

ANÁLISIS BENEFICIO-COSTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN EL CAMPUS AGUAS CLARAS DE LA
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SEDE VILLAVICENCIO, META



GINNA MARCELA BENITO MOLINA
KAREN JULIETH RUIZ CALDERÓN

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2018

ANÁLISIS BENEFICIO-COSTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN EL CAMPUS AGUAS CLARAS DE LA
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SEDE VILLAVICENCIO, META

GINNA MARCELA BENITO MOLINA
KAREN JULIETH RUIZ CALDERÓN

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Ingeniera Ambiental.

Asesor:

Mg. LEIDY JOHANA ARIZA MARÍN
Magister en Gestión Ambiental Sostenible,

Codirector

Mg. JORGE ARTURO BOÑALOS BRICEÑO
Magister en Gestión Ambiental Sostenible,

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2018

Autoridades Académicas

P. JUAN UBALDO LÓPEZ SALAMANCA, O. P.

Rector General

P. MAURICIO ANTONIO CORTÉS GALLEGO

Vicerrector Académico General

P. JOSÉ ARTURO RESTREPO RESTREPO, O. P.

Rector Sede Villavicencio

P. FERNANDO CAJICÁ GAMBO, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decana Facultad de Ingeniería Ambiental

Nota De Aceptación

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decana de la Facultad de Ingeniería Ambiental

LEIDY JOHANA ARIZA MARÍN

Director trabajo de grado

ALFONSINA BOCANEGRA GOMÉZ

Jurado

OLGA LUCIA CUBIDES DUSSAN

Jurado

Villavicencio, 19 de Abril de 2018

Dedicatoria

A Dios, a toda mi familia, mis hermanas,
sobrinos que son mi motivo de vida, allegados y docentes de la universidad,
pero en especial a mis padres, porque son mi fortaleza
y a quien debo todo lo que soy y me han motivado a culminar este proceso,
el esfuerzo y la dedicación por sacarme adelante, mil gracias.

Ginna Benito

A Dios, mis padres, mis profesores y mi novio,
por su apoyo incondicional, confianza y amor,
gracias por ayudarme a cumplir mis objetivos
y lograr crecer como persona y profesional en el proceso.

Karen Ruiz

Agradecimientos

Agradecemos a Dios por guiarnos durante este camino y brindarnos las herramientas necesarias para dar culminación a este proyecto que más allá de ser el final de una etapa, marca el inicio de otra más grande.

También a nuestra directora del proyecto de grado Leidy Johana Ariza Marín y al codirector Jorge Arturo Bolaños Briceño, por el tiempo dedicado, el seguimiento, por la confianza, la orientación brindada y la supervisión continua, además de la motivación y el apoyo recibido a lo largo de las tutorías ofrecidas y por ser unos excelentes docentes.

A aquellos profesores que por verdadera vocación compartieron sus conocimientos con nosotros, contribuyendo a nuestra formación como profesionales, gracias por dedicarse a una de las profesiones más valiosas que hay.

Por último, gracias a la decana de la facultad ingeniera Natalia Mosquera Beltrán que aparte de ser una excelente persona, también es una maravillosa profesional, gracias por su entrega, ejemplo, dedicación y compromiso por el futuro de cada uno de nosotros y por orientarnos al mejor camino, de igual forma a todas las personas e instituciones involucradas por facilitar la información necesaria para la elaboración de este proyecto y permitir el acceso a datos de la universidad Santo Tomas campus Aguas Claras.

Contenido

Contenido	vii
Lista de figuras	ix
Lista de tablas	x
Glosario	xi
Resumen	1
Palabras Claves	2
Abstract	3
Keywords	4
Introducción	5
1. Planteamiento del problema	8
2. Objetivos	10
2.1. General.....	10
2.2. Específicos.....	10
3. Justificación.....	11
4. Alcance.....	14
5. Antecedentes	15
6. Marco de referencia.....	21
6.1. Marco teórico.....	21
6.2. Marco Conceptual.....	24
6.3. Marco Legal.....	26
7. Metodología	29
7.1. Recolección de Información.....	29
7.1.1. Medición consumo energético mensual del campus aguas claras.....	30
7.1.2. Obtención promedios mensuales de radiación solar	30
7.1.3. Obtención del área disponible para la implementación del sistema.....	30
7.1.4. Dimensionamiento del sistema solar.....	30

Análisis beneficio-costo de la implementación de un sistema de energía solar...

7.1.5.	Cálculo de los costos de venta e implementación del sistema	31
7.2.	Realización de Cálculos y Matrices.....	31
7.2.1.	Matriz de impacto ambiental EPM.....	31
7.2.2.	Indexación de los valores económicos de costos y beneficios.....	33
7.3.	Análisis de resultados y recomendaciones:	34
8.	Resultados	36
8.1.	Consumo energético mensual del campus aguas claras	36
8.2.	Promedios mensuales de radiación solar de Villavicencio Meta	40
8.3.	Área disponible para la implementación del sistema:	42
8.4.	Dimensionamiento del sistema solar Aislado e Interconectado	43
8.4.1.	Sistema solar aislado	44
8.4.2.	Dimensionamiento del sistema Interconectado a la red:.....	48
8.5.	Costos de los componentes del sistema:.....	49
8.6.	Matrices de Impacto Ambiental	51
8.6.1.	Impacto del suelo	54
8.6.2.	Impacto del recurso hídrico.....	54
8.6.3.	Impactos sobre la atmósfera.....	55
8.7.	Reducción de Dióxido de Carbono.....	57
8.8.	Indexación de valores económicos:.....	58
8.8.1.	Costos de implementación, operación y mantenimiento del sistema.....	59
8.8.1.	Beneficios.....	61
8.8.2.	Flujo de efectivo e Indicadores financieros:	63
9.	Discusión de resultados	67
	Conclusiones	69
	Recomendaciones.....	70
	Referencias Bibliográficas	71
	Apéndices.....	75

Lista de figuras

Figura 1. Ubicación del Campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás, sede Villavicencio, en el departamento del Meta.	14
Figura 2. Proceso de generación de electricidad fotovoltaica.	22
Figura 3. Objetivos de desarrollo y la energía solar. Fuente:(Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible, 2016).....	23
Figura 4. Esquema metodológico según las etapas en que fue dividido el proyecto.	29
Figura 5. Histórico del Consumo de Energía eléctrica a partir del año 2013 al 2018 del Campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás.....	38
Figura 6. Histórico de los costos del consumo de energía eléctrica a partir del año 2013 al 2017 del Campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio.	39
Figura 7. Promedios de Radiación Mensual de los años 2007 al 2016 de Villavicencio-Meta	41
Figura 8. Área disponible para la implementación del sistema en la segunda fase de construcción (bloque B) de la universidad campus Aguas Claras	42
Figura 9. Matriz de evaluación de impacto ambiental para la energía convencional producida en hidroeléctricas en Colombia.....	56
Figura 10. Matriz de evaluación de impacto ambiental para el sistema fotovoltaico conectado a la red.....	57
Figura 11. Matriz de evaluación de impacto ambiental para el sistema fotovoltaico aislado.	57

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Componentes de la Calificación Ambiental. Metodología EPM.</i>	33
Tabla 2. <i>Indicadores financieros calificados para evaluar un proyecto de inversión.</i>	34
Tabla 3. <i>Promedios mensuales de radiación obtenidos de la estación del ICA de Villavicencio-Meta.</i>	40
Tabla 4. <i>Proveedores del servicio del sistema fotovoltaico.</i>	43
Tabla 5. <i>Características de los elementos del sistema solar aislado</i>	44
Tabla 6. <i>Dimensiones del panel Suntech "A" grade 280W.</i>	45
Tabla 7. <i>Características del controlador.</i>	46
Tabla 8. <i>Características del inversor.</i>	48
Tabla 9. <i>Componentes del sistema fotovoltaico aislado.</i>	48
Tabla 10. <i>Componentes del sistema fotovoltaico conectado a la red.</i>	49
Tabla 11. <i>Cotización de los componentes del sistema</i>	49
Tabla 12. <i>Costos por sistema</i>	50
Tabla 13. <i>Reducción de dióxido de carbono (CO2).</i>	58
Tabla 14. <i>Costos de cotización de instalación, operación y mantenimiento para la puesta en marcha del sistema conectado a la red.</i>	60
Tabla 15. <i>Costos de cotización de instalación, operación y mantenimiento para la puesta en marcha del sistema aislado.</i>	60
Tabla 16. <i>Energía consumida del sistema eléctrico convencional del campus Aguas Claras sede Villavicencio.</i>	61
Tabla 17. <i>Aporte en porcentaje del ahorro energético para el campus Aguas Claras universidad Santo Tomás sede Villavicencio.</i>	62
Tabla 18. <i>Ahorro en costos energéticos en la implementación del sistema fotovoltaico del campus Aguas Claras sede Villavicencio.</i>	62
Tabla 19. <i>Flujo de fondos del sistema aislado.</i>	64
Tabla 20. <i>Flujo de fondos del sistema Conectado a la red.</i>	65
Tabla 21. <i>Indicadores financieros de los dos sistemas.</i>	66
Tabla 22. <i>Cronograma de actividades por etapa del proyecto.</i>	75

Glosario

Análisis coste/beneficio: planteamiento teórico aplicado a toda evaluación sistemática cuantitativa de un proyecto público o privado, para determinar si éste es oportuno desde una perspectiva pública o social y en qué medida (FEDER, 2003).

Baterías: Acumulan la energía que reciben de los paneles. Cuando hay consumo, la electricidad la proporciona directamente la batería y no los paneles (Celemin Cuellar, 2016)

Eficiencia Energética: Es la relación entre la energía aprovechada y la total utilizada en cualquier proceso de la cadena energética, que busca ser maximizada a través de buenas prácticas de reconversión tecnológica o sustitución de combustibles. A través de la eficiencia energética se busca obtener el mayor provecho de la energía, bien sea a partir del uso de una forma primaria de energía o durante cualquier actividad de producción, transformación, transporte, distribución y consumo de las diferentes formas de energía, dentro del marco del desarrollo sostenible y respetando la normatividad vigente sobre el ambiente y los recursos naturales renovables (“LEY 1715,” 2014).

Energías renovables: son aquellas que se producen de manera continua y son inagotables a escala humana. Además tienen la ventaja adicional de poder complementarse entre sí, favoreciendo la integración entre ellas (Méndez Muñoz & Cuervo García, 2007).

Radiación difusa: es la parte de la radiación solar procedente de la dispersión de la radiación a su paso por la atmosfera. Es el único tipo de radiación que existe en un día nublado (Moro Vallina, 2010).

Radiación solar directa: La radiación directa es la parte de la radiación solar que llega en la dirección del sol y proyecta sombras sobre los objetos. Podemos observarla únicamente en los días soleados (Moro Vallina, 2010).

Análisis beneficio-costo de la implementación de un sistema de energía solar...

Sistema solar fotovoltaico: es la tecnología que realiza una conversión directa de la radiación del sol en electricidad, a través de la célula o celda solar, unidad básica en la que se produce el efecto fotovoltaico (Abella, 2001).

Sistema solar fotovoltaico aislado: es el sistema que 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 períodos en los que la generación es inferior al consumo (Perpiñán Lamigueiro, 2015a)

Sistema solar interconectado: Son aquellos que están conectados directamente a la red eléctrica, sin necesidad de baterías (Abella, 2001).

Tasa interna de retorno: La TIR es la tasa de descuento de un proyecto de inversión que permite que el beneficio neto actualizado (BNA) sea igual a la inversión (esto es, VAN igual a cero). La TIR es la máxima tasa de descuento que un proyecto puede tener para ser rentable, pues una mayor tasa ocasionaría que el BNA sea menor que la inversión (VAN menor que cero) (Santa Cruz, 2017).

Valor actual neto: El VAN es un indicador financiero que mide los flujos de los futuros ingresos y egresos que tendrá un proyecto, para determinar, si luego de descontar la inversión inicial, quedaría alguna ganancia. Si el resultado es positivo, el proyecto es viable (Santa Cruz, 2017).

Resumen

Los estudios sobre la energía fotovoltaica se postulan como una alternativa válida desde el punto de vista social, económico y ambiental para alcanzar un desarrollo sostenible, en las regiones no interconectadas sin dejar de lado las conectadas; además, es una gran oportunidad para diversificar las fuentes de generación. Esto sumado al escenario legal de la Ley 1715 del 2014 y colocando a Colombia en un potencial generador de energía, dadas las condiciones de su ubicación geográfica y entorno natural favorecen que a futuro la energía consumida sea de origen renovable (Celemin Cuellar, 2016); sin embargo, existen limitaciones para su estudio e implementación, por lo que se considera que uno de los principales factores que explica esta situación es el hecho de que las decisiones de inversión se basan en criterios como los precios de mercado, pues en efecto se argumenta que son costosos y se desconoce los beneficios ambientales y sociales derivados de la utilización de la energía solar.

Considerando lo anterior, este documento presenta los resultados de un ejercicio investigativo orientado al análisis de la relación beneficio-costos en la implementación de un sistema fotovoltaico complementario para el campus Aguas Claras de la universidad Santo Tomás sede Villavicencio, comparando los tipos de sistemas aislado e interconectado. A partir de datos de consumo energético y cantidad de radiación solar, así como la evaluación de los impactos ambientales asociados a cada sistema y de indicadores financieros, se evaluó la factibilidad de su implementación.

Además, el área de estudio fue el Campus Aguas Claras porque con respecto del Campus Loma Linda presenta una serie de desventajas para la eficiencia de los módulos solares, es decir, posee una densa cobertura vegetal, el espacio disponible para la localización de los paneles es reducido y la infraestructura de los salones (tejado) no son estables para el montaje de los mismos. Además, existe un fallo judicial que obliga a la universidad a desmontar sus instalaciones, por ser zona de reserva. Por ende, se escogió el Campus Aguas Claras que cuenta con ventajas como mayor área disponible para la implementación, ubicación de los paneles, además por ser la sede principal.

En los resultados se construyó una proyección del tiempo de retorno de la inversión, considerando beneficios financieros, socioeconómicos y ambientales, aplicando el análisis beneficio/costo. Para ello, se estudió la información técnica y económica de los componentes de tipos de sistema solar fotovoltaico aislado e interconectado, evidenciando en cada uno los beneficios financieros de la implementación del sistema. Adicionalmente, por medio de la matriz de impacto ambiental EPM se evaluaron los beneficios ambientales que genera esta clase de energía y se pretende que el estudio realizado se constituya en una herramienta útil para la toma de decisiones relacionadas con la puesta en marcha de energía solar en la universidad Santo Tomás, debido a que genera una reducción en costos de consumo de energía eléctrica, la optimización de sus estrategias de gestión ambiental y la coherencia con sus objetivos misionales.

Palabras Claves: Fuente de energía renovable, desarrollo sostenible, beneficio/costo, fotovoltaica.

Abstract

The studies on the photovoltaic energy postulate like a valid alternative from the social, economic and environmental point of view to reach a sustainable development, in the not interconnected regions without leaving of side the connected ones; In addition, it is a great opportunity to diversify the sources of generation. This added to the legal scenario of Law 1715 of 2014 and placing Colombia in a potential generator of energy, given the conditions of its geographical location and natural environment favor that in the future the energy consumed be of renewable origin (Celemin Cuellar, 2016); however, there are limitations to its study and implementation, so it is considered that one of the main factors that explains this situation is the fact that investment decisions are based on criteria such as market prices, as in effect it is argued which are expensive and the environmental and social benefits derived from the use of solar energy are unknown.

In addition, the study area was the Aguas Claras Campus because with respect to the Campus Loma Linda it presents a series of disadvantages for the efficiency of the solar modules, that is, it has a dense vegetation cover, the space available for the location of the panels is reduced and the infrastructure of the salons (roof) no stable child for the assembly of the same. In addition, there is a judicial failure that forces the university to dismantle its facilities, as it is a reserve area. Therefore, the Aguas Claras Campus was chosen, which has advantages such as the largest area available for implementation, location of the panels, and also the main headquarters.

In the results a projection of the time of return of the investment was built, considering the socioeconomic and environmental benefits, applying the benefit / cost analysis. For this, the technical and economic information of the components of the isolated and interconnected solar photovoltaic system types was studied, evidencing in each the financial benefits of the implementation of the system. In addition, through the environmental impact matrix EPM, the environmental benefits generated by this energy class were evaluated and the study is intended to be a useful tool for making decisions related to the start-up of energy. solar at the Santo Tomás

University, because it is a reduction in the costs of electricity consumption, the optimization of environmental management strategies and coherence with their mission objectives.

Keywords: Source of renewable energy, sustainable development, benefit / cost, photovoltaic.

Introducción

En los últimos años se han generado cambios importantes en los sistemas de suministro de energía, produciendo canastas más diversificadas con tendencia a incorporar sistemas y tecnología más limpias. A consecuencia de que desde la aparición de la energía eléctrica, el apresurado ritmo del desarrollo humano está íntimamente ligado al progreso en la generación y distribución de la misma, de modo que muchas naciones tecnológicamente avanzadas se han preocupado por garantizar la oferta energética, investigando y desarrollando nuevas tecnologías de generación, transmisión y distribución (Mantilla Gonzáles, Duque Daza, & Galeano Urueña, 2008, p. 99). En efecto, existe desasosiego por la seguridad del suministro energético, por reducir los impactos sobre el medio ambiente mejorando las condiciones de adaptabilidad a los cambios del clima y por incorporar elementos de competencia en la entrega de los servicios energéticos hacia una mayor eficiencia, lo anterior ha producido que tome fuerza desde hace algunos años la transición energética¹(UPME, 2015, p. 8).

Aunque en el caso de Colombia la mezcla eléctrica está dominada por la producción “hidroeléctrica en un 70%, seguido de un 29% de termoeléctrica y un 0,68% de energía renovable no convencional (biomasa 0.57% y eólica 0.11%)” (Nieves Zárate & Hernández Vidal, 2016, p. 52); enfrentando una serie de desafíos debido al cambio climático, la producción de gases de efecto invernadero y al cambio de la producción centralizada. Esta situación conduce a implementar políticas para la eficiencia energética y pese a que Colombia cuenta con lineamientos al respecto, hoy no se materializan estrategias para su desarrollo (Escallon Emiliani et al, 2016, p. 30). Por ende, esa dinámica obliga a que las ciudades sean innovadoras en las formas de obtener y usar su energía cumpliendo con este compromiso de sostenibilidad dentro de las estrategias, adoptando modelos económicos verdes, en tal sentido según las perspectivas del plan energético nacional y la matriz energética del país, Colombia tiene un potencial importante para la introducción de fuentes fotovoltaicas en su mezcla de generación de electricidad dada su alta insolación anual

¹ Conjunto significativo de cambios en los patrones de uso de la energía en una sociedad, afectando los recursos, los portadores, los equipos y los servicios energéticos.

promedio y su ubicación geográfica. Sin embargo, hay una falta de incentivos y sistemas de apoyo para las tecnologías alternativas de energía renovable (Radomes & Arango, 2015).

No obstante, en el país se ha generado legislación para promover el uso de energías renovables, como lo es la Ley 1715 del 2014 y la Comisión de regulación de energía y gas (CREG) a través de la resolución 030 del 2018 sobre autogeneración a pequeña escala (hasta un megavatio) y generación distribuida, la cual define un mecanismo fácil y sencillo para que los usuarios residenciales de todos los estratos, así como los comerciales y pequeños industriales, produzcan energía principalmente para atender sus propias necesidades y puedan vender los excedentes al sistema interconectado; Aun así, este tipo de energía aún no ha tenido una amplia utilización. Sin embargo, están impulsadas entre otros factores por su contribución al desarrollo de sistemas energéticos sustentables, a la seguridad del suministro y diversificación de las fuentes de energía primaria (Celemin Cuellar, 2016).

En este caso, los sistemas fotovoltaicos, han venido aportando una alternativa muy interesante para lograr el aprovechamiento de los recursos renovables, y así reducir los efectos adversos en el medio ambiente producidos por los sistemas de potencia convencional. No obstante, según Suárez Rozo (2010) citado por Celemin Cuellar (2016) aunque el concepto se ha impulsado bastante en otros países, en Colombia su desarrollo es mínimo, por lo tanto, es importante poner en marcha trabajos que permitan dar conocer su funcionalidad y de esta forma abordar los problemas dando una solución práctica y amigable con el entorno.

Considerando lo anterior, el presente trabajo busca que la Universidad Santo Tomás integre e implemente este tipo de tecnologías para avanzar en temas de sostenibilidad ambiental y llegar a proponer estrategias que hagan viable y efectivo el uso de la energía solar, además involucrar desde la academia al direccionamiento y reconocimiento que contribuyen a la solución de problemas ambientales, como lo es cada vez que aparece el fenómeno del Niño y la sequía (La Niña) reduciendo el nivel de los embalses y que pone a prueba el sistema eléctrico nacional. Sin embargo, han afrontado cualquier problema de sequía, como lo fue el aciago episodio del racionamiento que se vivió en 1992 y “el fenómeno del Niño del año antepasado, que tuvo al país al borde de un fuerte apagón, develó la necesidad de explorar fuentes energéticas más limpias y amigables con el

medioambiente y, a largo plazo, también con el bolsillo de los consumidores” (Sáenz, 2017). Sumado a que se produce un incremento significativo de la generación de energía con plantas térmicas y, por consiguiente, precios de energía más altos y un mayor costo de las restricciones, adicionalmente al no contar con gas suficiente para la generación térmica se generara con combustibles líquidos (EPM, 2015)².

En definitiva, Colombia presenta un déficit de oferta de energía hidroeléctrica, que se debe cubrir con generación termoeléctrica a un costo mayor. Esto se debe a que las hidroeléctricas no pueden atender la demanda total, y su capacidad se ve disminuida en épocas de intenso verano.

En consecuencia, se motiva a dar una solución, que como alternativa a estos problemas podría ser la energía sostenible, por ende, se demuestra a través de este proyecto investigativo que si es posible implementar tipos de energía solar, como lo son los sistemas fotovoltaicos, a través de la metodología beneficio-costo, se evaluó que la Universidad podría ahorrar y beneficiarse aproximadamente en un 22% hasta un 45% y que equivale en costos a \$158.140.832 en un horizonte a 25 años. Es importante resaltar que este documento es un insumo para la toma de decisiones sobre la etapa de implementación en la universidad Santo Tomás de Villavencio.

² EPM: Empresas Públicas de Medellín es una de las más grandes generadoras de energía en Colombia

1. Planteamiento del problema

La dependencia mundial del petróleo, el carbón, el gas natural y los combustibles nucleares, como recursos fósiles disponibles en cantidades que pueden ser consideradas relativamente abundantes pero finitas; así como las coyunturas económicas y geopolíticas asociadas a su distribución geográfica y su dominio, han generado en muchos países la necesidad de iniciar una transición hacia el uso de recursos energéticos de carácter renovable, que a su vez contribuyan a la reducción de emisiones de efecto invernadero y a la mitigación del cambio climático que viene experimentando el planeta (Sanabria Orozco, 2016). En relación, hoy en día con un planeta sobre poblado y con sed de energía se comienza a ver el sol como la única fuente del futuro, según Seba, (2017) para el 2030 el 100% de la energía mundial va a ser solar, por lo tanto se puede decir que la energía nuclear, eléctrica, de carbón y petróleo va a ser obsoleta, solo se utilizará para fines petroquímicos.

