los incentivos tributarios de la ley 1715 de 2014*. Recuperado de: https://www1.upme.gov.co/Documents/Cartilla_IGE_Incentivos_Tributarios_Ley1715.pdf