Así pues, Colombia debe prepararse para el futuro y podría fomentar el desarrollo e implementación de tecnologías basadas en la energía solar, aprovechando el potencial que le brinda su posición geográfica, debido a que se encuentra dentro de la zona de trópico, que le permite recibir una cantidad de radiación solar promedio de 4,5 kWh/m² /d, irradiación que supera al promedio mundial de 3,9 kWh/m² /d, además de poseer regiones que superan el promedio nacional alrededor de los 6,0 kWh/m² /d, tales como la Guajira, la Costa Atlántica, departamentos de Arauca, Casanare, Vichada y Meta (Beltrán Gómez, 2016). De este modo, es posible aprovechar este potencial a través de la ejecución de proyectos que buscan usar la energía solar como fuente alternativa de energía eléctrica, bien sea para suministrar energía a zonas rurales no conectadas a la red convencional o para optimizar el uso en instalaciones urbanas, minimizando el impacto ambiental al usar recursos renovables.

Sin embargo, la implementación de tecnología para el aprovechamiento de la energía solar en Colombia (principalmente en las ciudades pequeñas como Villavicencio) se encuentra en su fase inicial de desarrollo, y aunque en su estudio se han invertido varias décadas, no ha sido posible su implementación, debido al mito de sus altos costos para su puesta en marcha, el desconocimiento

de los beneficios potenciales y la incertidumbre respecto al retorno a la inversión (Gómez Ramirez, Murcia Murcia, & Cabeza Rojas, 2017).

Por lo tanto, es necesario considerar aspectos de las diversas fuentes renovables: la tasa de retorno energético (cuanta energía se obtiene frente a la que se invierte en el proceso); el carácter no renovable de la infraestructura de captación de energía; su vulnerabilidad frente a posibles cambios socioeconómicos drásticos; su capacidad más o menos limitada; el impacto ambiental que pueden provocar; y la equidad, esto es, que su explotación no beneficie sólo a unos pocos a costa del resto (Ballenilla & Ballenilla, 2007). Por consiguiente, se plantea un proyecto en el cual se analiza la relación costo beneficio económicos y ambientales al usar la energía solar fotovoltaica como fuente de energía alterna que complementa la red eléctrica convencional que usa el campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio, en el que se identifiquen y contrasten la variación del bienestar en relación al tipo de sistema implementado

2. Objetivos

2.1. General

Analizar la relación beneficio-costo de implementar un sistema fotovoltaico complementario, comparando los tipos aislado e interconectado, a partir de datos de consumo energético, cantidad de radiación solar y la reducción de impactos ambientales para determinar la factibilidad de su implementación en el campus Aguas claras de la universidad Santo Tomás sede Villavicencio.

2.2. Específicos

- Determinar el potencial energético del sistema solar fotovoltaico a partir de información de radiación solar, área disponible y consumo de energía del campus Aguas Claras.
- Evaluar los beneficios/costos económicos de la implementación del sistema fotovoltaico, mediante el empleo de una formulación matemática de beneficio-costo.
- Realizar una matriz de evaluación de impacto ambiental y la selección de una metodología para estimar la reducción de emisiones que se produce al disminuir la energía convencional

3. Justificación

La energía solar representa en la actualidad una de las fuentes energéticas más promisorias para la sociedad, ya que desempeña un papel vital en el crecimiento económico, la mejora en la calidad de vida y el alcance de los objetivos de desarrollo sostenible (Sindhu, Nehra, & Luthra, 2017). Debido a que es un recurso renovable que está siempre disponible, no se agota y se puede aprovechar en cualquier momento gracias a que es posible almacenarla (Salamanca Ávila, 2017). Además, se ha contribuido a que se promueva el uso de este tipo de energía porque está impulsado por aspectos de condiciones favorables medioambientales y, de otro lado, el avance tecnológico en el desarrollo de celdas solares cada vez más eficientes. Adicionalmente, el nivel de contaminación que produce es muy bajo y los costos de instalación se recuperan al reducir la facturación del consumo de energía prestado por empresas de servicios públicos (Salamanca Ávila, 2017).

Simultáneamente a nivel mundial existen preocupaciones ambientales producto de la creciente demanda de energía, que están abriendo nuevas oportunidades para la utilización de los recursos renovables, además un progreso constante en las tecnologías de energía alternativa (Parida, Iniyar, & Goic, 2010); como ha sido la tecnología fotovoltaica, que está creciendo muy rápido en los últimos años debido a la mejora tecnológica, la reducción de costos en los materiales y el apoyo gubernamental para la producción de electricidad basada en energía renovable (El Chaar, Lamont, & El Zein, 2011). Sin embargo, en el país apenas “durante los últimos 5 años se han comenzado a fomentar iniciativas adecuadas para la implementación de sistemas de energía solar fotovoltaicos a nivel industrial” (Cagua Castillo, Ojeda Guerrero, & Criollo Rengifo, 2012).

Considerando que en la actualidad, el mercado fotovoltaico crece alrededor de 23,5 Gigavatio (GW) para el 2010 a una tasa anual de 35 a un 40%, lo que hace sea una de las industrias de más rápido crecimiento (Tyagi, Rahim, & Selvaraj, 2013). Además, Seba (2014) afirma que:

Desde 1970 hasta hoy en día ha caído 30 veces el costo de su implementación, siendo la más económica en el mundo en un 80% comparada con la que se compra en la compañía eléctrica

debido a que hay que pagar por su distribución o transporte y es un mito que se necesita un gran terreno, por ejemplo, en los Estados Unidos un área de 10.000 mi² puede generar la energía de todo el país.

Es importante resaltar que Colombia cuenta con los recursos energéticos suficientes para la puesta en marcha de diversos proyectos con energía alternativa. Por lo que según ESMAP (Energy Sector Management Assistance Program), la radiación solar media diaria en Colombia es de 4.5 kWh/m²/d” (Cagua Castillo et al., 2012; Ebinger & Vergara, 2011), superior al promedio mundial que se encuentra alrededor de los 3,9 kWh/m²/d. En adición al buen recurso promedio disponible, se considera que se cuenta con regiones particulares del país como son La Guajira, una buena parte de la Costa Atlántica y otras regiones específicas en los departamentos de Arauca, Casanare, Vichada y Meta, entre otros, que presentan niveles de radiación por encima del promedio nacional consiguiendo llegar al orden de los 6,0 kWh/m²/d (Unidad de Planeación Minero Energética, 2015), lo que representa un alto potencial para la generación de energía solar. Sin embargo, esto no ha sido suficientes para que personas naturales y jurídicas se motiven a destinar recursos para implementar sistemas fotovoltaicos debido a su costo inicial y por falta de conocimiento de esta fuente de generación (Gómez Ramirez et al., 2017, p. 1).

Finalmente, el aspecto de los costos de electricidad fotovoltaica está influenciado por: la ubicación geográfica (lugares menos soleados requieren sistemas más grandes para generar la misma cantidad de electricidad), y los lugares más distantes requieren líneas de transmisión más grandes para conectar la fuente de producida a la red; el tipo de tecnología utilizada y la complejidad del sistema también influyen en los costos, por ende, un sistema fotovoltaico debe estar en un espacio libre de sombra, para no impedir la eficiencia de los módulos, además una zona en el cual se cause un impacto social positivo.

En este caso se escogió la universidad Santo Tomás de Villavicencio, evaluando sus dos campus como posibles alternativas. Se evidenció que el Campus Loma Linda posee una densa cobertura vegetal, el espacio disponible para la localización de los paneles es reducido y la infraestructura de los salones (tejado) no es estable para los paneles, por lo tanto, se escogió el Campus Aguas

Claras. Este campus cuenta con mayor espacio para la implementación de los paneles y al ser la sede principal, se espera disminuir los impactos ambientales causados por el alto consumo de energía eléctrica convencional, el cual fue de 1'045.474 kW para el año 2017, además de disminuir el pago por servicio de energía a un largo plazo, ya que el consumo del mismo año equivale a 313'288.916 COP, según datos entregados por el área de contabilidad de la Universidad. Por lo tanto, se tiene que la universidad se beneficia en la reducción de costos y en mira de los procesos investigativos y misionales con la iniciativa en la academia de llevar a cabo estos proyectos innovadores. Más aún que varias empresas e instituciones de educación superior en Colombia están trabajando en las fuentes no convencionales de energía renovable, especialmente de origen solar, entre ellas se encuentra la Universidad Santo Tomás en sus sedes de Bogotá y Bucaramanga.

4. Alcance

El proyecto se realizó en el Campus Aguas Claras de la universidad Santo Tomás sede Villavicencio (con coordenadas geográficas $4^{\circ}07'18.50''N$ y $73^{\circ}36'56,57''O$), ubicado en la carrera 22 con calle primera Vía Puerto López (ver figura 1), desarrollándolo en un rango de 6 a 8 meses, en donde se utilizaron datos del consumo energético del campus de un periodo de tiempo entre marzo de 2013 y enero de 2018, promedios mensuales de radiación solar recibida en Villavicencio desde el año 2007 hasta el 2016, área del edificio en donde se instalaría el sistema y varias cotizaciones que incluyeron una propuesta de dimensionamiento con respecto a la magnitud de la instalación, con esto, se realizó una proyección a 25 años en donde se calcula el tiempo de retorno de la inversión y beneficios económicos-ambientales obtenidos si se aplicara el proyecto, esto con la finalidad de identificar la viabilidad de la implementación de un sistema solar fotovoltaico en el campus.

De esta forma, como aspectos más relevantes para la investigación, se estudió y analizó la información técnica y económica de los tipos de sistemas fotovoltaicos para evidenciar la influencia de cada uno (aislado e interconectado), así como la incidencia de la radiación solar en Villavicencio en la variabilidad de los beneficios ambientales y económicos de la implementación del sistema. Por lo tanto, la población beneficiada sería toda la Comunidad Tomasina del Campus Aguas Claras de Villavicencio-Meta, producto del reconocimiento que la universidad pueda tener por la ejecución de esta clase de energías sostenible.

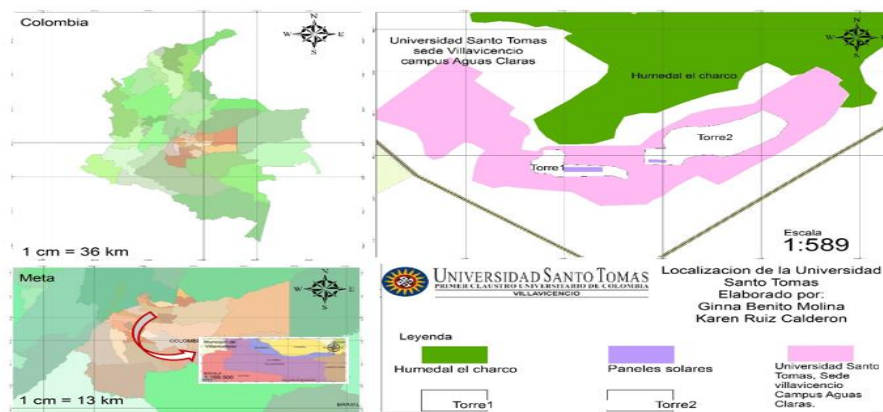


Figura 1. Ubicación del Campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás, sede Villavicencio, en el departamento del Meta. Por Martha Lucia Toro Clavijo

5. Antecedentes

Globalmente se extiende una fuente de energía renovable llamada fotovoltaica que trae beneficios al sistema eléctrico, a la economía y a la sociedad en general. Por lo tanto, es crucial para satisfacer las necesidades energéticas del futuro. Debido a esto, se ha expandido rápidamente en los últimos años y crea un escenario en la IEA (International Energy Agency) que indica que esta tendencia continuará durante décadas. Sin embargo, la incertidumbre inherente de la energía eólica y la energía solar fotovoltaica aumenta las preocupaciones, por su viabilidad y rentabilidad. La Agencia Internacional de la Energía (IEA) se ocupa de estas preocupaciones desde 1973 y confirma que el 30% o más de la producción anual de electricidad captada por la energía solar y eólica en los sistemas energéticos puede llegar a poco costo adicional en el largo plazo. Sin embargo, los costos dependen de la flexibilidad del sistema actual y de la estrategia adoptada. La gestión de esta transición será más difícil para algunos países u otros sistemas de energía, según los estudios que avanza esta agencia (IEA, 2014).

A nivel mundial según una publicación del Espectador (2018) países como China, Estados Unidos y la India lideran la revolución energética. La capacidad de energía solar fotovoltaica creció un 50% el año pasado convirtiéndose en la fuente de energía que más rápido creció, superando incluso al carbón. China, según el informe anual de la Agencia Internacional de Energía, fue el gran motor de esta expansión aportando la mitad. Las cifras reveladas por la agencia indican que las nuevas redes energéticas que crecen en el mundo son mayoritariamente renovables. Se estima que dos tercios de la nueva capacidad neta, 165 gigavatios (GW), corresponden a energía limpia. Los pronósticos apuntan a que la tendencia continuará en 2018 y para 2022, la capacidad de electricidad renovable debería aumentar en un 43%.

Por lo tanto, algunos ejemplos de estudio de caso demuestran la posibilidad de implementación y la factibilidad de instalación de sistemas fotovoltaicos conectados a la red en las áreas próximas a las centrales eléctricas para la generación distribuida; en este contexto, a través del desarrollo de un artículo en la provincia Santiago de Cuba, se demostró que es posible introducir alternativas en la generación de energía, aprovechando los sistemas de transformación, distribución y

subestaciones existente. Se identificó con base en los sistemas de información geográfica las áreas de viabilidad en la etapa de implementación, en el que realizaron un análisis desde el punto de vista del ordenamiento territorial, en cuanto a los resultados dio un área total existente de 1.140,09 km² para el 18.5% del territorio total de la provincia, además se extendió a un total de 166,43 km² para el 21,7% del municipio próximos a la subestación. Además, el comportamiento potencial solar fue de 6,2 kWh/m² y las horas de duración de radiación fueron de 5 horas. Por último, a 5 km de la subestación se produce 459,4 kW/h de energía aprovechada por los módulos y la potencia de incidencia dio de 1,24 kW-h/m². Finalmente se concluyó que es económicamente viable introducir nuevas alternativas de generación eléctrica a partir de sistemas fotovoltaicos conectados a la red en las proximidades de la central eléctrica de San Luis en la provincia de Cuba porque el tiempo promedio de vida de un módulo fotovoltaico es de 30 años, en ese tiempo la provincia deja de gastar \$3.540.240,00 generando la misma capacidad de potencia (Giraudy Arafet, Massipe Cano, Rodríguez Rivera, Rodríguez Gámez, & Vázquez Pérez, 2015).

Así pues, resulta igualmente interesante para Latinoamérica por lo que existe un aumento de proyectos que ponen en marcha la energía fotovoltaica, por ejemplo, en “Argentina las licitaciones promovidas por el programa Renovar motivan al uso de las energías renovables. Hasta ahora se han concedido un total de 916 megavatios de energía solar. El financiamiento para energías renovables está disponible con garantías de patrocinadores (Robberechts, 2017)”. También países como Chile hacen grandes inversiones, como la planta “Amanecer Solar CAP”, considerada el parque solar fotovoltaico más grande de Latinoamérica, con una capacidad total instalada de 100 MW, que corresponden al consumo anual de 125.000 hogares (Hoyos Gutiérrez & Hernández Mejía, 2017, p. 36)

Es indispensable resaltar que Colombia no es ajena a esta situación. Actualmente, algunas empresas de energía solar fotovoltaica han permitido el acceso a esta nueva tecnología a lugares como Bogotá, Cali, Medellín, entre otras ciudades (Hoyos Gutiérrez & Hernández Mejía, 2017, p. 34). Además, algunas instituciones del estado como la Unidad de Planeación Minero Energética (2015) trabajan en la integración y ejecución de la implementación de energía solar, a través de la presentación de un documento que resume las tareas adelantadas, con el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), para evaluar las posibilidades y retos de incorporación de las

energías renovables en la canasta energética colombiana. Con relación a lo anterior se identificó que aproximadamente un 78% de la energía consumida hoy en día en Colombia proviene de fuentes fósiles, mientras que el 22% restante proviene de fuentes renovables. Siendo así, que la integración de estas fuentes a la canasta energética nacional cobra relevancia a raíz de sus potenciales beneficios, aunque no hay aún aprovechamiento de la disponibilidad local de conocimiento de fuentes no convencionales de energía renovable en Colombia (FNCER), si existe una progresiva reducción en los costos asociados a su uso y la evolución de las tecnologías relacionadas.

A nivel nacional, se han desarrollado estudios de energía solar fotovoltaica desde la metodología de análisis beneficio/costo, siendo indispensables para el desarrollo de este trabajo. En efecto, universidades han venido protagonizando dichos estudios a través de trabajos de grado de sus estudiantes, como lo es la universidad Nueva Granada; tal es el caso de Sanabria Orozco (2016), que desarrolló un análisis respectivo con una prueba piloto de la implementación de un sistema de paneles solares fotovoltaicos en la E.S.E. Hospital San Cristóbal, en su sede administrativa. A través de la metodología costo-beneficio, se identificó inicialmente una demanda energética promedio de 7.500 kW/mes, con un valor para el año 2015 de \$29'361.311. Seguidamente se construyó el dimensionamiento del sistema con un total de 62 paneles solares de tecnología de punta alemana que cubrió el 1.488 kW/mes del consumo, con un ahorro del más del 20% y una potencia de 300W cada uno, siendo la instalación de inyección directa a red con una potencia de 18.300 Wh. Además, para este caso de investigación se asumió un total constante de cuatro (4) horas de aprovechamiento a partir de 10:00 y 14:00 horas del día. De tal modo, se presentó la evaluación de viabilidad del proyecto con los paneles solares en la sede administrativa, generando un ahorro anual de \$7'126.629, este valor ira descontando año a año hasta el punto donde se retorna la inversión a 30 años, por lo que arrojo que sería para el año 2027, y de ahí en adelante hasta el año 2046 (18 años después) hay un beneficio económico para la entidad de \$127'183.693 producto del sostenimiento y buen manejo del sistema renovable y abriendo puerta a una proyección de inversión en diferentes sedes a futuro, por lo que el beneficio-costo en este estudio dio mayor a 0 y positivo, por ende, asumieron que la implementación del proyecto es viable y económicamente factible.

Así mismo, Ramos Mora y León Reyes (2016) implementaron un trabajo llamado “Análisis costo-beneficio de la implementación de las energías renovables no convencionales en la industria química” desde el punto de vista técnico-económico, enfocado en la empresa Detergentes Ltda. El estudio técnico se fundamenta en tres análisis puntuales: el primero es un análisis de los datos de consumo promedio desde el 2008 hasta el 2016 de energía eléctrica de la empresa, lo cual obtuvieron un valor de 14.500 MW-h/año, con un comportamiento creciente; el segundo, comprende las proyecciones de consumo de demanda de energía eléctrica para 9 años (desde el 2017 con 15.600 MW-h/año, hasta 2026 con 29.000 MW-h/año), desde una perspectiva de crecimiento lineal; por último, un estudio con paneles fotovoltaicos policristalino con eficiencia del 15% y el gran potencial solar de 4.2 kW/m²/día en la ciudad de Bogotá, por ende, el sistema solar fotovoltaico suplirá a la red eléctrica de la empresa un 10% del consumo energético proyectado al año 2026, es decir cerca de 2.927 MWh por año y para los posteriores disminuye su valor porcentual de suplencia con respecto al total de la energía anual consumida, por lo que indica que disminuirá proporcionalmente al paso de los años en el horizonte del proyecto (25 años).

Para el análisis de costo-beneficio, fue indispensable la eficiencia de los procesos energéticos de generación, la infraestructura requerida, los precios de adquisición y los beneficios tributarios y de financiamiento. El análisis financiero realizado demostró que actualmente la tecnología solar fotovoltaica no es rentable para la industria en Colombia la razón principal es que los costos de estos sistemas son relativamente altos a causa de la escasa madurez del mercado y bajos precios de la energía en el mercado regulado o tradicional. Sin embargo cuando evaluaron la internalización de la externalidad de emisión de gases de efecto invernadero, dio como resultado un escenario con VPN positivo, lo cual indica que si son evaluadas otras externalidad positivas tanto ambientales como sociales y beneficios como generación de empleo, cuantificación y valorización de la disminución de la cargabilidad del sistema eléctrico, entre otras, estas pueden ser consideradas como incentivos, con los cuales dan paso para apoyar a la industria Colombiana a que implemente y ejecute las fuentes de energía renovables no convencionales en su sistema eléctrico.

Sin embargo, hoy en día se han generado iniciativas de algunas empresas y universidades para utilizar este tipo de sistema, por lo que según una publicación del diario Dinero (2018) la Santo

Tomás sede Bogotá fue la primera universidad del país en obtener una licencia para construir sistemas de generación de energía solar en 340m² y buscando cubrir una demanda de energía. Esta universidad tiene un Plan Maestro que incluye la implementación de sistemas de energía fotovoltaica durante los próximos 20 años para disminuir su huella de carbono y contribuir a la conservación del medio ambiente. El ministro de Hacienda, Mauricio Cárdenas, explicó que el crédito subsidiado de Findeter servirá para la construcción de todo un edificio nuevo en la sede de la Calle 54 con séptima de la Santo Tomás en Bogotá. La obra tendrá una extensión total de 5.632 metros cuadrados, que incluyen los 100 metros de sistema de energía fotovoltaica y tendrá un ahorro de 46% en energía y 20% en agua. De igual manera la universidad “Autónoma de Occidente y la Empresa de energía del pacifico (EPSA), pasó de generar un 5% a un 15% de la energía total consumida por el campus en Cali, siendo el sistema de energía solar más potente del País” (Manrique, 2015).

A nivel local, también se ha venido desarrollando estudios sobre este tipo de energía como lo hizo Ortiz Chacón & Chacón Rincón (2018) en su trabajo de grado titulado “evaluación de los impactos en la implementación de energía solar fotovoltaica para una vivienda unifamiliar (vereda la Cecilia Villavicencio-Meta-Colombia)”, en el cual evaluaron los impactos positivos y negativos en la parte social, económica y ambiental, que genera la implementación de un sistema solar fotovoltaico con paneles solares, en el área de estudio que se encuentra ubicada sobre la vía alterna Villavicencio- Puerto López que colinda con el Rio Ocoa, comunica al barrio Juan Pablo II, condominio campestre Balmoral, e intercepta con la vía denominada carretera del amor.

La investigación se desarrolló por medio de la metodología cuantitativa y cualitativa para el estudio de impactos ambientales, utilizan el método de Gómez Orea, el cual permitió identificar las acciones y el medio a ser impactado, mediante las fases de adecuación, operación y ciclo final; Los impactos ambientales negativos en el sistema de paneles fotovoltaicos se manifiestan a partir de la vida útil de este, al cumplirse entre 25 a 30 años de servicio. Además, que la utilización de paneles solares impacta positivamente la economía familiar al disminuir el consumo de energía suministrada por la red eléctrica convencional. Y se requiere para el sistema 15681.114 Wh/día, este valor es la demanda de todas las cargas durante las horas y días estipulados. También realizaron un presupuesto sobre el cálculo de los costos de equipos, montaje, mano de obra e

imprevistos; que en definitiva, llegaron a concluir que la puesta en marcha del sistema solar fotovoltaico para la implementación tiene un alto costo económico, que a largo plazo se recuperara la inversión ya que se disminuiría el consumo de energía eléctrica convencional y se mitigaría los daños ambientales producidos por el uso de esta al planeta y favorece a la sociedad la cual tiene problemas con la prestación del servicio de energía por los constantes apagones y bajos voltajes en las viviendas.

Cabe considerar que aún existen falencias para la etapa de implementación, por varias razones, que generan mitos acerca del desarrollo de las energías fotovoltaicas en el país, primordialmente en el desconocimiento de los beneficios, aunque ya son fundamentados en la disponibilidad de recursos, la progresiva reducción en los costos de inversión asociados a su aprovechamiento, y la evolución en términos de rendimiento y sofisticación de tecnologías solar, por lo que hace que sea hoy en día un tema para concretar y puntualizar en Colombia; con ello poder lograr un lugar dentro de los países que aumentan la utilización de este tipo de energía y ampliando la matriz energética con el avance en las tecnologías limpias.

6. Marco de referencia

6.1. Marco teórico

El presente trabajo analiza la relación costo beneficio de la implementación de la energía solar fotovoltaica, en busca de demostrar la utilidad y rentabilidad potencial de una de las energías no convencionales más prometedoras de la sociedad, la cual podría llegar a ser la clave de la implementación de un desarrollo sostenible. En este sentido, es preciso aclarar algunos conceptos basados en diferentes teorías, empezando con la clasificación de las energías y su aporte al desarrollo sostenible:

6.1.1. Energía:

La energía posee varios conceptos teóricos, todos muy diferentes desde las ciencias físicas, lo más comunes se dividen en dos, en donde el término se puede utilizar tanto para: a) designar un tipo específico de energía (cinética, magnética) como para: b) indicar el lugar de donde provienen o se almacenan los diferentes tipos de energía como la eólica, solar, entre otros(González Arias, 2006).

6.1.1.1. Clasificación:

Continuando con lo anterior, la energía se puede encontrar en dos formas, según su estado de reposo o movimiento:

- Energía potencial: Es aquella en la cual los cuerpos que la poseen permanecen en reposo, es la energía almacenada en la materia.
- Energía cinética: Es la energía que proviene de los cuerpos en movimiento o de las partes que los constituyen (moléculas).

Así mismo, las fuentes de energía pueden clasificarse, atendiendo a su disponibilidad, en renovables y no renovables:

- Las energías no renovables son aquellas que existen en la naturaleza en una cantidad limitada, no se renuevan a corto plazo y por eso se agotan cuando se utilizan. La demanda mundial de energía en la actualidad se satisface fundamentalmente con este tipo de fuentes energéticas: el carbón, el petróleo, el gas natural y el uranio (Schallenberg Rodríguez & Piernavieja Izquierdo, 2008).
- Las energías renovables son aquellas cuyo potencial es inagotable, ya que provienen de la energía que llega a nuestro planeta de forma continua, como consecuencia de la radiación solar o de la atracción gravitatoria de la Luna, son fundamentalmente la energía hidráulica, solar, eólica, biomasa, geotérmica y las marinas (Schallenberg Rodríguez & Piernavieja Izquierdo, 2008).

6.1.2. Energía Solar:

Para que la energía solar se pueda transformar en energía eléctrica, son necesarias las células solares que están hechas de materiales semiconductores, éstas se interconectan y encapsulan en elementos llamados módulos fotovoltaicos, los cuales producen corriente continua que suele transformarse en corriente alterna mediante un dispositivo electrónico llamado inversor u ondulador (Alonso Montes, 2002).

En la siguiente imagen se puede observar una descripción básica del proceso de generación de energía solar fotovoltaica:

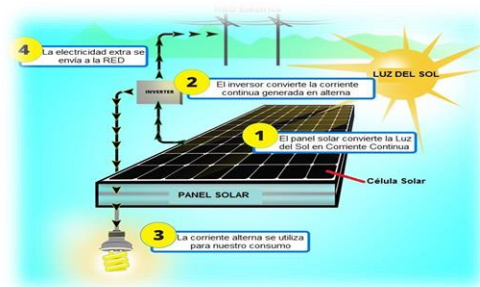


Figura 2. Proceso de generación de electricidad fotovoltaica, adaptado de Google imágenes

6.1.3. Desarrollo Sostenible:

A nivel internacional, existen 17 objetivos elaborados para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad; estos son conocidos como los Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS, los cuales se basan en los logros de los objetivos de Desarrollo del Milenio, incluyendo además temas como el cambio climático (United Nations, 2015).

Las tecnologías amigables con el medio ambiente, forman un papel importante dentro de los ODS, más específicamente en el objetivo número siete, el cual pretende garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos.

En la siguiente imagen se muestra cómo la energía solar se integra con varios de los objetivos:

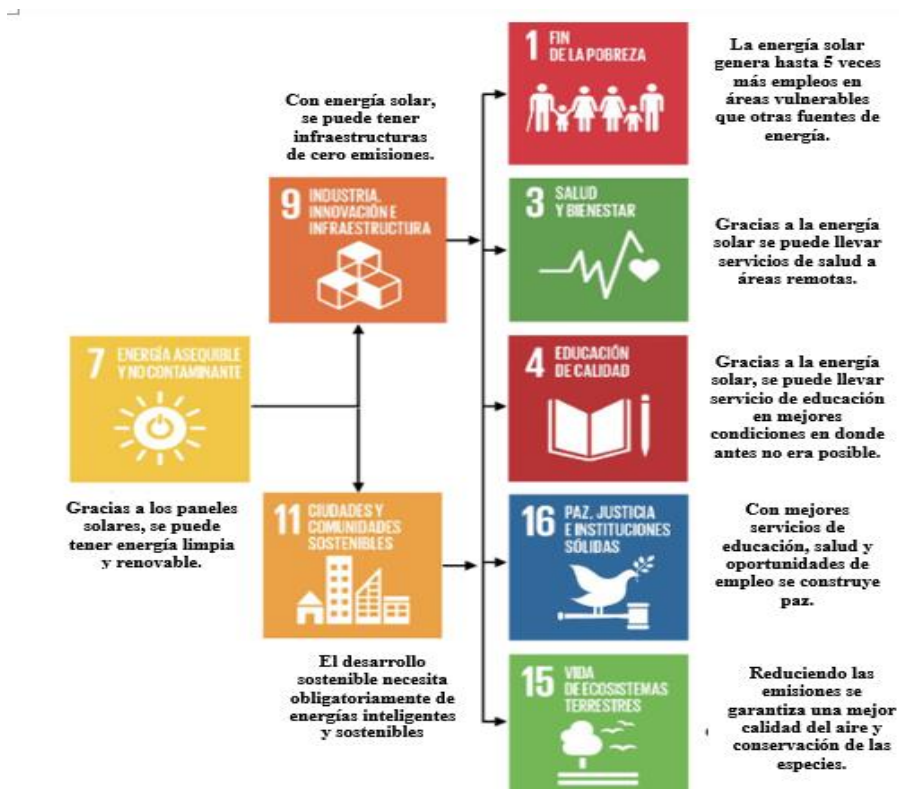


Figura 3. Objetivos de desarrollo y la energía solar, adaptado de : (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible, 2016)

6.1.4. Reducción de emisiones:

Las energías renovables son llamadas también energías limpias, ya que la huella de carbono que generan durante su ciclo de vida es inferior a la de los combustibles fósiles; en el caso de la energía solar, esta no produce emisión alguna mientras se genera (Resch, 2007).

6.2. Marco Conceptual

Dentro de los conceptos más importantes para el proyecto se encuentran los básicos teóricos, económicos y de impacto ambiental como se muestran a continuación:

6.2.1. Energías renovables:

La energía solar es considerada como una energía renovable, ya que esta es toda energía en la que la fuente primaria es producida por la naturaleza sin ningún tratamiento previo realizado por el hombre y la solar fotovoltaica es producida por el sol, resultado de reacciones nucleares de fusión que llegan a la Tierra a través del espacio en paquetes de energía llamados fotones (luz), que interactúan con la atmósfera y la superficie terrestre (Universidad Politécnica de Valencia, 2014).

6.2.2. Sistema solar fotovoltaico:

Es un conjunto de células o paneles solares directamente interconectadas y encapsuladas como único bloque, que producen una corriente continua de energía, la cual es convertida a corriente alterna por el inversor y protegida de los efectos de la intemperie por los materiales de protección eléctrica (Cornejo Lalupú, 2013).

En la actualidad, existen dos tipos de sistemas, el aislado que hace posible el uso del recurso en asentamientos urbanos a los cuales no llega la red eléctrica convencional (entre otros usos) y el interconectado a la red, que permite producir energía en condiciones adecuadas para ser inyectada a la red (Perpiñán Lamigueiro, 2015b).

Del mismo modo, hay varios tipos de paneles solares, que conforman los sistemas solares fotovoltaicos; algunos de los más usados en el mercado están hechos de silicio monocristalino, el cual es un material en el que la red cristalina es continua y no está interrumpida por bordes de grano hasta los bordes de la muestra; de silicio policristalino, que es un material sólido constituido por más de un cristal o grano y por último de silicio amorfo, los cuales no siguen una estructura cristalina y a su vez son más finos y versátiles, lo que les permiten en algunos casos su adaptación a superficies irregulares(Fernández Ferichola, 2009).

6.2.3. Análisis costo beneficio:

Debido a la existencia de los diferentes tipos de paneles y la variabilidad de sus características técnicas, algunos proyectos de implementación de energía solar fotovoltaica, requieren realizar un estudio de pre-inversión que permiten evaluar la factibilidad de las diferentes alternativas existentes en el mercado; uno de los métodos comúnmente utilizados para esto, es el análisis costo beneficio (ACB), el cual es una evaluación socioeconómica que considera, en términos reales, los costos y beneficios directos e indirectos que los programas y proyectos de inversión generan para la sociedad, incluyendo externalidades y efectos intangibles (Morales Castro & Morales Castro, 2009).

Además, para complementar el análisis de factibilidad, se tienen en cuenta otras variables como el valor presente neto (VPN), que calcula el valor actual neto de una serie de flujos de efectivo futuros a una tasa de interés declarada (Leland & Anthony, 2012), la tasa interna de retorno (TIR), que representa la rentabilidad promedio por período generada por un proyecto de inversión(Castañer Martinez, 2014), entre otros.

6.2.4. Impacto ambiental:

También, en algunos casos se analiza el impacto ambiental causado por el proyecto, el cual se define como el cambio de un parámetro ambiental, en un determinado periodo y en una

determinada zona, resultado de una determinada actividad, comparado con la situación que ocurriría si dicha actividad no se hubiera realizado (Wathern, 1988).

6.2.5. Evaluación de impacto ambiental:

Esto, a través de una evaluación de impacto ambiental, que es un procedimiento para alentar a los encargados de la toma de decisiones a que tengan en cuenta los posibles efectos de las inversiones en proyectos de desarrollo sobre la calidad ambiental y la productividad de los recursos naturales, e instrumento para hacer que los proyectos en desarrollo sean más sustentables y ambientalmente menos agresivos (Wathern, 1988).

6.3. Marco Legal

En la actualidad existen normativas para promover la investigación y el uso adecuado de las energías renovables con el objetivo de satisfacer la demanda energética tanto a nivel nacional como internacional, algunos de los protocolos y normas más importantes se describen a continuación, identificando los artículos pertinentes en el anexo B:

El Protocolo de Kioto que tiene su origen en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, fue aprobado en la Sede de las Naciones Unidas en 1992, adoptándose finalmente en la conferencia de las partes en 1997, con el objetivo de estabilizar las emisiones de gases de efecto invernadero, en donde se establece el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), el cual permite que un país en virtud del protocolo, ponga en práctica proyectos de reducción de las emisiones en países en desarrollo (Naciones Unidas, 1998).

En Colombia, las instituciones encargadas de regular las normativas legales vigentes son la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), la cual planea el desarrollo y aprovechamiento de los recursos mineros y energéticos, además de producir y divulgar la información requerida para la formulación de política y toma de decisiones (Unidad de Planeación Minero Energética, 2018); la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), que regula la prestación de los servicios públicos domiciliarios de energía eléctrica, gas combustible y servicios públicos de

combustibles líquidos, además, promueve el desarrollo sostenido de estos sectores, regula los monopolios e incentiva la competencia donde sea posible atender las necesidades de los usuarios de acuerdo a los criterios establecidos por la ley (Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG, 2018), y el Estatuto de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), el cual es una organización intergubernamental de la que Colombia hace parte desde el año 2014 gracias a la ley 1665 de 2013 aprobada por el Congreso de la República, en donde se establece por objetivo promover el desarrollo sostenible, mitigar los problemas de seguridad energética y combatir el cambio climático (Ministerio de Minas y Energía, 2013).

Dentro de las normas legales referentes al uso de energías renovables en el país, se encuentra principalmente, el Art. 79 de la Constitución política de Colombia, el cual establece que todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano, la ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo y es deber del estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.

Seguidamente, debido a que el proyecto se plantea para realizar una instalación solar fotovoltaica conectada a la red, se tiene en cuenta la Ley 143 de 1994, por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y se dictan otras disposiciones en materia energética.

Así mismo, se debe aplicar la Ley 697 de 2001, mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones. Complementándola con la actual Ley 1715 de 2014, por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.

Además, la Resolución 0551 de 2009, por la cual se adoptan los requisitos y evidencias de contribución al desarrollo sostenible del país y se establece el procedimiento para la aprobación nacional de proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que optan al mecanismo de desarrollo limpio – mdl.

Incluyendo también la Resolución 180919 de 2010, por la cual se adopta el Plan de Acción Indicativo 2010-2015 para desarrollar el Programa de Uso Racional y Eficiente de la energía y demás Formas de Energía No Convencionales PROURE.

7. Metodología

La investigación se basa en la hipótesis de que los tipos de sistemas fotovoltaicos aislado e interconectado, influirán en la variación de los costos y beneficios económicos y ambientales de la implementación de la energía solar. Razón por la cual se tienen en cuenta variables climatológicas como la radiación solar y económicas como la inflación y la tasa de interés. Para esto, se propone la ruta metodológica expuesta en la figura 4:

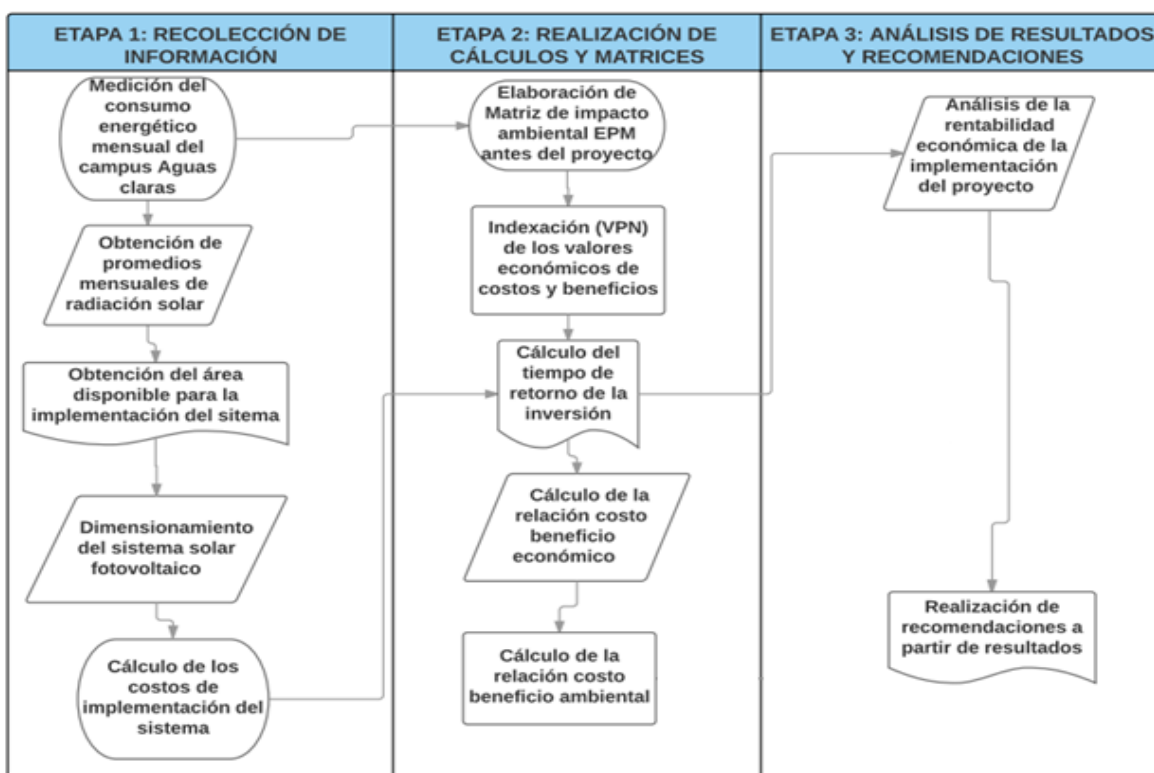


Figura 4. Esquema metodológico según las etapas en que fue dividido el proyecto, por Karen Julieth Ruiz Calderón.

7.1. Recolección de Información

En esta etapa se incluye la información necesaria para la realización del cálculo Costo/Beneficio, dentro de esta, se encuentran:

7.1.1. *Medición consumo energético mensual del campus aguas claras:*

Se solicitó a la universidad los promedios mensuales del consumo de energía del campus Aguas Claras para el periodo de marzo de 2013 a diciembre de 2017, luego se consolidaron los datos en una hoja de Excel para la realización de promedios, sumatorias y gráficos.

7.1.2. *Obtención promedios mensuales de radiación solar:*

Los promedios mensuales de radiación solar para la ciudad de Villavicencio Meta en el periodo de marzo de 2007 a diciembre de 2017 fueron solicitados a la estación ICA Villavicencio del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, los cuales se adjuntaron a la base de datos del consumo energético del campus para la realización de los mismos cálculos.

7.1.3. *Obtención del área disponible para la implementación del sistema:*

Se solicitó el plano del campus Aguas Claras, junto con el área disponible para uso directamente al área encargada de la infraestructura de la universidad, luego de varios meses, se obtuvo como respuesta una serie de planos por plantas del edificio número uno del campus, a lo que se le calculó el área del tejado para la realización de la proyección de la cantidad de paneles que se pueden utilizar en el área disponible.

7.1.4. *Dimensionamiento del sistema solar:*

Se realizó una cotización sobre las dimensiones de todos los componentes tanto de un sistema solar fotovoltaico aislado como de uno interconectado a la red eléctrica, a las diferentes empresas productoras y distribuidoras de paneles solares en Villavicencio o cercanas a la ciudad, utilizando como limitante del sistema el área disponible para la instalación.

7.1.5. Cálculo de los costos de venta e implementación del sistema:

Después de obtener la información del dimensionamiento del sistema, se procedió a realizar las cotizaciones de venta e instalación de cada uno de los sistemas, en todas las empresas productoras y distribuidoras de paneles solares en Villavicencio, se les expuso el proyecto y el uso que se daría a la información, obteniendo respuesta electrónica de dos empresas.

7.2. Realización de Cálculos y Matrices

Partiendo de la información recolectada en la etapa uno del proyecto, se procede a realizar los cálculos del Valor Presente Neto para la indexación de los valores económicos de los costos y beneficios de la implementación del proyecto, así como la determinación de la tasa interna de retorno, la relación Costo/Beneficio y la realización de las matrices de impacto ambiental antes y después de la implementación del sistema solar fotovoltaico, teniendo en cuenta cada uno de los tipos de sistemas expuestos en la etapa anterior, usando la metodología EPM.

7.2.1. Matriz de impacto ambiental EPM:

Se seleccionó la metodología EPM ya que esta fue desarrollada en Colombia en el año 1986 por Jorge Alonso Arboleda González, perteneciente a la Unidad de Planeación de Recursos Naturales de las Empresas Públicas de Medellín (el cual es un grupo empresarial de servicios públicos líder en Colombia); este método ha sido aprobado por las autoridades ambientales Colombianas y por entidades internacionales como el Banco mundial y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), con el objetivo de evaluar proyectos hidroeléctricos y para el uso de estudios de impacto ambiental en Colombia e incluso para otros sectores (Millán, 2012).

Arboleda (2008) establece que la estructura de la matriz EPM se divide en tres etapas, comenzando con una desagregación del proyecto en sus componentes, seguido de la identificación de los impactos y por último la evaluación de los impactos; para el proyecto se utilizaron las mismas etapas de la siguiente manera:

7.2.1.1.Etapa 1. Desagregación del Proyecto en Componentes:

Se dividió el proyecto en los dos sistemas de energía solar (aislado e interconectado), luego se realizó una matriz para cada sistema, dividiendo el sistema en tres etapas: construcción, operación y abandono.

7.2.1.2.Etapa 2. Identificación de los Impactos:

En esta etapa se procedió a identificar los impactos que se podrían generar en cada uno de los procesos definidos en el paso anterior, para ello se utilizó un método de valoración de impactos por medio del cual se determinó la magnitud de la relación proyecto ambiente. Este método está compuesto por tres elementos básicos que permiten elaborar el proceso secuencial que identificará los impactos:

- ✓ Acción: Es el conjunto de actividades necesarias para la ejecución del proyecto.
- ✓ Efecto: Es el proceso físico, biótico, social económico o cultural que puede ser activado, suspendido o modificado por una determinada acción del proyecto y puede producir cambios o alteraciones que gobiernan la dinámica de los ecosistemas.
- ✓ Impacto: Es el cambio neto o resultado final (benéfico o perjudicial) que se produce en alguno de los elementos ambientales por una determinada acción del proyecto.

7.2.1.3.Etapa 3: Evaluación de los impactos.

En esta etapa se procede a evaluar cada impacto individualmente, utilizando los siguientes criterios de calificación: i) Clase, ii) Presencia o Probabilidad, iii) Duración, iv) Evaluación y v) Magnitud.

Después, con las puntuaciones de los criterios anteriores, se procede a calcular la calificación ambiental, la cual es la expresión de la interacción conjugada de los criterios o factores que caracterizan los impactos ambientales y está definida en la siguiente ecuación:

$$Ca = C(P(aEM + bD))$$

Este índice denominado Calificación Ambiental (Ca), varía entre 0.1 y 10, en donde 0.1 hace referencia a un impacto muy bajo y 10 a uno muy alto, tal como se evidencia en la siguiente tabla:

Tabla 1. *Componentes de la Calificación Ambiental. Metodología EPM.*

COMPONENTE	VALOR	DESCRIPCIÓN
Clase (C)	+	Define el sentido del cambio ambiental producido por una determinada acción del proyecto. Puede ser positiva o negativa dependiendo si se mejora o degrada el ambiente actual o futuro
	-	
Presencia (P)	1	cierto: Existe absoluta certeza de que el impacto se presente
	0.8	Probable: Es probable hasta en un 50 % que impacto se aparezca
	0.4	Incierto. Es poco probable que el impacto se presente
	0.1	Imposible. Es casi imposible que se dé, pero podría presentarse
Evolución (E)	1	Muy rápido (menos de un día)
	0.8	Rápido (de un día a un mes)
	0.6	Medio (De un mes a seis meses)
	0.4	Lento (de seis meses a un año)
	0.2	Muy lento (más de un año)
Magnitud (M)	1	Muy Severo (Daño permanente al ambiente)
	0.8	Severo (Daños serios pero temporales al ambiente)
	0.6	Medianamente Severo (Daños menores pero permanentes al ambiente)
	0.4	Ligeramente Severo (Daños menores al ambiente)
	0.2	Nada Severo (Ningún daño al ambiente)
Duración (D)	1	Muy Severo (Más de un año)
	0.8	Larga (De seis meses a un año)
	0.5	Moderada (De un mes a seis meses)
	0.3	Corta (De un día a un mes)
	0.1	Muy Corta (Menos de un día)
a y b	7	constante
	3	constante
Calificación ambiental (Ca)	Ca	$Ca=C(P(aEM+bD))$
	8.0 - 10	Muy alta
	6.0 - 8.0	Alta
	4.0 - 6.0	Media
	2.0 - 4.0	Baja
	0.0 - 2.0	Muy Baja

Nota. Descripción para evaluar cada componente de la matriz de impacto, Adaptado de (Arboleda González, 2008)

7.2.2. *Indexación de los valores económicos de costos y beneficios.*

Se calcula cada uno de los indicadores que se requieren para la indexación de los valores económicos de los costos y beneficios de la implementación del proyecto, tales como el periodo de recuperación, la tasa simple de rendimiento, la tasa promedio de rendimiento, el valor presente neto y la tasa interna de rendimiento (Tabla 2).

Tabla 2. *Indicadores financieros calificados para evaluar un proyecto de inversión.*

NOMBRE DEL ÍNDICE	FÓRMULA	CRITERIO DE ACEPTACIÓN
Periodo de recuperación (PR)	$PR = \frac{IIN}{FNE}$	El tiempo de recuperación más corto posible
Tasa simple de rendimiento (TSR)	$TSR = \frac{FNE}{IIN}$	La tasa simple de rendimiento debe ser más alta que la tasa de interés líder del mercado financiero donde opera el proyecto de inversión
Tasa promedio de rendimiento (TPR)	$TPR = \frac{FNE}{IIN \div 2}$	La tasa promedio de rentabilidad por lo menos debe duplicar las tasas de interés del mercado financiero donde opera el proyecto de inversión
Valor presente neto (VPN)	$VPN = \sum_1^n \frac{FNE}{(1+i)^n} - \left[IIN - \frac{VS}{(1+i)^n} \right]$	Debe ser mayor que cero, Cuando el valor es de cero se recupera la tasa mínima de rendimiento exigida al proyecto y la inversión inicial neta
Tasa interna de rendimiento (TIR)	$TIR \therefore VPN = 0$	La tasa interna de rendimiento debe ser mayor que los costos de financiamiento usados en el proyecto de la inversión
Costo beneficio (CB)	$CB = \left[\frac{\sum_1^n \frac{FNE}{(1+i)^n}}{IIN - \frac{VS}{1+i}} - 1 \right] * 100$	El valor debe ser mayor a cero, en esa cifra expresada en porcentaje agrega valor a la empresa.

Donde:

FNE= Flujo neto de efectivo

IIN= Inversión inicial neta

VS= Valor de salvamento

i= Tasa a la que se descuentan los flujos de efectivo y el valor de salvamento

Adaptado de (Chilito Gaviria & Latorre Victoria, 2016)

7.3. Análisis de resultados y recomendaciones:

Finalmente se realiza un análisis financiero y ambiental basado en los resultados de los indicadores de rentabilidad y la metodología utilizada para la realización de las matrices de impacto ambiental.

7.3.1. Análisis de la rentabilidad económica de la implementación del proyecto:

Este se realiza con el criterio de aceptación que posee cada uno de los indicadores financieros utilizados (evidenciados en la tabla 2), los cuales ya se encuentran estipulados, como por ejemplo para la relación beneficio/costo se utilizan tres criterios en relación a 1, en donde se busca la relación más alta de beneficios a costos; entonces sí:

- $B/C < 1$: Significa que los costos son mayores que los beneficios, por lo cual no se debería considerar el proyecto como algo rentable.
- $B/C = 1$: En este caso, los beneficios son iguales a los costos, por lo tanto, no se obtienen ganancias, pues los beneficios son iguales a los costos.
- $B/C > 1$: indica que los beneficios superan los costos, por consiguiente, el proyecto debe ser considerado.

7.3.2. Recomendaciones a partir de resultados:

Luego del análisis de los resultados obtenidos con cada indicador de rentabilidad económica y ambiental, se realizan algunas recomendaciones sobre la implementación del proyecto en un corto o largo plazo en el campus.

8. Resultados

El sistema fotovoltaico de la universidad Santo Tomás en el Campus Aguas Claras sede Villavicencio se dimensionó con la siguiente información:

8.1. Consumo energético mensual del campus aguas claras:

El histórico del consumo energético del campus (ver figura 5) está dado en unidades de kilowatt hora mensual (kWh/mes) desde el año 2013 hasta el año 2018, es decir, un lapso de tiempo de 5 años; de este último se tienen datos hasta abril, descargados por la página de la empresa EMSA con el código de usuario, debido a que los datos que brindó la coordinadora del departamento de contabilidad solo están hasta el mes de enero del año 2018.

En la figura 5 se aprecia el histórico del comportamiento del consumo eléctrico de las instalaciones de la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio para el año 2013, como de sus costos en pesos colombianos (ver figura 6), se encuentran registrados desde el mes de abril (fecha de inauguración de la sede), hasta el mes de abril del año 2018; a partir de estos (ver figura 5), se puede observar el comportamiento anual de la demanda energética requerida por el campus, en donde los meses con menor consumo son enero, febrero, julio y agosto, los cuales coinciden con el cronograma de receso del calendario académico, debido a que la carga de estudiantes disminuye en más del 50%, ya que solo ingresan los neotomasinos a su etapa de inducción o los estudiantes que realizan intersemestral de algún espacio académico que no aprobaron. Además, se observa que anualmente existe una variación creciente, es decir, que para el año 2013 el consumo fue de 12%, para el año 2014 fue de 14%, aumentando en un 2% en el año 2015. Pero para el 2016 ya fue de 21% y del 27% en el año 2017.

Para lo que va del año 2018 se tiene una variación del 10% hasta el momento. Por ende, se deduce que el consumo seguirá creciendo exponencialmente al pasar los años debido a que hay una correlación con la cantidad de estudiantes e infraestructura, ya que la sede ha crecido en cuanto a facultades y área construida, estando a la disposición más aparatos electrónicos, bombillas,

alumbrado público, cafeterías, oficinas, entre otros, en el cual utilizan sustancialmente la energía eléctrica.

Además, la variación porcentual del consumo en meses oscila para el mes de abril con 12%, seguido en un 11% para marzo y 10% en noviembre, pero para mayo, junio, septiembre, octubre y diciembre están constantes en un 9% y julio y agosto un 6%, terminando con enero y febrero con un 5%.

En el año 2014 (ver figura 5) el consumo de energía para los meses de enero y febrero se mantuvo en un mismo rango de 19.000 kWh, pero para el mes de marzo y abril aumentaron en 61.819 y 63.651 kWh, variando igualmente para el mes de julio y agosto. En cuanto al precio o costos (ver figura 6) que paga la universidad, éste oscila entre los \$5.100.000 y \$22.000.000, en donde paga más en los meses de septiembre, octubre y noviembre.

El consumo energético para el año 2015 y 2016 aumentó considerablemente debido al comienzo de la construcción del edificio de la parte de la cafetería, es decir, la segunda etapa del Campus Aguas Claras, en donde estarán los laboratorios, aulas de clases, auditorio mayor y menor, entre otras áreas de coordinación de la universidad. Además, para el año 2017 se observó un comportamiento muy similar al del año 2016, conjuntamente se puede decir que existe una correlación entre el aumento de la energía y los costos, por lo que es claro de que a mayor consumo hay un mayor pago de energía.

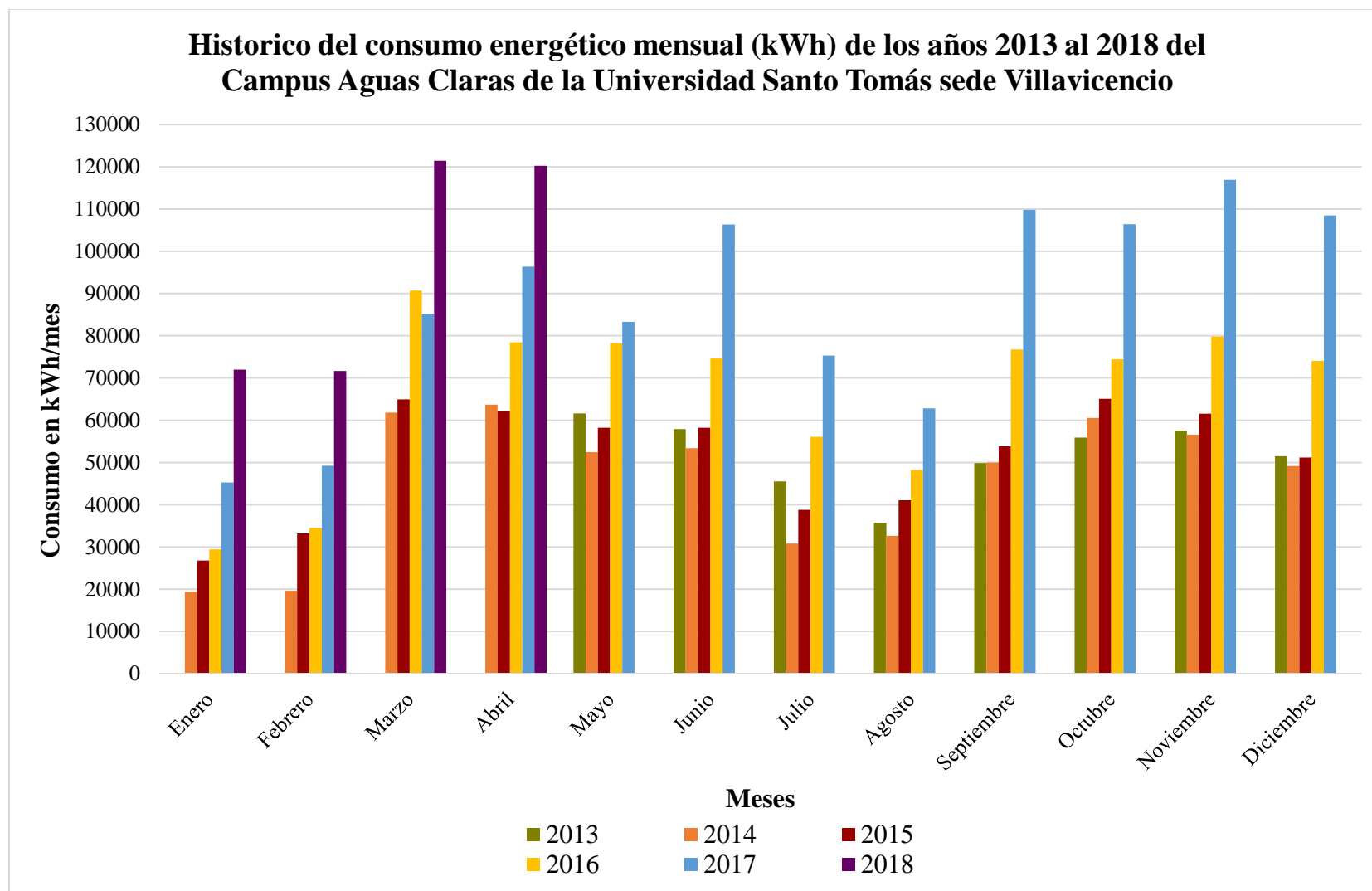


Figura 5. Histórico del Consumo de Energía eléctrica a partir del año 2013 al 2018 del Campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás, por Ginna Marcela Benito Molina

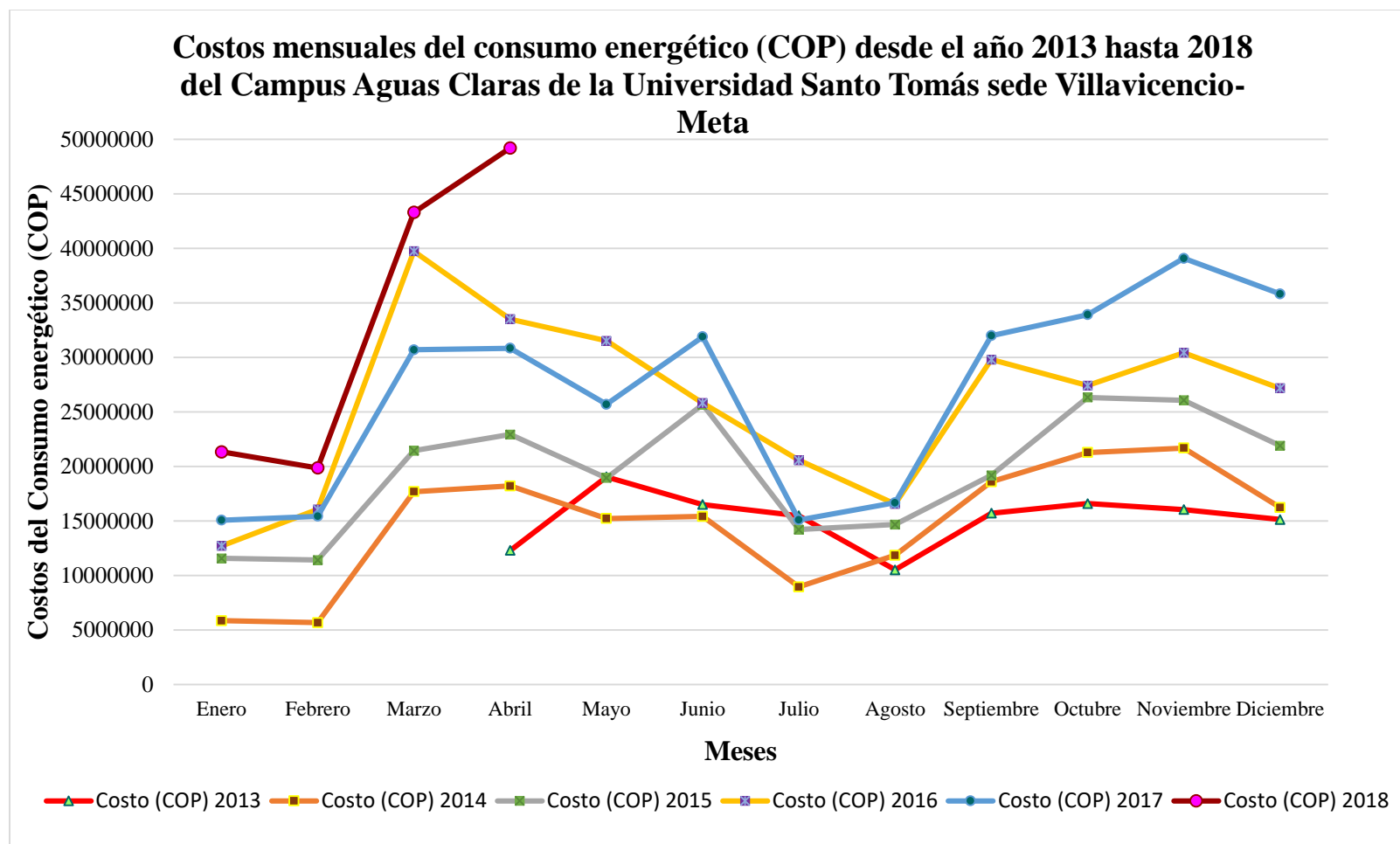


Figura 6. Histórico de los costos del consumo de energía eléctrica a partir del año 2013 al 2017 del Campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio, por Ginna Marcela Benito Molina.

El costo del consumo energético del campus dimensiona cuanto es el gasto anual de la universidad siendo desde el año 2013 hasta el 2017 de mil ciento noventa y un millones ciento ochenta y dos mil quinientos noventa y uno (\$1.191.182.591). Para el año 2016 y 2017 aumenta considerablemente por la mayor oferta de espacios académicos y porque se construye la segunda fase.

8.2. Promedios mensuales de radiación solar de Villavicencio Meta:

Los datos de la radiación solar horizontal incidente para la ciudad de Villavicencio fueron obtenidos del Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios ambientales (IDEAM), más específicamente de la estación meteorológica ICA Villavicencio, la cual posee datos consolidados desde el año 2007 hasta el 2016, expuestos en la tabla 3 que se muestra a continuación:

Tabla 3. Promedios mensuales de radiación obtenidos de la estación del ICA de Villavicencio-Meta.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedios
2007			3968,0	4687,3			4880,5	4255,9	4832,8	4798,3	4862,2	4422,2	4588,4
2008	4797,0	4302,1	4644,2	4258,1	4123,8	3760,3	4183,2	4886,5	5080,6	5034,8	4554,5	4667,3	4524,4
2009	4552,0	4814,7	3983,2	3925,3	4636,9	4098,6	4031,6	4881,0	5505,7	5129,8	5054,8	5400,4	4667,8
2010	5873,0	5213,6	4689,6	3980,3	4055,7	4095,8	4041,8	3959,9	5173,2	5092,3	4534,3	4619,0	4610,7
2011	5318,6	4136,7	4143,2	4311,0	3516,8	4116,6	4068,7	4891,1	5191,8	4727,3	4682,8	4591,5	4474,7
2012	4570,6	4620,9	3969,4	4243,3	4244,3	4480,5	4105,7	3721,4	4897,1	5232,2	5237,3	5007,8	4527,5
2013	5273,3	4472,4	4443,0	4568,9	4530,4	4879,0	4352,8	4607,9	5248,1	5548,8	4724,7	5142,0	4815,9
2014	5439,6	4988,4	4679,2	4766,9	4914,6	3809,4	4389,3	4449,4	5321,8	4721,5	4621,4		4736,5
2015		5317,6	4412,3	4762,9	4922,6	4360,9	4941,5	5130,3	5704,8	5631,3	5279,6	5393,4	5077,9
2016	5835,4	4806,7	4826,7	4561,8	4853,5	4582,3	4586,0	5068,6	5690,8	5117,8	4621,2	5081,1	4969,3
Promedios	5207,4	4741,5	4375,9	4406,6	4422,1	4242,6	4358,1	4585,2	5264,7	5103,4	4817,3	4925,0	4704,1

Nota. Las unidades son Wh/m² de radiación acumulada diaria. El código de la estación es 35035100 con latitud de 4.14, altitud de 444 y longitud de -73.63.

A partir de estos datos, se logra evidenciar que el promedio anual de radiación solar horizontal en Villavicencio es de 4,7 kWh/m²/d (ver tabla 3), el cual es mayor al promedio nacional que es de 4,5 kWh/m²/d y a su vez al mundial, siendo este de 3,9 kWh/m²/d (Beltrán Gómez, 2016).

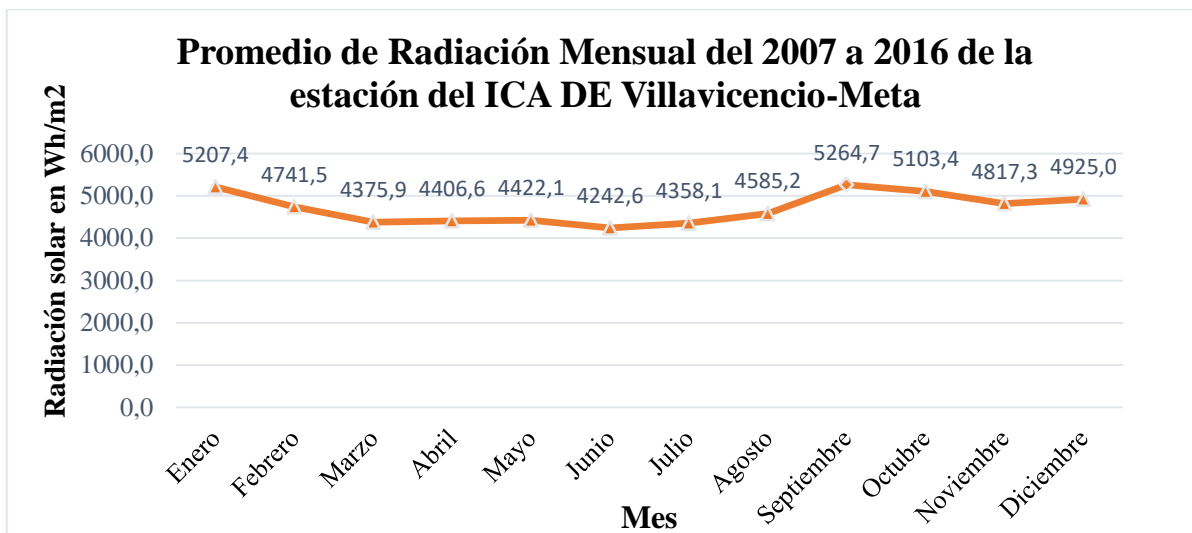


Figura 7. Promedios de Radiación Mensual de los años 2007 al 2016 de Villavicencio-Meta, por Ginna Marcela Benito Molina

La radiación solar en Villavicencio oscila entre 4,0 kWh/m²/d y 5,2 kWh/m²/d, presentando unas variaciones mínimas como se observa en el mes de junio, el cual posee un promedio de 4,2426 kWh/m², siendo el mes más perjudicial en cuanto a la incidencia de la radiación; debido a esto, se dimensiona la instalación de los dos sistemas basados en este mes, ya que al poseer las condiciones mensuales más desfavorables de insolación, el sistema podrá cubrir la demanda durante todo el resto del año.

Según el Atlas de radiación solar de la UPME, existen regiones del país como son La Guajira, parte de la Costa Atlántica, departamentos de Arauca, Casanare, Vichada y Meta, entre otros, presentan niveles de radiación por encima del promedio nacional alrededor de los 6,0 kWh/m²/d promedios comparable con algunas de las regiones con mejor recurso en el mundo como es el caso del desierto de Atacama en Chile o los estados de Arizona y Nuevo México en Estados Unidos (UMPME, 2016). Regiones como la Costa Pacífica reciben niveles por debajo del promedio sin embargo siguen estando por encima de los niveles anuales promedio recibidos en Alemania.

En Colombia los promedios mensuales de radiación solar global multianual los presenta el IDEAM, quien cuenta con la base de datos más importante y constituye un aspecto significativo como línea base del proyecto, por lo que el funcionamiento de los paneles solares está directamente relacionado con el comportamiento climático del lugar de instalación, aunque no se analizan variables como brillo solar y precipitación, se puede visionar el potencial energético posiblemente a obtener, siendo funcional para el suministro de producción de energía del sistema fotovoltaico. Es decir, el desarrollo de la energía solar está delimitado por la intensidad y los ciclos de radiación solar captada por la superficie terrestre, las condiciones meteorológicas existentes y la posibilidad de convertir esta radiación en calor o electricidad y existe una correlación entre aspectos climatológicos para analizar el comportamiento del recurso solar en la zona de estudio. Las relaciones planteadas según demuestra (Guevara Agudelo, Pérez Calderón, & Camargo Vargas, 2015) son: radiación solar-brillo solar, radiación solar-precipitación y brillo solar-precipitación.

8.3. Área disponible para la implementación del sistema:

Para hallar el área disponible se utilizó el plano entregado por la unidad de arquitectura de la universidad Santo Tomás campus Aguas Claras (figura 8), luego se utilizó el software de diseño AutoCAD para obtener el área, siendo de 1403,63 m².

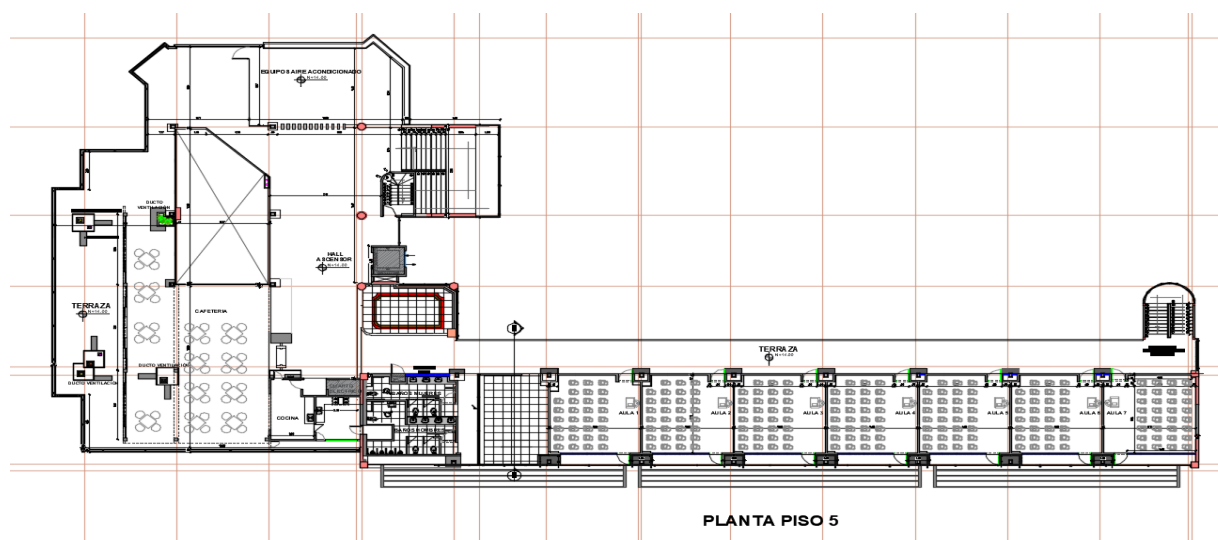


Figura 8. Área disponible para la implementación del sistema en la segunda fase de construcción (bloque B) de la universidad campus Aguas Claras, Adaptado de universidad Santo Tomás, departamento de arquitectura.

8.4. Dimensionamiento del sistema solar Aislado e Interconectado

Se contactaron 6 empresas proveedoras a nivel nacional (tabla 4) solicitando una cotización formal vía e-mail, informándoles acerca del proyecto y suministrando los datos obtenidos del consumo energético y área disponible del campus con el fin de obtener un dimensionamiento del sistema más preciso.

Tabla 4. *Proveedores del servicio del sistema fotovoltaico.*

Nombre	Teléfono	E-mail	Página web	Ciudad
COEXITO	3206884949	servicioalcliente@coexito.com.co	http://www.coexito.com.co/index.php?option=com_content&view=article&id=45	Cali y Villavicencio
GENAIR	3206925571	genairsolution@gmail.com	NA	Villavicencio
SERVICERCAR S.A.S	3124587941	Servicercar@hotmail.com	NA	Villavicencio
ENECO	3016527414	agonzalez@eneco-ic.com	www.eneco-ic.com	Cali
INGESOLAR	3133344767	Solarcolombia@gmail.com	http://ingesolar.com.co/pa-nes-solar-fotovoltaico	Bogotá
AGROVETERINARIA MASCAMPO	6622180	NA	NA	Villavicencio

Nota. Empresas Nacionales comercializadoras de elementos para los sistemas de energía solar fotovoltaica, por Karen Julieth Ruiz Calderón

A partir de lo anterior, se obtuvo respuesta de la empresa COEXITO S.A.S, la cual ofrece una gama de productos fabricados por CANADIANSOLAR, STECA Y VOLTRONIC; reconocidos por la evaluación PVUSA de la Comisión de Energía de California como los más estrictos en su control de calidad (CanadianSolar, 2018), ésta proporcionó información acerca de los precios y productos ofrecidos por la empresa, además brindó el contacto de la empresa GENAIR, la cual proporciona asesorías técnicas, acerca del dimensionamiento de una instalación fotovoltaica.

8.4.1. Sistema solar aislado:

GENAIR realizó una proyección para este tipo de sistema, en donde propuso el tipo y cantidad de equipo necesario para cubrir la necesidad energética del campus, así como el costo total incluyendo la instalación y reparación en caso de garantía, expuesto en la tabla 5:

Tabla 5. Características de los elementos del sistema solar aislado

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Suntech "A" grade 280W module- 24V USA Grade A	1940
SB 10000 TLUS 12 Grid invertir 10,000 Watts – 208/240V- 60 Hz	27
MidNite solar 600V surge protector device (MNSPD) is a type 1 device per UL1449 rev3. Protection for gridtie PV combiners and invertir input circuits.	108
PV output – MC4 MALE & FEMALE 100 FT	162
Touch safe fuse holder	162
15ª 600 VDC fuse	162
Midnight solar MNPV6 combiner box	54

Nota. Propuesta realizada por la empresa GEANIR de Villavicencio-Meta.

El costo total de la instalación propuesta por la empresa fue de \$1.747.584.000, incluyendo una garantía de dos años para los controladores y veinticinco años para los paneles solares.

Ya que el sistema no se planteó para cubrir la totalidad de la demanda energética del campus, se procede a realizar un dimensionamiento basado en el área disponible a utilizar para la implementación del sistema, calculando de este modo la cantidad de equipos posibles a utilizar y el porcentaje de energía a cubrir de la demanda junto con el ahorro generado por el mismo.

Continuando con lo anterior, para calcular el número de paneles que cabrían en el área disponible del campus, se necesitó conocer las dimensiones del panel a utilizar (ver tabla 6), determinando el área en m² que ocuparía cada uno:

Tabla 6. Dimensiones del panel Suntech "A" grade 280W.

Dimensiones del panel	m	área m ²
largo	1,94	1,9206
ancho	0,99	

$$\text{Número de paneles: } \frac{\text{área disponible}}{\text{área del panel}} = \frac{1.403,63 \text{ m}^2}{1,9206 \text{ m}^2} = 730,82$$

Luego de obtener la cantidad de los paneles posibles a instalar según el área disponible, se procedió a calcular la potencia generada por los mismos, llamada en este caso, potencia del arreglo, en donde se multiplica el número de paneles por la potencia máxima de cada uno, el cual es de 280 W y a su vez se le resta un factor de pérdidas global del generador que es del 25%, en donde se contemplan las pérdidas por conexionado y dispersión de parámetros, las pérdidas debidos al punto de trabajo del sistema, la disminución de potencia entre la nominal y la real de los módulos; siendo así:

$$\text{Potencia del arreglo (Pa): } 731 * 280 \text{ W} = 204.680 \text{ W}$$

$$\text{Pa: } 204.680 \text{ W} - 25\% = 153.510 \text{ W} = 153 \text{ Kw}$$

Después, se procedió a calcular las cargas AC generadas por el arreglo, para saber cuál es el porcentaje de electricidad que se podría suplir de la demanda consumida por el bloque A del campus, para esto, se tuvo en cuenta las horas de pico solar para Villavicencio, utilizando la radiación promedio diaria en Villavicencio, como se demuestra a continuación:

$$\text{Horas de Pico Solar (HPS)} = \frac{R}{I(\text{CEM})} = \frac{4,7041 \text{ kWh/m}^2}{1 \text{ kW/m}^2} = 4,7 \text{ h}$$

Donde:

R= radiación media diaria en kWh/m²día

I(CEM)= potencia de radiación incidente en kW/m² en CEM= 1 kW/m²

Finalmente, se utilizan las eficiencias de los equipos propuestos por la empresa GENAIR:

$$\text{Cargas AC } \left(\frac{\text{Wh}}{\text{día}} \right) = \text{Pa} * \text{EB} * \text{EI} * \text{ER} * \text{HPS} = 153 \text{ kW} * 0,8 * 0,88 * 0,85 * 4,7 \frac{\text{H}}{\text{día}}$$

$$\text{Cargas AC } \left(\frac{\text{Wh}}{\text{día}}\right) = 430 \frac{\text{Kwh}}{\text{día}} = 12.909 \frac{\text{Kwh}}{\text{mes}}$$

Donde:

EB= Eficiencia de las baterías

EI= Eficiencia del inversor

ER= Eficiencia del regulador

En consecuencia, ya que el consumo promedio mensual más alto de electricidad del campus es de $84.825 \frac{\text{Kwh}}{\text{mes}}$ (correspondiente al mes de marzo) y la energía generada por el arreglo propuesto es de $12.909 \frac{\text{Kwh}}{\text{mes}}$, se calcula que el sistema podría cubrir el 15,22% de la demanda energética de la universidad.

Del mismo modo, se realiza el cálculo de la cantidad de controladores o reguladores necesarios para separar la tensión del funcionamiento de los paneles solares de la tensión de la batería, siendo necesario conocer los siguientes datos:

Tabla 7. Características del controlador.

Características Controlador	
Potencia máxima del panel (Pmax)	280W
Tensión a máxima potencia (Vmp)	38V
Corriente de carga del panel (Imp)	7,36A
Tensión de circuito abierto (Voc)	39
Corriente de corto circuito (Isc)	8A

Nota. Controlador propuesto por la empresa GENAIR de Villavicencio-Meta.

Amperaje de controlador=Número de Módulos paralelos*Isc*1,25

Amperaje de controlador=366*8A*1,25=3660A

Número de controladores= $\frac{3660A}{80 A}$

Número de controladores=46

Luego de conocer la cantidad de controladores necesarios, se procede a realizar el diseño del banco de baterías, hallando el amperaje necesario para el sistema para luego calcular la cantidad:

$$\frac{AH}{DÍA} = \text{Voltaje del sistema} \div \left[\text{Cargas DC} + \left(\text{Cargas AC} \frac{WHr}{Día} \div 0,95 \right) \right]$$

$$\frac{AH}{DÍA} = 48V \div \left[NC + \left(0,95 \div 603.000 \frac{WH}{DÍA} \right) \right]$$

$$\frac{AH}{DÍA} = 13.223,7$$

$$\text{Baterías en paralelo} = \frac{AH}{DÍA} * \text{días de autonomía} \div \text{Límite de descarga} \div \text{capacidad de la batería}$$

$$\text{Baterías en paralelo} = 13.223,7 \frac{AH}{Día} * 3 \text{ Días} \div 0,5 \div 250 \text{ AH}$$

$$\text{Baterías en paralelo} = 317$$

$$\text{Baterías en serie} = \frac{\text{Voltaje del sistema}}{\text{Voltaje de la baterías}} = \frac{48 \text{ V}}{12 \text{ V}} = 4$$

$$\text{Total de Baterías} = \text{Baterías en serie} * \text{Baterías en paralelo}$$

$$\text{Total de Baterías} = 4 * 317 = 1268 \text{ unidades}$$

Por último, ya que la potencia generada por el arreglo de los paneles es de 153 KW, se necesitaría que los inversores tuvieran una capacidad mayor, por lo cual se escoge un inversor de marca Phoenix con capacidad de hasta 10 KW (ver características en la tabla 8), en donde serían necesarias 16 unidades.

Tabla 8. *Características del inversor.*

Características del inversor	
Rango de tensión de entrada (V DC)	9,5-17 V 19-33V 38-66V
Salida	230V \pm 2% / 50/60hZ \pm 0,1%
Potencia cont. Salida (VA)	5000
Pico de potencia (W)	10000
Eficacia máx. 12/24/48 V (%)	94/95
Consumo vacío 12/24/48 V (W)	30/35
Peso(kg)	30
Dimensiones (mm)	444x328x240

Nota. Inversor propuesto por la empresa GENAIR de Villavicencio, Meta

En resumen, el sistema aislado estaría conformado de la siguiente manera ver tabla 9:

Tabla 9. *Componentes del sistema fotovoltaico aislado.*

Equipo	Cantidad
Panel	731
Controlador	46
Inversor	16
Baterías	1268

8.4.2. *Dimensionamiento del sistema Interconectado a la red:*

Para el sistema solar fotovoltaico conectado a la red se tuvo en cuenta sus elementos básicos, los cuales son los paneles, inversores, contadores y transformadores; como el área disponible para la instalación sigue siendo la variable limitante del sistema, se obtuvieron los mismos resultados con respecto a la cantidad de los paneles solares, los inversores y ya que estos últimos incluyen la función de un transformador, solo se escogió la cantidad de contadores a utilizar.

Los contadores registran la energía que pasa por un circuito determinado; si se colocan entre el regulador y el consumo, medirán la energía consumida por el usuario en forma de corriente continua y si se ubican entre los módulos fotovoltaicos y el regulador, medirán la energía que genera el campo fotovoltaico (Gutiérrez Vargas, 2002), por lo tanto, serían necesarios dos contadores, ya que si en algún momento se quisiera vender la energía generada a la red eléctrica, se sabría con exactitud la cantidad de energía generada por el sistema.

Entonces, el sistema conectado a la red eléctrica estaría conformado por:

Tabla 10. *Componentes del sistema fotovoltaico conectado a la red.*

Equipo	Cantidad
Panel	731
Controlador	46
Inversor- transformador	16
Contador	2

8.5. Costos de los componentes del sistema:

De las seis empresas contactadas (mencionadas en el dimensionamiento), se obtuvo (ver tabla 11) contacto personal y/o virtual con una cotización formal de las siguientes:

Tabla 11. *Cotización de los componentes del sistema*

PROVEEDOR	PRECIO COP			
	PANEL	BATERÍA	CONTROLADOR	INVERSOR
COEXITO	492.403	524.443	1'088.967	1'049.787
GENAIR	439.405	520.126	1'000.000	1'240.787
SERVICERCAR S.A.S	1'050.000	1'100.000	380.000	250.000
ENECO	541,783	NA	NA	\$14,779,800

Nota. Información brindada a través de los portafolios de precios de cada empresa, por Karen Julieth Ruiz Calderón.

A partir de esta información, se escogieron los precios de los paneles e inversores de la empresa ENECO y las baterías junto con los controladores de la empresa COEXITO como se muestra en la tabla 12, para cada sistema:

Tabla 12. *Costos por sistema*

Sistema solar conectado a la red			Sistema Aislado		
Equipo	Cantidad	Precio	Equipo	Unidades	Precio
Panel Solar policristalino	731	\$433.426.40	Panel Solar policristalino	731	\$433.426.400
Inversor de interconexión a red	16	\$339.935.40	Inversor de interconexión a red	16	\$339.935.400
Sistema de soportes para paneles	731	\$74.256.000	Sistema de soportes para paneles	731	\$74.256.000
Cableado en DC con tubería	250	\$7.318.500	Cableado en DC con tubería	250	\$7.318.500
Cableado en AC con tubería	35	\$9.038.050	Cableado en AC con tubería	35	\$9.038.050
Protecciones eléctricas	1	\$8.568.000	Protecciones eléctricas	1	\$8.568.000
Controlador	46	\$54.448.350	Controlador	46	\$54.448.350
Contador	2	\$733.980	Baterías	1268	\$664.993.724
Total	1812	\$776.122.605	Total	3072	\$1.440.382.349

Nota. Costos de los equipos seleccionados por conveniencia de precio y calidad, por Ginna Benito y Karen Ruiz.

Con lo anterior expuesto, se logra evidenciar que el sistema fotovoltaico aislado es más costoso en su inversión inicial que el conectado a la red, esto sucede debido a que en este tipo de sistemas son necesarias las baterías y que en este caso, ya que es un sistema a gran escala, el precio de las mismas representa el 46% del costo total de los elementos del sistema; además, la cantidad de equipos necesarios para el sistema aislado supera la del sistema conectado a la red por 1266 unidades, lo que representa un incremento en el espacio a utilizar.

8.6. Matrices de Impacto Ambiental:

Para determinar la magnitud de la relación proyecto ambiente, se utilizó el método de valoración de impactos EPM o Arboleda, que se define como una técnica cualitativa-cuantitativa que determina la calificación ambiental a partir de una escala de valoraciones adjetivas de distintos criterios, para obtener un valor numérico (Millán, 2012).

A partir de esto, se realizaron tres matrices, una para el sistema de energía actual del campus (convencional) evidenciada en el anexo D, y otra por cada sistema fotovoltaico planteado (aislado en el anexo E y conectado en el apéndice F), para los dos últimos, se tuvieron en cuenta factores como el abiótico, biótico y socioeconómico, así como los componentes atmosférico, hídrico, paisaje, suelo, fauna silvestre y cobertura vegetal, otorgándole un impacto a cada uno y dividiéndolos según la etapa del proyecto (construcción, operación y desmantelamiento).

Además, se tuvieron en cuenta los componentes del sistema que dependen del tipo de aplicación (autónoma o conectada a la red) y de las características de la instalación. Los sistemas autónomos incluyen los paneles fotovoltaicos, los acumuladores, el regulador de carga y el inversor, mientras que los sistemas conectados a red no tienen acumuladores ni reguladores de carga, ya que la electricidad producida se vierte a la red (Pasqualino, Cabrera, & Chamorro, 2015).

Para la matriz de la energía convencional captada de hidroeléctricas del país ubicadas en Antioquia, Caldas, Tolima y Santander de la empresa ISAGEN, se obtuvieron a través de realiza una búsqueda de las etapas de algunos proyectos que se han generado en Colombia de centrales de hidroeléctricas y térmicas, en el cual se evidenció que existía preliminarmente la etapa de diseño, seguidamente la de construcción, preparación, operación y por último el abandono, que es cuando se culmina totalmente el proyecto y ya se pone en marcha la distribución y comercialización de la energía eléctrica y a funcionar la central. Simultáneamente, se relacionó cada etapa con el impacto generado por cada actividad, las cuales se identifican en compra de terrenos, contratación de mano de obra, remoción de cobertura vegetal y descapote, transporte y acarreo de material, ocupación y funcionamiento de campamentos, contratación de bienes y servicios, equipamiento para generar electricidad, construcción de embalses y centrales,

construcción de vías, instalaciones de grandes turbinas, tráfico de vehículos en la zona, llenado de embalse, subestación de distribución, elementos mecánicos, líneas eléctricas, emplazamiento de residuos y desperdicios de obra, instalación, mantenimiento de maquinaria y equipos y de vías, manejo y disposición de residuos, energización de transmisión y operación del embalse.

Después de la evaluación de cada uno de los componentes se obtuvo una calificación ambiental, definida como Muy baja, Baja, Media o alta, por consiguiente, para el caso del sistema fotovoltaico aislado (ver apéndice E), el impacto ambiental negativo obtenido con más relevancia fue la contaminación atmosférica, causada en la etapa de construcción con actividades como el transporte de la maquinaria-equipos-materiales y la fabricación de las baterías, calificadas con una Ca Media con un puntaje de 4,64 y 5,76; así mismo, se obtuvieron calificaciones positivas Altas (ver figura 11) y Medias en el componente socio económico, con impactos como avance en educación, ciencia y tecnología, conciencia ambiental y reconocimiento social local con un puntaje de 7,2 sobre uno de 10, demostrando que el proyecto tiene impactos negativos poco significativos a lo largo de su ciclo de vida comparados con los impactos positivos, los cuales tienen una importancia socio-ambiental mayor.

En el sistema conectado a la red (apéndice F) el factor socioeconómico presenta numerosos impactos positivos debidos a la generación de empleo, la disponibilidad de una fuente de energía alterna, la generación de nuevo conocimiento, entre otros; a su vez se dieron doce aspectos positivos, lo cual evidencia que hay un sentido de cambio ambiental beneficioso si se llegara a ejecutar el proyecto, estos con una importancia baja y media y 1 negativo para la operación de limpieza y transformación del terreno o la estructura (ver figura 10), ya que se generan desperdicios o desechos y afectaciones sonoras. En cuestión a el factor biótico dio una clase con 5 negativos y 5 positivos, estando equilibrado los impactos, pero en el factor abiótico predomino los aspectos negativos con 21 clase (-) y 3 positivos para manejo de residuos, recuperación del suelo y mantenimiento correctivo que hace énfasis a corregir los defectos observados en el equipamiento o instalación para repararlos y que continúe en perfecto estado.

Los impactos identificados en las fases de construcción y desmantelamiento son los más significativos en cuanto a las afectaciones en la atmosfera por las emisiones de gases, partículas,

consumo de recursos, generación de residuos y afectación permanente del medio biótico. En particular, la construcción de las vías de acceso y las edificaciones auxiliares causan los impactos más significativos sobre la vegetación, la fauna y el suelo. Es claro que este tipo de proyectos debería considerar que su implementación fuera en aquellas zonas de menor presencia de vegetación con el fin de minimizar los impactos, para lo cual se considera viable que se pongan los paneles en el tejado de las edificaciones del Campus Aguas Claras, por ende, este aspecto va a disminuir positivamente.

Claramente se sabe que el componente principal de la instalación son los paneles fotovoltaicos, cuya fabricación representa los principales impactos a lo largo del ciclo de vida. La producción de 1 kWh de energía fotovoltaica tiene asociadas unas emisiones de 81,2 g CO₂ equivalentes, así como el consumo de 9,35 litros de agua, aproximadamente 95 % de los cuales se asocian al proceso de fabricación de las celdas de silicio (Rodrigo, Cañellas, Meneses, Castells, & Solé, 2008). A pesar de esto, el silicio es el segundo elemento mayoritario en la Tierra y no es tóxico, con lo cual el impacto de su extracción, purificación y manipulación está asociado al consumo de energía y materiales. El proceso de conversión de energía solar en electricidad está prácticamente libre de emisiones y generación de ruidos, ya que las únicas partes móviles son los dispositivos de seguimiento solar, si los hubiera, los cuales se desplazan muy lentamente.

En relación con la energía convencional se obtuvo en la matriz (anexo D) que en un 82,09% hay un sentido negativo del cambio ambiental producido por una determinada acción, es decir, que existe una ocurrencia de impactos negativos considerables con este tipo de generación energética, por ende, se demuestra que este tipo de proyectos de centrales hidroeléctricas en un 17,91% solo produce aspectos positivos durante su ejecución; no se mejora el ambiente, sino se degrada constantemente. También se observó una distribución en la importancia ambiental de 23,19% para Alta, 37,68% para Media, 30,43% Baja y un 8,70% para Muy baja; considerando que ocurre (ver figura 9) en el sistema abiótico y socioeconómico para los componentes atmosfera, agua, paisaje y suelo impactos significativamente altos productos de utilización de recursos naturales, deterioro de la calidad del aire, interferencia en los procesos biológicos en el agua, alteraciones en la flora y fauna fluvial, cambios en la dinámica población, entre otros durante los diversas etapas de la obra de la central.

Por otra parte, a continuación, se enumeran y describen los impactos causados en algunos de los componentes ambientales más relevantes (ver figura 9):

8.6.1. Impacto del suelo

Esto es debido a la destrucción del suelo a causa de las actividades antrópicas realizadas por la obra, bien sea por ocupación o por compactación, por riesgos inducidos, particularmente erosión, degradación y meteorización, y por contaminación debida a los vertidos accidentales que puedan tener lugar durante el desarrollo de la construcción de la obra. En un proyecto de centrales de hidráulica, las acciones que van a producir un efecto sobre el suelo, “entendiendo éste como soporte físico, son la excavación del terreno para los apoyos de la línea eléctrica y para el canal de desagüe, que provocará la pérdida del mismo, y la retirada y posterior acumulación, que producirá una ruptura edáfica del terreno” (Instituto Nacional de Preinversión, 2013).

8.6.2. Impacto del recurso hídrico

La contaminación de dicho aspecto ambiental según la valoración de impacto puede verse afectada por incremento de sólidos disueltos y en suspensión, que son arrastrados por las aguas de escorrentía y la duración del impacto vivirá lo que subsista la central hidroeléctrica en funcionamiento, por lo que las obras se pueden localizar en la margen de causes o embalses que acumulan cierta cantidad de agua.

Sin embargo, la Instituto Nacional de Preinversión (2013) en su proyecto de hidroeléctrica Tahuín se puede considerar que la afección se considera escasamente significativa, y en todo caso pasaría a ser significativa si se produce algún derrame de aceites y/o hidrocarburos de la maquinaria empleada en la obra durante las acciones de movimiento de tierras, cimentación, tendido de cables y montaje de apoyos en las proximidades de los cauces. Por lo que es considerable que, en la fase de Operación o funcionamiento, el régimen de explotación de la central

hidroeléctrica quedará supeditado a la disponibilidad de recurso en el embalse y al propio régimen de operación de la presa.

Entre otros efectos que tienen un impacto directo sobre los ecosistemas acuáticos, se registran: la variación en la entrada de luz, los cambios en los porcentajes de sedimentos flotantes, la destrucción de organismos sensibles a nutrientes, afectación de organismos migratorios, el estancamiento de aguas, la excesiva entrada de nitrógeno al agua. Existe también la posibilidad de contaminación por mercurio en las lagunas de embalse (donde se acumularán temporalmente aguas de exceso antes de caer y generar electricidad por medio de turbinas) debido a la degradación de la materia orgánica (Báez A & De la Torre, 2011).

8.6.3. Impactos sobre la atmósfera

La calidad del aire aumenta o disminuye según la cantidad de gases contaminantes que se emiten, principalmente se evidencio que la contaminación por material particulado se presenta en la fase de construcción con la actividad de transporte de materiales. Además, las alteraciones son atribuidas de igual manera a la maquinaria pesada y a la pavimentación de las vías.

Según lo observado en el comportamiento de la calificación ambiental se analiza que el impacto medioambiental según los diferentes factores como la atmosfera, destrucción de ecosistema, emisiones o residuos, se llega a la conclusión de que tienen el impacto negativo que genera este tipo de obras puede llegar a ser nulo o irrelevante, dándose estos factores exclusivamente en la fabricación, pero no en la utilización de estas instalaciones. Por ende, se considera que es debido a los procesos industriales de la fabricación de los diferentes elementos que componen la instalación, se utilizan componentes y procesos de fabricación en los que se generan emisiones gaseosas a la atmósfera y vertidos que tienen un impacto sobre el medioambiente y estos están regulados por ley.

En cuanto al proceso de funcionamiento de las instalaciones fotovoltaicas, se puede verificar que es una energía limpia, no genera contaminación acústica, es decir, totalmente silencioso, y la

conversión producida por el inversor al trabajar en muy altas frecuencias, no son audibles para los humanos. No emite emisiones de dióxido de carbono ya que no requiere de ningún tipo de combustión para la generación de energía, solo utiliza como fuente de energía el Sol. Por último, debido a que los elementos de los que se compone el sistema no necesitan verter ningún residuo, ya que su funcionamiento es puramente eléctrico y su refrigeración se realiza por convección natural hacen a las instalaciones solares fotovoltaicas, sistemas limpios y renovables (Cermeño, 2015).

Sistema	Componente	Aspecto Ambiental	Impacto	Actividades	Etapas	Clase	P	E	D	M	Ca	IA	
Abiótico	Atmosférico	Emisión de gases	Deterioro de la calidad del aire por emisiones de gases por combustión	Trasporte y acarreo de material	Construcción	-	0,9	1	0,9	0,8	7,47	Alta	
			Ocupación y funcionamiento de campamentos	Construcción	-	0,9	0,8	0,8	0,8	6,19	Alta		
			Contaminación del aire por material particulado	Construcción de vías	Construcción	-	1	0,9	0,8	0,8	7,44	Alta	
			Trasporte y acarreo de material	Construcción	-	1	0,8	0,8	0,8	6,88	Alta		
	Hídrico	Utilización de ríos para embalses	Interferencia sobre procesos biológicos en los cuerpos de agua	Operación del embalse	Abandono	-	0,9	0,8	0,8	0,8	6,19	Alta	
				Llenado de embalse	Preparación	-	0,8	0,8	0,8	1	6,40	Alta	
			Alteraciones en la fauna y flora fluvial	Operación del embalse	Operación	-	0,8	0,8	0,8	1	6,40	Alta	
	Paisaje	Cambio al paisaje natural	Invasión a cuerpos de agua	Modificación de ecosistemas	Operación del embalse	Operación	-	0,8	1	0,8	1	7,52	Alta
				Disminución de recursos naturales	Construcción de vías	Construcción	-	1	0,8	0,8	1	8,00	Alta
					Compra de terrenos	Diseño	-	1	0,8	0,8	1	8,00	Alta
Socio Económico y Social	Suelo	Remoción de cobertura Vegetal	Erosión y meteorización	Remoción (Cobertura Vegetal) y descapote	Construcción	-	1	0,8	0,8	0,8	6,88	Alta	
				Construcción de vías	Construcción	-	0,8	0,8	0,8	1	6,40	Alta	
	Económico	Demografico	Cambios en la dinámica poblacional	Destrucción de hábitat terrestre	Remoción (Cobertura Vegetal) y descapote	Construcción	-	0,8	0,8	0,8	1	6,40	Alta
					Contratación de mano de obra	Diseño	-	1	0,8	0,8	0,8	6,88	Alta
Social	Demografico	Incremento en riesgo de accidentes	Operación del embalse	Operación	-	1	0,8	0,8	0,8	6,88	Alta		

Figura 9. Matriz de evaluación de impacto ambiental para la energía convencional producida en hidroeléctricas en Colombia, por Ginna Marcela Benito Molina.

SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED											
Factor	Componente	Impacto	Etapas	Actividad	Clase (+/-)	P	E	D	M	Ca	Importancia ambiental
Socio Económico	Social	Reconocimiento social local	Operación	Generación de energía renovable	+	1	0,6	1	1	7,2	Alta

Figura 10. Matriz de evaluación de impacto ambiental para el sistema fotovoltaico conectado a la red, por Karen Julieth Ruiz Calderón.

SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO AISLADO											
Factor	Componente	Impacto	Etapas	Actividad	Clase (+/-)	P	E	D	M	Ca	Importancia ambiental
Socio Económico	Social y Económico	Avance en educación, ciencia y tecnología	Operación	Generación de energía renovable (disminución de GEI)	+	1	0,6	1	1	7,2	Alta
		Reconocimiento social local			+	1	0,6	1	1	7,2	Alta

Figura 11. Matriz de evaluación de impacto ambiental para el sistema fotovoltaico aislado, por Karen Julieth Ruiz Calderón.

8.7. Reducción de Dióxido de Carbono:

Para el cálculo de la reducción del dióxido de carbono al medio ambiente por la implementación del proyecto, se escogió la metodología implementada por la UPME (Unidad de Planeación Minero Energética), la cual estima los factores de emisión FE del sistema interconectado nacional Colombia SIN, con el fin de aplicarse a proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) y de inventarios de emisiones de Gases Efecto Invernadero-GEI, huella de carbono o Factor de Emisión de la Generación Eléctrica (Mix Eléctrico) (Madríñan, Flórez, & González, 2017).

Para los proyectos de MDL, el cálculo del FE está basado en el “Tool to calculate the emission factor for an electricity system”, herramienta establecida por la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCC, 2017), cuya finalidad es determinar el factor de emisión de CO₂ a emplear para proyectos que desplacen energía eléctrica generada con plantas de energía

renovable en un sistema eléctrico, es decir cuando una actividad de proyecto con energías renovables suministra electricidad a una red (oferta energética) y ésta resulta en ahorros de electricidad que habría sido suministrada por la red (por ejemplo, proyectos de eficiencia energética, como el propuesto en el presente trabajo ya que es un proyecto de energía no convencional en el cual, el resultado incurre en un ahorro de electricidad por parte del campus Aguas claras que era suministrada por la red).

El cálculo más reciente realizado por la UPME de este factor, fue en el año 2016, en el cual, utilizan el método simple ajustado, donde se incluye centrales hidroeléctricas, geotérmicas, eólicas, biomasa de bajo costo, nuclear y solar, en el que el Factor de Emisión del SIN para proyectos MDL es de $FE = 0.367 \text{ tCO}_2 / \text{MWh}$, que equivalen a $0.367 \text{ gCO}_2 / \text{Wh}$, entonces, teniendo en cuenta la demanda energética diaria del campus, se realizó el cálculo de emisiones de CO_2 a la atmosfera, cuando esta demanda es suministrada por la red eléctrica convencional (tabla 13).

Tabla 13. *Reducción de dióxido de carbono (CO₂).*

Consumo diario (Kwh)	Consumo Anual (Kwh)	Factor de emisión gCO ₂ /Kwh	g de CO ₂ anuales
2010,124	733,695	0.367	269.266

Nota. Cálculo basado en el factor brindado por la UPME, por Karen Julieth Ruiz Calderón.

Así, se demuestra que la implementación del proyecto, reduciría la emisión de 269.266 g o 0.269266 T de CO_2 anuales a la atmosfera, lo que favorece la reducción de gases de efecto invernadero.

8.8. Indexación de valores económicos:

La evaluación económica se determina por medio de herramientas e indicadores financieros, a través de metodologías como la de beneficio-costo para determinar la viabilidad del proyecto. Debido a lo anterior, se tuvo en cuenta el presupuesto necesario como inversión inicial, el flujo de fondos (entradas y salidas de dinero) conformado por todos aquellos equipos y materiales para la

instalación, operación y mantenimiento correcta del sistema fotovoltaico conectado a la red (este sistema ahorra hasta un 30% del consumo, es más económico por lo que no es necesario la compra de baterías y otros elementos para el sistema y la universidad no está ubicada en un sector rural, sino urbano por lo que tiene el respaldo de energía eléctrica), por ende, son gastos o egresos y beneficios (ingresos) por los ahorros monetarios que se obtendrían de la disminución de la factura energética. Además, se calcula la tasa de interés de oportunidad (TIO), los indicadores de rentabilidad como el valor presente neto (VPN) y tasa de interés de retorno (TIR), una vez aplicados al flujo de fondos o caja, se compara los resultados para determinar la viabilidad del proyecto.

8.8.1. Costos de implementación, operación y mantenimiento del sistema

A continuación se presentan el consolidado de la cotización hecha (ver tabla 13) de los sistemas solares fotovoltaicos a implementar en el Campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás, los cuales se realizaron mediante costos unitarios y si se llegara a ejecutar se negociararía con la empresa la instalación, operación y mantenimiento del sistema solar fotovoltaico (ésta sería elección de la universidad con criterios de costos más económicos, mejores garantías en la operación y mantenimiento del sistema, entre otros convenientes para la Universidad.

Luego de observar las cotizaciones de todas las empresas de las que se obtuvo una respuesta, se optó por utilizar el formato de la cotización de la empresa ENECO S.A.S (ver tabla 14 y 15) ya que fue la más actualizada y detallada; en esta se evidencia que existe un subtotal y total que depende de la administración, imprevistos y utilidades (AIU) de la empresa, además de atribuir un 10%, de lo cual un 5% se dispone para administración, que incluye los costos de personal que participa indirectamente en la ejecución de la obra (cargos ejecutivos y administrativos en oficinas), un 2% de imprevistos que se pudieran presentar en sobrecostos adicionales no contemplados en el 100% del presupuesto inicial de la obra y por último, un 3% de utilidad el cual es un porcentaje establecido por política de la empresa.

Tabla 14. Costos de cotización de instalación, operación y mantenimiento para la puesta en marcha del sistema conectado a la red.

COTIZACIÓN DE INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DE SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED						
Ítem	Elemento	Características	Unidad	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total
EQUIPOS PARA LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA						
1	Panel Solar policristalino	JINKO SOLAR 280W	UND	\$541.783	731	\$396.043.373
2	Inversor de interconexión a red	24kW trifásico. 480V	UND	\$14.779.800	16	\$236.476.800
3	Sistema de soportes para paneles	320W	UND	\$92.820	731	\$67.851.420
4	Cableado	DC con tubería. 6 strigs x inversor	MTR	\$29.274	250	\$7.318.500
5	Cableado en AC con tubería	3F+N+T	MTR	\$258.230	35	\$9.038.050
6	Controlador		UND	\$1.088.967	46	\$50.092.482
7	Contador		UND	\$366.990	2	\$733.980
8	Protecciones eléctricas	Metal inoxidable	UND	\$8.568.000	1	\$8.568.000
OPERACION Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA						
9	Mano de Obra	Personal para la puesta en marcha	GBL	\$1.000.000	10	\$10.000.000
10	Mantenimiento	Preventivo	Año	\$2.514.559,00	25	\$62.863.975
11	Operador de Red	Entrega del proyecto para puesta en marcha	UND	\$1.290.000,00	1	\$1.290.000
TOTAL, CON IVA INCLUIDO						\$850.276.580
Administración (5%)						\$42.513.829
Imprevisto (2%)						\$17.005.532
Utilidad (3%)						\$25.508.297
Total del proyecto						\$935.304.238

Nota. Cotización con todos los procesos del sistema (instalación, operación y mantenimiento), con formato brindado por la empresa ENECO S.A. por Ginna Marcela Benito Molina.

Tabla 15. Costos de cotización de instalación, operación y mantenimiento para la puesta en marcha del sistema aislado.

COTIZACION DE INSTALACION Y OPERACION DE SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO						
Item	Elemento	Características	Unidad	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total
EQUIPOS PARA LA INSTALACION DEL SISTEMA						
1	Panel Solar policristalino	JINKO SOLAR 280W	UND	\$ 541.783	731	\$396.043.373
2	Inversor de aislado a la red	Onda pura palma 500W - 12V	UND	\$ 14.779.800	16	\$236.476.800
3	Soportes para paneles	320W	UND	\$ 92.820	731	\$67.851.420
4	Cableado	DC con tubería. 6 strigs x inversor	MTR	\$ 29.274	250	\$7.318.500
5	Cableado en AC con tubería	3F+N+T	MTR	\$ 25.230	35	\$9.038.050
6	Protecciones eléctricas	Metal inoxidable	UND	\$ 8.568.000	1	\$8.568.000
7	Controlador		UND	\$ 1.088.967	46	\$50.092.482
8	Baterías		UND	\$ 524.443	1268	\$664.993.724
OPERACION Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA						
9	Mano de Obra	Personal para la puesta en marcha	GBL	\$1.000.000	10	\$10.000.000
10	Mantenimiento	Preventivo	Año	\$2.514.559,00	25	\$62.863.975
11	Operador de Red	Entrega del proyecto para puesta en marcha	UND	\$1.290.000,00	1	\$1.290.000
TOTAL, CON IVA INCLUIDO						\$1.514.536.324
Administración (5%)						\$75.726.816
Imprevisto (2%)						\$30.290.726
Utilidad (3%)						\$45.436.090
Total del proyecto						\$1.665.989.956

8.8.1. Beneficios

Para la determinación de los beneficios económicos si se implementara el proyecto, inicialmente se realiza una comparación del consumo eléctrico del campus antes y después de implementar los dos tipos de sistemas solares, tal como se observa a continuación:

Tabla 16. *Energía consumida del sistema eléctrico convencional del campus Aguas Claras sede Villavicencio.*

Año	Energía consumida (kWh/mes)												
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio
2013				37.684	61.607	57.896	45.486	35.687	49.880	55.892	57.542	51.469	50.349
2014	19.364	19.626	61.819	63.651	52.437	53.392	30.776	32.635	49.955	60.564	56.547	49.184	45.829
2015	26.788	33.196	64.933	62.106	58.216	58.208	38.796	41.077	53.788	65.053	61.543	51.183	51.241
2016	29.445	34.496	90.681	78.471	78.288	74.618	56.045	48.217	76.779	74.402	79.864	74.037	66.279
2017	45.252	49.211	85.235	96.398	83.302	106.353	75.309	62.789	109.792	106.431	116.919	108.483	87.123
2018	72.009	71.678	121.455	120.234									96.344
Promedios	38.572	41.641	84.825	76.424	66.770	70.093	49.282	44.081	68.039	72.468	74.483	66.871	66.194

En la tabla 16 se puede evidenciar datos de un periodo de 5 años, desde el año 2013 hasta el 2018, consecutivamente se hallaron promedios tanto mensuales como anuales, donde el promedio con mayor consumo en kW/mes es marzo, por ende, se puede pronosticar cuales serán en el sistema fotovoltaico los meses de mayor o menor consumo dependiendo del comportamiento de los datos recolectados, que se relacionan ciertamente con la cantidad de alumnos que habitualmente asiste y hace uso de la sede, así como la mayor demanda de facultades, los meses en que hay recesos académicos, entre otros.

En cuanto a los promedios anuales se tiene que el año con mayor consumo es el 2018, sin embargo, en la tabla 15 se puede evidenciar que desde el 2013 al 2018 va en aumento producto de la mayor oferta de programas académicos, la construcción de torres y el aumento de estudiantes cada año en la institución.

Por otra parte, en la tabla 16 se observan los porcentajes de ahorro energético del campus, los cuales se hallaron a partir de lo que en teoría generaría habitualmente el sistema fotovoltaico, el cual es de 18.095,616 kW/mes; este valor ya se había hallado en el dimensionamiento dependiendo de la cantidad de paneles a utilizar, entonces el aporte del sistema (%) se calculó a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentajes del sistema en ahorro energético} = \frac{\text{Valor mensual kW/mes paneles}}{\text{Valor mensual consumo de la Universidad en } \frac{\text{kW}}{\text{mes}} \text{ para el año 2017}}$$

Se escogió el año 2017 como año base, debido a que es un año que posee los consumos mensuales completos, además de ser el más actualizado; análogamente se demostró que los porcentajes están desde un rango de 11,04% y 28,53%, variando para cada mes debido a que el consumo es diferente en dicho año. Además, los meses con más aporte en % es enero exteriorizando que es posible ahorrar para dicho mes la mayor cantidad de energía eléctrica.

Tabla 17. *Aporte en porcentaje del ahorro energético para el campus Aguas Claras universidad Santo Tomás sede Villavicencio.*

Aporte del sistema de ahorro energético para la Universidad Santo Tomás Campus Aguas Claras sede Villavicencio (%)													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio
2017	28,53%	26,23%	15,15%	13,39%	15,50%	12,14%	17,14%	20,56%	11,76%	12,13%	11,04%	11,90%	16,3%

Continuando con lo anterior, en la tabla 18, se evidencia el ahorro mensual en pesos, en donde para el año base se ahorrarían \$47.459.360 millones de pesos, de los cuales, los meses con mayor aporte son marzo y noviembre.

Tabla 18. *Ahorro en costos energéticos en la implementación del sistema fotovoltaico del campus Aguas Claras sede Villavicencio.*

Beneficio del sistema del ahorro energético fotovoltaico para la Universidad Santo Tomás Campus Aguas Claras sede Villavicencio (\$)													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
2017	\$4.299.155	\$4.049.490	\$4.650.162	\$4.129.916	\$3.983.135	\$3.872.025	\$2.588.283	\$3.429.535	\$3.762.628	\$4.115.161	\$4.316.107	\$4.263.765	\$47.459.360

Por otra parte, también se pueden evidenciar beneficios económicos gracias a los incentivos tributarios que ofrece la Ley Colombiana 1715 de 2014, la cual regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional, creando los beneficios a nivel tributario, arancelario y contable, como se muestran a continuación:

- **Impuesto sobre la renta:** De acuerdo con el artículo 11 de la presente ley, los obligados a declarar renta que realicen inversiones en pro de la producción y utilización de energía a partir de fuentes no convencionales de energía, podrán reducirse en renta hasta el 50% del valor total de la inversión realizada. Dicha deducción puede aplicarse por los 5 años

siguientes al año gravable en que se haya efectuado la inversión, pero no puede ser superior al 50% de la renta líquida antes de restar el valor de la inversión.

- Iva: En el artículo 12 se manifiesta que están excluidos del IVA los equipos, elementos, maquinaria y servicios que vayan a ser destinados a la producción y utilización de energía a partir de fuentes no convencionales.
- Aranceles: Los pagos por concepto de maquinaria, equipos, materiales e insumos que no sean producidos por la industria nacional, y que por tanto deben ser importados por no existir ningún otro medio de adquisición estarán exentos del pago de los derechos arancelarios de importación; esto para el caso de que la universidad decidiera importar los equipos y materiales o insumos del sistema de energía.
- Depreciación: A las maquinas, equipos y obras civiles necesarias para la preinversión, inversión y operación de la generación de energía con fuentes no convencionales se les podrá aplicar depreciación acelerada, cuya tasa anual no podrá ser superior al 20%.

8.8.2. Flujo de efectivo e Indicadores financieros:

Para el flujo de efectivo se realizó una proyección a 25 años de cada uno de los sistemas fotovoltaicos, ya que la vida útil del proyecto es considerada entre 25 y 30 años, para esto se necesitó de los datos hallados anteriormente, tales como los beneficios generados por el arreglo y la inversión requerida para la puesta en marcha de cada sistema (ver tabla 19 y20), luego se calcularon a través del software Excel los indicadores financieros mencionados en la metodología (ver tabla 21)

Tabla 19. *Flujo de fondos del sistema aislado.*

FLUJO DE FONDOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FUENTES		\$ 472.746.170	\$ 448.431.509	\$ 426.460.622	\$ 407.221.631	\$ 390.459.851	\$ 375.946.706	\$ 363.477.139	\$ 352.867.284	\$ 343.952.372	\$ 336.584.843
Utilidad neta	\$ 1.514.536.324	\$ 291.534.753	\$ 281.633.534	\$ 272.634.746	\$ 265.070.644	\$ 258.816.264	\$ 253.759.779	\$ 249.801.206	\$ 246.851.246	\$ 244.830.239	\$ 243.667.224
Depreciación sobre los activos depreciables	\$ -	\$ 144.134.430	\$ 129.720.987	\$ 116.748.888	\$ 105.073.999	\$ 94.566.599	\$ 85.109.940	\$ 76.598.946	\$ 68.939.051	\$ 62.045.146	\$ 55.840.631
Amortización de diferidos año	\$ -	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988
Valor de salvamento	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
USOS	\$ 1.564.536.324	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Inversión en Activos Fijos	\$ 1.440.382.349	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Inversión en operación	\$ 74.153.975	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Inversión en Activos Circulantes	\$ 50.000.000										
FLUJO NETO	-\$ 1.564.536.324	\$ 472.746.170	\$ 448.431.509	\$ 426.460.622	\$ 407.221.631	\$ 390.459.851	\$ 375.946.706	\$ 363.477.139	\$ 352.867.284	\$ 343.952.372	\$ 336.584.843

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
\$ 330.632.653	\$ 325.977.748	\$ 322.514.689	\$ 320.149.424	\$ 318.798.176	\$ 318.386.444	\$ 318.848.108	\$ 320.124.623	\$ 322.164.296	\$ 324.921.633	\$ 328.356.756	\$ 332.434.878	\$ 337.125.832	\$ 342.403.650	\$ 348.246.181
\$ 243.299.098	\$ 243.669.849	\$ 244.729.881	\$ 246.435.398	\$ 248.747.854	\$ 251.633.455	\$ 255.062.719	\$ 259.010.075	\$ 263.453.504	\$ 268.374.221	\$ 273.756.387	\$ 279.586.847	\$ 285.854.905	\$ 292.552.117	\$ 299.672.103
\$ 50.256.568	\$ 45.230.911	\$ 40.707.820	\$ 36.637.038	\$ 32.973.334	\$ 29.676.001	\$ 26.708.401	\$ 24.037.561	\$ 21.633.805	\$ 19.470.424	\$ 17.523.382	\$ 15.771.044	\$ 14.193.939	\$ 12.774.545	\$ 11.497.091
\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988
\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
\$ 330.632.653	\$ 325.977.748	\$ 322.514.689	\$ 320.149.424	\$ 318.798.176	\$ 318.386.444	\$ 318.848.108	\$ 320.124.623	\$ 322.164.296	\$ 324.921.633	\$ 328.356.756	\$ 332.434.878	\$ 337.125.832	\$ 342.403.650	\$ 348.246.181

Tabla 20. *Flujo de fondos del sistema Conectado a la red.*

FLUJO DE FONDOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FUENTES		\$ 395.680.965	\$ 384.585.440	\$ 374.637.287	\$ 366.159.304	\$ 308.097.914	\$ 307.399.637	\$ 307.363.451	\$ 307.943.639	\$ 309.099.766	\$ 310.796.172
Utilidad neta	\$ 849.909.590	\$ 225.108.778	\$ 221.784.099	\$ 218.829.707	\$ 216.646.109	\$ 164.249.665	\$ 168.649.839	\$ 173.202.260	\$ 177.912.195	\$ 182.785.093	\$ 187.826.593
Depreciación sobre los activos depreciables	\$ -	\$ 77.708.456	\$ 69.937.610	\$ 62.943.849	\$ 56.649.464	\$ 50.984.518	\$ 45.886.066	\$ 41.297.459	\$ 37.167.713	\$ 33.450.942	\$ 30.105.848
Amortización de diferidos año	\$ -	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988
Valor de salvamento	\$ -	\$ 55.786.744	\$ 55.786.744	\$ 55.786.744	\$ 55.786.744	\$ 55.786.744	\$ 55.786.744	\$ 55.786.744	\$ 55.786.744	\$ 55.786.744	\$ 55.786.744
USOS	\$ 899.909.590	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Inversión en Activos Fijos	\$ 775.755.615	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Inversión en operación	\$ 74.153.975	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Inversión en Activos Circulantes	\$ 50.000.000	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
FLUJO NETO	-\$ 899.909.590	\$ 395.680.965	\$ 384.585.440	\$ 374.637.287	\$ 366.159.304	\$ 308.097.914	\$ 307.399.637	\$ 307.363.451	\$ 307.943.639	\$ 309.099.766	\$ 310.796.172

\$ 313.001.524	\$ 315.688.405	\$ 318.832.955	\$ 322.414.538	\$ 326.415.453	\$ 330.820.668	\$ 335.617.584	\$ 340.795.826	\$ 346.347.053	\$ 352.264.789	\$ 358.544.270	\$ 365.182.315	\$ 372.177.200	\$ 379.528.555	\$ 387.237.270
\$ 193.042.530	\$ 198.438.937	\$ 204.022.061	\$ 209.798.360	\$ 215.774.520	\$ 221.957.454	\$ 228.354.319	\$ 234.972.514	\$ 241.819.699	\$ 248.903.797	\$ 256.233.005	\$ 263.815.803	\$ 271.660.966	\$ 279.777.572	\$ 288.175.012
\$ 27.095.263	\$ 24.385.737	\$ 21.947.163	\$ 19.752.447	\$ 17.777.202	\$ 15.999.482	\$ 14.399.534	\$ 12.959.580	\$ 11.663.622	\$ 10.497.260	\$ 9.447.534	\$ 8.502.781	\$ 7.652.503	\$ 6.887.252	\$ 6.198.527
\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988	\$ 37.076.988
\$ 55.786.744	\$ 55.786.744	\$ 55.786.744	\$ 55.786.744	\$ 55.786.744	\$ 55.786.744	\$ 55.786.744	\$ 55.786.744	\$ 55.786.744	\$ 55.786.744	\$ 55.786.744	\$ 55.786.744	\$ 55.786.744	\$ 55.786.744	\$ 55.786.744
\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
\$ 313.001.524	\$ 315.688.405	\$ 318.832.955	\$ 322.414.538	\$ 326.415.453	\$ 330.820.668	\$ 335.617.584	\$ 340.795.826	\$ 346.347.053	\$ 352.264.789	\$ 358.544.270	\$ 365.182.315	\$ 372.177.200	\$ 379.528.555	\$ 387.237.270

Tabla 21. *Indicadores financieros de los dos sistemas.*

Indicador	Sistema	
	Interconectado	Aislado
VAN	\$688.639.106	\$334.540.065
TIR	41%	26%
RBC	1,8	1,21
Iop	0,22	0,21
PR	2,5	4
TSR	0,41	0,26
TPR	0,81	0,52

En ambos flujos de fondos se puede apreciar que en el año cero se obtiene un valor negativo ya que es el costo de inversión de cada sistema, pero luego del primer año se produce un ingreso que equivale al ahorro en pesos producido por la energía generada del sistema; a partir de esa proyección, se calcularon los indicadores financieros para cada sistema:

- VAN: como el Valor actual neto, es positivo en ambos sistemas, se selecciona el sistema con mayores ganancias, es decir el sistema conectado a la red, ya que este generaría beneficios mayores incluso después de recuperar la inversión.
- TIR: Ya que la tasa interna de retorno obtenida en el sistema conectado a la red fue mayor a la tasa de oportunidad y por el contrario la del sistema aislado fue menor, se toma la decisión de seguir con el sistema conectado a la red, ya que posee mayores beneficios que el aislado debido a que sus ingresos cubren los egresos y generan beneficios adicionales de la expectativa.
- RBC: la relación costo beneficio obtenida para ambos sistemas, indican que los beneficios son mayores a los costos generados por el proyecto, lo que quiere decir que el proyecto sería viable económicamente, teniendo una mayor rentabilidad el sistema conectado a la red.
- PR: El periodo de recuperación calculado, demuestra que para el sistema aislado se recuperaría la inversión en un periodo de 4 años y para el sistema conectado a la red sería en un periodo de 2 años y 5 meses aproximadamente, por lo cual se escoge el periodo de recuperación más corto, generando más ingresos representados en ahorro energético.

9. Discusión de resultados

En cuanto al aspecto del consumo energético se tiene que hay factores que afectan directamente a los costos del mismo, por lo que se presenta una “disminución de la oferta de energía eléctrica, derivada de la reducción de las fuentes hídricas por la intensificación del fenómeno del niño que lleva al fuerte incremento en los precios de la electricidad” (Unidad de planeación Minero Energética, 2016), por ende, es importante mencionar en costos que esto incrementaría en los tipos de energía convencional y para los cuales el recurso hídrico puede verse afectado, debido a que puede existir sequias, y afecta sustancialmente a la distribución energética de Villavicencio, producto de que la ciudad se surte de centrales hidroeléctricas.

Además, con las consideraciones energéticas del suministro y captación en la fuente de producción de energía eléctrica existen algunas afectaciones que involucran directamente al sector energético colombiano; quien ha enfrentado situaciones críticas. Según afirma ISAGEN (2016) en su informe de gestión que para el primer trimestre del 2016 hubo complicaciones en las centrales hidroeléctricas porque perduraron los efectos del fenómeno el niño, uno de los más prolongados que se ha registrado históricamente a nivel nacional, disminuyendo los aportes hidrológicos a los embalses y afectando la generación de energía. Como lo fue la central hidroeléctrica Guatapé, por lo que llevó a poner en marcha las plantas que tenían obligaciones de energía firme a entregar sus compromisos con combustibles (p.40), entonces, para afrontar estas fallas climatológicas con este tipo de energía, se debe utilizar los recursos naturales derivados de los combustibles fósiles, quienes necesitan un tiempo prolongado de recuperación que degradan el ecosistemas y subsistemas como lo es biótico, abiótico y socioambiental por la combustión, entre otros aspectos ya mencionados en otros apartados del documento.

Sin embargo, ISAGEN (2016) afirma que el desarrollo tecnológico está respondiendo a estas circunstancias, ya que se han evidenciado avances significativos en materia de energías renovables, medición inteligente y la cooperación global en torno a la tecnología sostenible. El auge mundial de la generación distribuida, es decir, aquella energía eléctrica generada por diversas y pequeñas fuentes de energía, e instalada en puntos cercanos al consumo, se convierte en la gran

tendencia en el modelo de mercado. El sector debe responder, además, ante la demanda de India, China y Rusia como economías potenciales que políticamente toman fuerza y hacen presión para acelerar su desarrollo y acceso a la electricidad. El camino hacia el desarrollo de un modelo energético basado en aspectos sostenibles se empezó a recorrer hace ya varias décadas y progresivamente se ha convertido en una apuesta por parte de las empresas e instituciones, inclusive, es una necesidad expresada por consumidores en el mundo (p.39).

Además se tiene que en cuanto a impactos ambientales, son mayores los beneficios que se obtienen de las energías alternativas o no convencionales, que para el caso de la energía solar fotovoltaica, se tiene una gran ventaja por la ubicación geográfica en la que se encuentra el departamento del Meta, además se contribuiría a la disminución de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono generado en la producción de energía convencional, en donde según el Inventario Nacional y Departamental de gases efecto invernadero del 2012, el departamento del Meta es el segundo a nivel nacional con mayores emisiones totales de CO₂, debido al uso de combustibles fósiles en centrales termoeléctricas (el cual representa el 32%) y la refinación de petróleo y gas.

Sin embargo, las hidroeléctricas se consideran una fuente de energía sostenible, pero para este caso no lo es, por lo que presenta más factores adversos que contrarrestan los positivos y produce una serie de impactos negativos a diferentes ecosistemas, por ejemplo, hecho ocurrido en la central hidroeléctrica de Hidroituango el 28 de abril que ha afectado sustancialmente la montaña, la población y alterado el cauce o zona de inundación, que según el tiempo (2018) la incertidumbre ronda a los trabajadores de la obra y a las comunidades ubicadas aguas abajo, pues la variabilidad del proyecto es la constante y tiene en alerta roja a Valdivia, Cáceres y Tarazá, por la detección, desde el pasado 26 de mayo, de movimientos en la montaña del proyecto, lo que podría causar derrumbes y debieron implementar un plan de contingencia, por lo que esta situación evidencia que esas megas obras pueden costar la vida de muchos y si no se realiza una excelente ingeniería como es el caso, ya no se convierte en una obra, sino en un posible desastre.

Conclusiones

- El sistema solar fotovoltaico estaría compuesto por ochocientos paneles con una potencia de 153 KW que tendrían la capacidad de ahorrar el 15,22% de la demanda energética del campus durante 25 años.
- Según los indicadores financieros utilizados, el sistema solar fotovoltaico conectado a la red sería la opción viable económicamente, ya que se obtuvo una relación beneficio costo positiva con un resultado mayor al del sistema fotovoltaico aislado, en donde se logra recuperar la inversión en los primeros 3 años para luego generar un ahorro proyectado durante los 18 años restantes de la vida útil del sistema.
- A través del método de las Empresas Públicas de Medellín EPM creado por Jorge Alonso Arboleda González, se identificó que los impactos negativos causados al ambiente por el proyecto tienen una importancia poco significativa calificada como baja y media, en comparación con los impactos positivos que genera al componente socioeconómico, tales como avance en educación, ciencia y tecnología, conciencia ambiental y reconocimiento social local, además de la reducción de GEI como el dióxido de carbono, en donde se dejarían de emitir 269.266 g de CO₂ anuales a la atmosfera.

Recomendaciones

Se recomienda que se profundice el tema de las energías renovables en la universidad Santo Tomás, ya que en la ciudad de Villavicencio la información sobre el dimensionamiento de los sistemas es muy escasa, dificultando el proceso académico, además, esta es una de las razones por la cual la inversión inicial es tan alta, ya que, en los costos de operación, la mano de obra profesional representa una gran parte del costo total del proyecto.

Así mismo, si después de recuperar la inversión y obtener ingresos a través del ahorro de energía, se podría reinvertir el dinero ampliando el sistema para suministrar energía al segundo edificio del Campus, logrando suministrar al menos el 50% de la demanda energética de la universidad, además de dar ejemplo ante la sociedad de la responsabilidad ambiental que se maneja como institución apoyado por su facultad de Ingeniería Ambiental.

Por otra parte, si se quisiera acceder a los beneficios tributarios, de renta y arancelarios brindados por el estado a través de la Ley 1715 de 2014, se recomienda asesorarse sobre los requisitos solicitados por la unidad de planeación minero energética, teniendo en cuenta el manual de usuario para el solicitante expuesto en el documento titulado “Solicitud de certificación para incentivos de proyectos de fuentes no convencionales de energía eléctrica - ley 1715 de 2014” publicado por la misma en donde exponen el paso a paso para realizar la solicitud.

Por último, al momento de la puesta en marcha de este tipo de proyectos se debe inspeccionar la zona de ubicación de los paneles solares para el sistema solar fotovoltaico, por lo que debe contar con las condiciones necesarias para la instalación, limpia y libre de sombras como (árboles, postes, viviendas de dos o más niveles, entre otros obstáculos que impidan la incidencia directa de la luz sobre el panel solar). Es decir que se debe realizar un estudio técnico que evalúe si es conveniente o no la realización de este tipo de tecnología, debido en que todos los casos no van a ser viable por diversos aspectos.

Referencias Bibliográficas

- (Instituto Nacional de Preinversión), I. (2013). Estudio de impacto ambiental definitivo proyecto hidroeléctrico Tahuín Versión 1.0., 1–231. Retrieved from http://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/eiad_hidroelectrico_tahuin.pdf
- Arboleda González, J. A. (2008). Manual para la evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades. Retrieved from https://www.kpesic.com/sites/default/files/Manual_EIA_Jorge%20Arboleda.pdf
- Beltrán Gómez, L. V. (2016). Análisis de los diferentes tipos de energías alternativas y su implementación en Colombia, 20. Retrieved from <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/14563/1/BeltranGomezLadyViviana2016.pdf>
- Cagua Castillo, D. M., Ojeda Guerrero, L., & Criollo Rengifo, O. (2012). *Análisis de preinversión de un sistema de energía solar para reducir consumo eléctrico en la compañía colombiana automotriz*. Universidad Militar Nueva Granada. Retrieved from <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/3246/2/CaguaCastilloDianaMarcela2012.pdf>
- Celemin Cuellar, M. A. (2016). *Estudio para la implementación de un sistema fotovoltaico como alternativa rural sostenible de la vereda san roque en el municipio*. Universidad de Manizales. Retrieved from http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/2891/Celemin_Mario_Alejandro_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Chilito Gaviria, G. F., & Latorre Victoria, M. E. (2016). Procedimiento para realizar la evaluación financiera en la etapa de formulación de un proyecto. Retrieved from http://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/3719/1/Procedimiento_realizar_evaluacion_financiera_chilito_2016.pdf
- Dinero. (2018). Universidad Santo Tomás aumenta su sistema de energía solar. Retrieved April 25, 2018, from <https://www.dinero.com/pais/articulo/los-equipos-de-futbol-con-mas-ganancias-en-2017/257643>
- Ebinger, J. O., & Vergara, W. (2011). *Climate impacts on energy systems : key issues for energy sector adaptation*. Washington D.C, World Bank.
- El Chaar, L., Lamont, L. A., & El Zein, N. (2011). Review of photovoltaic technologies. *Renewable*

- and Sustainable Energy Reviews*, 15(5), 2165–2175. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.01.004>
- EPM. (2015). EPM se ha preparado para afrontar el fenómeno de El Niño, pero su severidad requiere que lo enfrentemos juntos. Retrieved April 23, 2018, from <https://www.epm.com.co/site/home/sala-de-prensa/noticias-y-novedades/conversatorio-fenomeno-de-el-nino>
- Escallon Emiliani, A., Peral, A., Villegas Carrasquilla, M., Peláez Gómez, E., & Jiménez, O. A. (2016). *Documento línea de base objetivos de desarrollo sostenible - ODS* –. Bogotá. Retrieved from http://www.fundacioncoronamedios.org/documentos/2016/ODS_Informe.pdf
- Espectador. (2018). En 2017 la energía solar creció más rápido que otros combustibles. Retrieved April 24, 2018, from <https://www.lespectador.com/noticias/medio-ambiente/en-2017-la-energia-solar-crecio-mas-rapido-que-otros-combustibles-articulo-732323>
- Giraudy Arafet, C. M., Massipe Cano, I., Rodríguez Rivera, R., Rodríguez Gámez, M., & Vázquez Pérez, A. (2015). Factibilidad de instalación de sistemas fotovoltaicos conectados a red; Feasibility of installation of connected photovoltaic systems to grid. *Ingeniería Energética*, 35(2), 141 a la 148. Retrieved from <http://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/article/view/398/400>
- Gómez Ramirez, J., Murcia Murcia, J., & Cabeza Rojas, I. (2017). La energía solar fotovoltaica en Colombia: potenciales, antecedentes y perspectivas. Retrieved from <http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/10312/G%C3%B3mez2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Guevara Agudelo, C. Y., Pérez Calderón, M. L., & Camargo Vargas, G. (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*. Libre. Retrieved from [http://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7962/Proyecto de grado final. Guevara y Perez.pdf;jsessionid=A7E10645B2EB992C1634AA07FDC62AC5?sequence=1](http://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7962/Proyecto%20de%20grado%20final.%20Guevara%20y%20Perez.pdf;jsessionid=A7E10645B2EB992C1634AA07FDC62AC5?sequence=1)
- Hoyos Gutiérrez, O., & Hernández Mejía, C. J. (2017). *Estudio de viabilidad técnica y económica para la implementación de un sistema de energía solar fotovoltaica de 10 kw, caso “hospital local de tenerife, magdalena.” Trabajo de Grado para optar al título de Especialista en Gestión de proyectos de Ingeniería*. Distrital Francisco José de Caldas. Retrieved from <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/5965/1/HoyosGutiérrezOscar017.pdf>
- IEA, A. I. de E. (2014). *The Power of Transformation - Wind, Sun and the Economics of Flexible Power Systems*. Paris. Retrieved from https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/The_power_of_Transformation.pdf

- Madriñan, M. B., Flórez, H. H. H., & González, Y. P. (2017). factores de emision del sistema interconectado nacional colombia-sin. Retrieved from http://www1.upme.gov.co/ServicioCiudadano/Documents/Proyectos_normativos/Doc_calculo_del_FE_del_SIN_2016.docx
- Mantilla Gonzáles, J. M., Duque Daza, C. A., & Galeano Urueña, C. H. (2008). *Análisis del esquema de generación distribuida como una opción para el sistema eléctrico colombiano*. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*. Bogotá, Colombia: Universidad de Antioquia. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-62302008000200010&script=sci_arttext&tlng=es
- Nieves Zárate, M. T., & Hernández Vidal, A. (2016). Reporte de Inversión Energética en Colombia. *Energy Charter Secretariat*, 56, 96. Retrieved from https://energycharter.org/fileadmin/DocumentsMedia/Other_Publications/20170103-Reporte_de_Inversion_Energetica_en_Colombia.pdf
- Ortiz Chacón, M. L., & Chacón Rincón, D. E. (2018). *Evaluación de los impactos en la implementación de energía solar fotovoltaica para una vivienda unifamiliar (vereda la cecilia villavicencio-meta-colombia)*. Cooperativa de Colombia. Retrieved from http://repository.ucc.edu.co/bitstream/ucc/4122/1/2018_evaluacion_impactos_energia.pdf
- Parida, B., Iniyar, S., & Goic, R. (2010). A review of solar photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1625–1636. Retrieved from http://ac.els-cdn.com/S1364032110004016/1-s2.0-S1364032110004016-main.pdf?_tid=f2e546c8-2c85-11e7-b850-00000aacb361&acdnat=1493434127_cc0490582e589db51e9f37adbf3f354d
- Pasqualino, J., Cabrera, C., & Chamorro, M. V. (2015). Los impactos ambientales de la implementación de las energías eólica y solar en el Caribe Colombiano Los impactos ambientales de la implementación de las energías eólica y solar en el Caribe Colombiano The environmental impacts of folic and solar energy implementation in the Colombian Caribe. *Fundación Universitaria Tecnológica Comfenalco*, 13(1), 68–75. <https://doi.org/10.15665/rp.v13i1.361>
- Ramos Mora, C. L., & Leon Reyes, F. (2016). Análisis costo-beneficio de la implementación de las energías renovables no convencionales en la industria química análisis costo-beneficio de la implementación de las energías renovables no convencionales en la industria química Analysis of cost-benefit. Retrieved from <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/14973/3/RamosMoraCesarLeonardo2016.pdf>
- Robberechts, E. (2017). *Cuatro países que lideran las tendencias de energía solar en ALC*.

- Washington. Retrieved from <https://blog.iic.org/2017/05/02/cuatro-paises-lideran-tendencias-de-energia-solar-en-alc/>
- Rodrigo, J., Cañellas, N., Meneses, M., Castells, F., & Solé, C. (2008). *El consumo de energía y el medio ambiente en la vivienda en España. Análisis de ciclo de vida (ACV)* (1ª ed.). Barcelona: Fundación Gas Natural. Retrieved from <http://www.worldcat.org/title/consumo-de-energia-y-el-medio-ambiente-en-la-vivienda-en-espana-analisis-de-ciclo-de-vida-acv/oclc/804380321?referer=di&ht=edition>
- Sáenz, J. (2017). El país despierta a las energías renovables | ELESPECTADOR.COM. Retrieved January 11, 2018, from <https://www.elespectador.com/economia/el-pais-despierta-las-energias-renovables-articulo-693194>
- Sanabria Orozco, A. F. (2016). *Análisis costo/beneficio de la implementación de tecnologías de energía con paneles solares en la ese hospital san cristóbal*. Universidad Militar Nueva Granada. Retrieved from <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/14931/1/SanabriaOrozcoAndresFelipe2016.pdf>
- Seba, T. (2014). *Disrupción Limpia de la Energía y el Transporte* (Copyright). Estados Unidos de América. Retrieved from <https://tonyseba.com/portfolio-item/disrupcion-limpia-de-la-energia-y-el-transporte/>
- Sindhu, S., Nehra, V., & Luthra, S. (2017). Solar energy deployment for sustainable future of India: Hybrid SWOC-AHP analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 1138–1151. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.033>
- Tyagi, V. V., Rahim, N. A. A., & Selvaraj, J. A. /L. (2013). Progress in solar PV technology: Research and achievement. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 443–461. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.09.028>
- Unidad de planeación Minero Energética. (2016). *Proyección de la demanda de energía eléctrica y potencia máximo en colombia. Revisión Junio de 2016*. Bogotá. Retrieved from http://www.siel.gov.co/siel/documentos/documentacion/Demanda/UPME_Proyeccion_Demanda_Energia_Electrica_Junio_2016.pdf

Apéndices

Apéndice A.

Cronograma de actividades

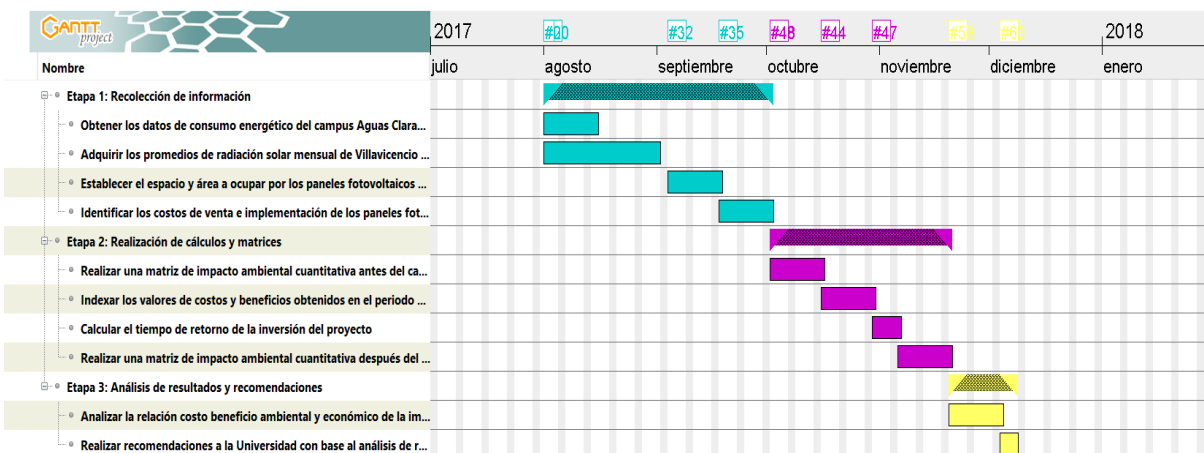


Tabla 22. Cronograma de actividades por etapa del proyecto.

ACTIVIDAD	DESDE	HASTA	TIEMPO
Etapa 1: Recolección de información	1	2	MESES
Obtener los datos de consumo energético del campus Aguas Claras para el periodo de marzo de 2013 a junio de 2017	1	2	SEMANAS
Adquirir los promedios de radiación solar mensual de Villavicencio en el periodo de enero del 2016 a junio de 2017	1	3	SEMANAS
Obtener los planos del campus Aguas Claras y definir el área disponible para uso.	1	2	SEMANAS
Establecer el espacio y área a ocupar por los sistemas fotovoltaicos en el Campus Aguas Claras, según las dimensiones necesarias para la mayor captación de radiación solar.	1	2	SEMANAS
Identificar los costos de venta e implementación de los componentes de los tipos de sistemas fotovoltaicos aislado e interconectado.	1	2	SEMANAS
Etapa 2: Realización de cálculos y matrices	1	2	MESES
Realizar una matriz de impacto ambiental cuantitativa antes del caso hipotético de implementación del sistema energético fotovoltaico	1	2	SEMANAS
Indexar los valores de costos y beneficios obtenidos en el periodo de tiempo manejado	1	2	SEMANAS
Calcular el tiempo de retorno de la inversión del proyecto	1	2	SEMANAS
Calcular la relación costo beneficio económico y ambiental	1	2	SEMANAS
Etapa 3: Análisis de resultados y recomendaciones	1	2	MESES
Analizar la relación costo beneficio ambiental y económico de la implementación del sistema	1	2	SEMANAS
Realizar recomendaciones a la Universidad con base al análisis de relación costo beneficio	1	2	SEMANA

Apéndice B.

Marco Legal de la producción y distribución de las energías alternativas

Tipo de norma	Número	Año	Artículos aplicables	Tema específico	Obligación y/o contribución
Constitución política de Colombia	91	1991	79	derecho a un ambiente sano	Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano, la ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo y es deber del estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.
Ley	143	1994	24,25,28	generación de electricidad e interconexión	Por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y se dictan otras disposiciones en materia energética.
Ley	967	2001	1,7	Uso racional de energía	Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.
Ley	1715	2014	3,4	Interconexión de energía convencional y beneficios	Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables y no convencionales al Sistema Energético Nacional.
Resolución	551	2009	3	Requisitos para la aprobación de proyectos de reducción de emisiones de GEI	por la cual se adoptan los requisitos y evidencias de contribución al desarrollo sostenible del país y se establece el procedimiento para la aprobación nacional de proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que optan al mecanismo de desarrollo limpio – mdcl
Resolución	180919	2010	1,6,7	Uso racional de la energía	Por la cual se adopta el Plan de Acción Indicativo 2010-2015 para desarrollar el Programa de Uso Racional y Eficiente de la energía y demás Formas de Energía No Convencionales PROURE.
Decreto	2501	2007	--	Uso racional de la energía	por medio del cual se dictan otras disposiciones para promover prácticas con fines de uso racional y eficiente de energía eléctrica

Apéndice C.

Cotizaciones Coéxito

FECHA DE VIGENCIA		28/02/2018			
CANTIDAD	DESCUENTO				
ENTRE 5 Y 15 UNIDADES	1%				
ENTRE 16 Y 50 UNIDADES	3%				
MAYORES A 50 UNIDADES	4%				
PAGO DE CONTADO +2% DE DESCUENTO					
NOTA: EL VALOR DE DESCUENTO SE APLICA SOBRE EL PRECIO DEL PRODUCTO ANTES DE IVA, LA CANTIDAD APLICA EN LA MISMA COMPRA, NO ES ACUMULABLE Y NO APLICA PARA PROMOCIONES ESPECIFICAS.					
REFERENCIA	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO (DIN IVA)	PRECIO UNITARIO (INCLUIDO IVA)	APLICACIONES	
BATERIAS TROJAN					
6 V INUNDADAS (FLOODED)					
T-105	BATERIA CICLO PROFUNDO TROJAN 6V 225 AH INUNDADA	\$ 454.177	\$ 540.471	 <ul style="list-style-type: none"> • Plataformas Aéreas, montacargas, grúas y escaleras • Maquinas industriales de limpieza (brilladoras, barredoras) • Vehículos eléctricos de Golf y utilitarios (Mulas, Cortadoras de césped, motos) • Vehículos de emergencia (bomberos, ambulancias) • Botes, lanchas y marina en general • Energías Renovables (Solar, eólica, hidráulica y biomasa) • Sector Petrolero y Gas: Sistemas de Monitoreo y control SCADA, Bombas de Inyección, Containers y soluciones temporales, Estaciones de potencia, monitoreo de tanques, turbinas eólicas. • Telecomunicaciones (antenas, centrales y subestaciones de comunicaciones) 	
T-125	BATERIA CICLO PROFUNDO TROJAN 6 VOL- 240 AH INUNDADA	\$ 487.837	\$ 580.526		
T-145	BATERIA CICLO PROFUNDO TROJAN 6 VOL 260 AH INUNDADA	\$ 621.674	\$ 739.792		
J305 G	BATERIA CICLO PROFUNDO TROJAN 6 V 315AH INUNDADA	\$ 759.433	\$ 903.725		
J305P-AC	BATERIA CICLO PROFUNDO TROJAN 12 V 330AH INUNDADA	\$ 816.318	\$ 971.419		
J305H	BATERIA CICLO PROFUNDO TROJAN 6 VOL 360 AMP INUNDADA	\$ 830.090	\$ 987.807		
L-16E-AC	BATERIA CICLO PROFUNDO TROJAN 6 V 370 AH INUNDADA	\$ -	\$ -		
L-16G-AC	BATERIA CICLO PROFUNDO TROJAN 6 V 390 AH INUNDADA	\$ 813.528	\$ 968.099		
L-16P	BATERIA CICLO PROFUNDO TROJAN 6V 420 AH INUNDADA	\$ 889.949	\$ 1.059.039		
L-16H	BATERIA CICLO PROFUNDO TROJAN 6V 435 AH INUNDADA	\$ 987.173	\$ 1.174.736		
8 V INUNDADAS (FLOODED)					
T-875	BATERIA CICLO PROFUNDO TROJAN 8V 150 AH INUNDADA	\$ 490.065	\$ 583.177		
12 V INUNDADAS (FLOODED)					
SCS-150	BATERIA CICLO PROFUNDO TROJAN 12V 100 AH INUNDADA	\$ 461.603	\$ 549.307		
27T-MX	BATERIA CICLO PROFUNDO TROJAN 12 V 105AH INUNDADA	\$ 472.297	\$ 562.034		
SCS-225	BATERIA CICLO PROFUNDO TROJAN 12V 140 AH INUNDADA	\$ 601.118	\$ 715.330		
T-1275	BATERIA CICLO PROFUNDO TROJAN 12V 150 AH INUNDADA	\$ 733.025	\$ 872.300		
6 V /6V/12V - AGM RELIANT					
T105-AGM	BATERIA CICLO PROFUNDO AGM SELLADA RELIANT 6 V 217 AH	\$ 762.494	\$ 907.368		
J305AGM	BATERIA CICLO PROFUNDO AGM SELLADA RELIANT SOLAR 6 V 310 A	\$ 987.680	\$ 1.175.339		
6 V/12V - TROJAN SOLAR AGM					
SAGM12135	BATERIA CICLO PROFUNDO AGM SELLADA TROJAN SOLAR 12 V 135 A	\$ 911.714	\$ 1.084.940		
SAGM06735	BATERIA CICLO PROFUNDO AGM SELLADA TROJAN SOLAR 6 V 375 A	\$ 1.225.558	\$ 1.458.415		
6 V /6V/12V - GEL					
T-31	BATERIA CICLO PROFUNDO 12V 100 AH VRLA GEL		AGOTADA		
TE35GEL	BATERIA CICLO PROFUNDO EN GEL 6V 210AH VRLA GEL	\$ 621.516	\$ 739.604		
BATERIAS MAGNA					
2 V AGM PROPOSITO GENERAL - SERIE MAGNA - MA					
MA100-2	BAT. ESTACIONARIA SELL 2 VOL 100 AMP	\$ 89.719	\$ 106.765		
MA150-2	BATERIA 2 VOL 150 AMP MARCA MAGNA	\$ 143.649	\$ 170.942		
MA200-2	BATERIA 2 VOL 200 AMP MARCA MAGNA	\$ 185.303	\$ 220.510		
MA300-2	BATERIA 2 VOL 300 AMP MARCA MAGNA	\$ 244.436	\$ 290.879		
MA400-2	BATERIA ESTACION MAGNA VRLA 2V 400A	\$ 311.050	\$ 370.150		
MA700-2	BATERIA 2 VOL 700 AMP MARCA MAGNA	\$ 390.780	\$ 465.028		
MA800-2	BATERIA 2 VOL 800 AMP MARCA MAGNA	\$ 517.847	\$ 616.238		
4 V AGM PROPOSITO GENERAL - SERIE MAGNA - MA					
MA4-4	BATERIA 4 VOL 4 AMP, MARCA MAGNA	\$ 17.579	20.920		
6 V AGM PROPOSITO GENERAL - SERIE MAGNA - MA					
MA4-6	BATERIA ESTACIONARIA VRLA MAGNA 6V/3A	\$ 11.419	\$ 13.589		
MA7-6	BATERIA ESTACIONARIA MARCA MAGNA 6 VO	\$ 17.203	\$ 20.472		
MA12-6	ESTACIONARIA SELL 6 VOL 12 AMP	\$ 29.270	\$ 34.831		
MA14-6	BATERIA 6 VOL 2 AMP, MARCA MAGNA	\$ 27.500	\$ 32.725		
6 V AGM CICLO PROFUNDO- SERIE MAGNA - DC					
DC6224	BAT CICLO PROFUNDO MARCA MAGNA 6 VOL	\$ 518.697	\$ 617.250		
12 V AGM PROPOSITO GENERAL - SERIE MAGNA - MA					
MA1-2-12	BATERIAS 12 VOL 1.2 AMP MAGNA	\$ 19.526	\$ 23.237		
MA2-12	BATERIA 12 VOL 2 AMP, MARCA MAGNA		AGOTADA		
MA4-12	BAT. ESTACIONARIA SELL 12 VOL 4 AMP	\$ 22.821	\$ 27.157		
MA5-12	BATERIA ESTACIONARIA VRLA MAGNA 12V/5	\$ 23.176	\$ 27.580		
MA6-12	BATERIA EST SELLADA MAGNA 12 V 6 A	\$ 26.122	\$ 31.085		
MA7-12	BATERIA ESTACIONARIA SELL 12 VOL 7 AM	\$ 30.667	\$ 36.494		
MA7-2-12	BATERIA ESTACIONARIA SELL 12 VOL 7.5 AM	\$ 27.489	\$ 32.712		
MA9-12	BATERIA ESTACIONARIA VRLA 12V - 9AMP	\$ 38.213	\$ 45.473		



- Sistemas Ininterrumpidos de Potencia (UPS)
 - Sistemas de potencia eléctrica (rectificadores)
 - Sistemas de respaldo de alarmas de emergencia y seguridad (incluyendo cámaras de video CCTV)
 - Luces de emergencia para pistas aéreas
 - Señales en antenas de telecomunicaciones
 - Equipos electrónicos en hospitales
 - Fuentes de potencia y DC
 - Sistemas autocontrolados
- Encuentre los siguientes tipos y aplicaciones de MAGNA según la referencia:
MA: Proposito General VRLA AGM

Continuación del Apéndice C.


Cotizaciones Coéxito

MA10-12	BATERIA ESTACIONARIA VRLA MAGNA 12V/1			
MA12-12	BATERIA ESTACIONARIA VRLA MAGNA 12V/1			AGOTADA
MA18-12	BAT. ESTACIONARIA SELL 12 VOL 18 AMP	\$ 55.413		65.941
MA24-12	BATERIA ESTACIONARIA VRLA MAGNA 12V-2	\$ 91.380		108.742
MA26-12	BATERIA ESTACIONARIA VRLA MAGNA 12V/2	\$ 73.183		87.088
MA33-12	BATERIA EST. SELL MAGNA 12V/33A	\$ 101.328		120.580
MA35-12	BAT. ESTACIONARIA SELL 12 VOL 35 AMP	\$ 136.753		162.736
MA40-12	BATERIA ESTACIONARIA 12V - 40AMP	\$ 183.821		218.748
MA55-12	BATERIA 12 VOL 55 AMP MARCA MAGNA	\$ 178.883		212.871
MA70-12	BAT. ESTACIONARIA SELL 12 VOL 70 AMP	\$ 255.470		304.009
MA75-12	BATERIA ESTACIONARIA VRLA 12V - 75	\$ -		-
MA90-12	BATERIA ESTACIONARIA 12 VOL-90 AMP	\$ 313.051		372.531
MA100-12	BAT. ESTACIONARIA SELL 12 VOL 100 AMP	\$ 412.408		490.766
MA120-12	BATERIA ESTACIONARIA MARCA MAGNA 12 V	\$ 440.708		524.443
MA150-12	BATERIA ESTACIONARIA VRLA MAGNA 12V/1	\$ -		-
MA200-12	BATERIA ESTACIONARIA VRLA MAGNA 12V/2	\$ 691.630		823.040
12 V AGM CICLO PROFUNDO- SERIE MAGNA - MAB				
MAB13-12	BATERIA ESTACIONARIA 13-12	\$ 76.276		90.768
MAB20-12	BATERIA ESTACIONARIA 12-20	\$ 119.679		142.418
MAB38-12	BATERIA ESTACIONARIA 12-38	\$ 218.924		260.520
12 V GEL - SERIE MAGNA - MAG				
MAG12-100	BATERIA SELLADA MAGNA GEL 12 V 100 A	\$ 571.619		680.226
MAG12-140	BATERIA SELLADA MAGNA GEL 12 V 140 AMP	\$ 863.607		1.027.693
12 V AGM ACCESO FRONTAL - SERIE MAGNA - MAG				
MAF50-12	BATERIA MAGNA ACCESO FRON 12V/50A	\$ 225.910		268.833
MAF100-12	BATERIA MAGNA ACCESO FRON 12V/100A	\$ 529.087		629.614
MAF150-12	BATERIA MAGNA ACCESO FRONT 12V/150A	\$ 242.857		289.000
BATERIAS HITACHI - CSB				
SERIE UPS - SISTEMAS ININTERRUMPIDOS DE POTENCIA				
UPS123607F2	BATERIA EST CSB 7.5 AH 360 W	\$ 38.290		45.565
UPS12460F2	BATERIA EST CSB 9 AH 460 W	\$ 43.123		51.316
SERIE GP - PROPOSITO GENERAL				
GP1272F2	BATERIA EST CSB 12V 7,2AMP LAR:151-AN	\$ 41.003		48.793
GP6120F2	BATERIA EST CSB 6V 11AMP LAR:151-AN-5	\$ 30.807		36.661
GP12120F2	BATERIA EST CSB 12V 11AMP LAR:151-AN	\$ 66.803		79.495
GP12170	BATERIA EST CSB 12V 17AMP LAR:180-AN	\$ 91.917		109.381
GP12260	BATERIA EST CSB 12V 26AMP LAR:166-AN	\$ 150.124		178.648
GP12340	BATERIA EST CSB 12V 34AMP LAR:196-AN	\$ 188.253		224.021
GP12400	BATERIA EST CSB 12V 40AMP LAR:197-AN	\$ 222.896		265.246
SERIE GPL (GENERAL PURPOSE LONG LIFE) - PROPOSITO GENERAL CON LARGA VIDA				
GPL12520	BATERIA ESTAC 12V / 52AMP	\$ 387.744		461.416
GPL12750	BATERIA EST CSB 12V 75AMP LAR:260-AN	\$ 478.734		569.693
GPL12880	BATERIA EST CSB 12V 88AMP LAR:308-AN	\$ 546.141		649.908
GPL121000	BATERIA EST CSB 12V 100AMP LAR:342-AN	\$ 622.776		741.104
SERIE HR (HIGH RATE) - TASA ALTA DE DESCARGA				
HR1224WF2	BATERIA EST CSB 12V 6,5 AMP	\$ 40.851		48.613
HR1221WF2	BATERIA EST CSB 12V 5AMP LAR:90-AN-70	\$ 35.521		42.270
HR1234WF2	BATERIA EST CSB 12V 9AMP LAR:151-AN-6	\$ 45.508		54.154
SERIE HRL (HIGH RATE LONG LIFE) - TASA ALTA DE DESCARGA CON LARGA VIDA				
HRL1223	BATERIA ESTAC SELLADA CSB 12 VOL 5.8	\$ -		AGOTADA
HRL12200WF2	BATERIA EST CSB 12V 50AMP LAR 138-AN	\$ 421.489		501.572
HRL12390	BATERIA EST CSB 12V 100AMP LAR 326-AN	\$ -		AGOTADA
HRL12540WFR	BATERIA EST CSB 12V 140AMP	\$ 900.314		1.071.374
SERIE EVX (ELECTRIC VEHICLES X) - VEHICULOS ELECTRICOS DE CUALQUIER TIPO				
EVX12260	BATERIA ESTACIONARIA SELLADA 12 VOL 2	\$ 172.889		205.738
EVX12120F2	BATERIA EST CSB 12 VOL- 12 AMP.	\$ 73.973		88.028
EVX12200	BATERIA ESTACIONARIA SELLADA 12 VOL 20 AMP	\$ -		AGOTADA
EVX12340	BATERIA ESTAC 12V 34AH	\$ 221.179		263.203
SERIE MSJ - 2V				
MSJ200	CELDA ESTACIONARIA 2VDC/200AH	\$ 205.697		244.780
MSJ300	CELDA ESTACIONARIA SELL 2 VOL 300 AMP	\$ 340.316		404.976
MSJ350	CELDA ESTACIONARIA SELL 2 VOL 350 AMP	\$ 379.612		451.738
MSJ800	CELDA ESTACIONARIA SELL 2 VOL 800 AMP	\$ 779.956		928.148
MSJ1000	CELDA ESTACIONARIA SELL 2 VOL 1000 AMP	\$ 1.094.862		1.302.886
SERIE MSV - 2V				
MSV500	CELDA ESTACIONARIA 2VDC/200AH	\$ 176.471		210.000
EQUIPOS DE CONTROL STECA				

MAB: 50% DOD Ciclo profundo especiales para sistemas fotovoltaicos

MAG: VRLA GEL para temperaturas extremas

MAF: Acceso Frontal (especial para telecomunicaciones)




- Sistemas Ininterrumpidos de Potencia (UPS)
- Sistemas de potencia eléctrica (rectificadores)
- Sistemas de respaldo de alarmas de emergencia y seguridad (incluyendo cámaras de video CCTV)
- Luces de emergencia para pistas aéreas
- Señales en antenas de telecomunicaciones
- Equipos electrónicos en hospitales
- Fuentes de potencia y DC
- Sistemas autocontrolados

Encuentre los siguientes tipos y aplicaciones de CSB según la referencia:

- UPS (Uninterrupted Power System): Propósito General VRLA AGM especial para Sistemas Ininterrumpidos de Potencia (UPS).
- GP (General Purpose): Propósito General VRLA AGM.
- GPL (General Purpose and Long Life): Propósito General VRLA AGM de larga duración.
- HR (High Rate Discharge): Propósito General VRLA AGM con mayor intensidad, energía y calidad.
- HRL (High Rate Discharge and Long Life): Propósito General VRLA AGM mejora de la serie HR con larga duración.
- MSJ: Celdas de 2 V tecnología AGM para duración promedio de 20 años en flotación con condiciones dadas por el fabricante.
- MSV: Celdas de 2 V tecnología AGM peso liviano para duración promedio de 15 años en flotación con condiciones dadas por el fabricante.

• EVX (Electric Vehicle X): Especial para vehículos, motos, ciclas, segway, carros de juguete, motonetas, también utilizada en aplicaciones solares de baja potencia (alumbrado público) y herramientas manuales. Disponibles también bajo pedido serie TPL (Telecom Power and Long life), serie MU, serie EVH, serie XHRL (Xtreme High Rate and Long Life).



IMÁGENES PRODUCTOS

Continuación del Apéndice C.

Cotizaciones Coéxito:

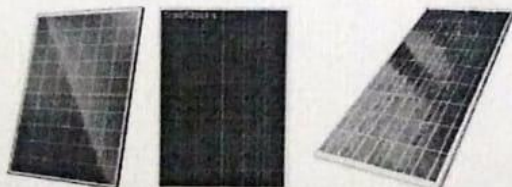
REGULADORES OFF-GRID - AISLADA			
SOLSUM6.6	REGULADOR STECA 12/24 V 6 A	\$ 61.588	73.290
PRS1010	REGULADOR STECA 12/24V 10 A	\$ 135.013	160.666
GAMMA12A	REGULADOR STECA SOLARIX GAMMA 12 A 12V/24V	\$ 185.810	221.114
PRS1515	REGULADOR STECA 12/24 15 A	\$ 164.054	195.224
PR1515	REGULADOR MARCA STECA 12/24 VOL 15 AM DISPLAY	\$ 250.246	297.793
PRS2020	REGULADOR STECA 12/24 20 A	\$ 167.170	198.932
MPP12010	REGULADOR SOLARIX 12/24VOL-20AMP	\$ 654.028	778.293
PRS2525	REGULADOR STECA 12/24 25 A	\$ 188.406	224.203
PRS3030	REGULADOR STECA 12/24 30 A	\$ 247.278	294.261
PR3030	REGULADOR STECA 12/24 30 A DISPLAY	\$ -	-
SOLARIX4040	CONTROLADOR DE CARGA SOLAR STECA SOLARIX 4040 12V/24V	\$ 376.928	448.544
PRS4545	REGULADOR SOLAR 12-24 V 45AMP	\$ 915.099	1.088.967
PRS4545-48	REGULADOR SOLAR 12-48 V 45AMP	\$ -	-
ACCESORIOS Y UTILITARIOS			
PF166	REFRIGERADOR SOLAR 12/24 VOL 40W 100W STEKA	\$ 3.145.870	3.743.585
PF240	REFRIGERADOR SOLAR 12/24 VOL 240 LITROS STEKA	\$ 4.294.154	5.110.044
ESL11W	LAMPARA SOLAR 12 V 11 W STECA	\$ 26.693	31.765
PR1010	PROGRAMADOR STECA PA RC 100	\$ 351.160	417.880
72S336	AGARRADERA PARA PF166	\$ 36.586	43.537
PV ON GRID - CONEXIÓN A RED			
STECAGRID1800	INVERSOR SINCRONICO 60 Hz ±1800W	\$ 3.357.123	3.994.976
STECAGRID3010	INVERSOR SINCRONICO 60 Hz ±1800W	\$ 5.000.000	5.950.000
EQUIPOS DE CONTROL Y STUDER			
REGULADORES			
VS-70	bat:70A	\$ 2.788.072	3.317.806
VT-80	150 Vdc - 180A	\$ 1.905.182	2.267.167
INVERSORES			
AJ-600-24-01	INVERSOR ONDA SENO 600VA P30/500VA/24V/120V/60Hz	\$ 2.788.072	3.317.806
AJ-1300-24-01	INVERSOR ONDA SENO 1300VA P30/1000VA/24V/120V/60Hz	\$ 4.553.851	5.419.083
INVERSORES/CARGADOR			
XTS1400-48-01	P30/900VA)	\$ 3.159.815	3.760.180
XTM2600-48-01	XTENDER 2600VA/2000VA/48V/120V/60Hz	\$ -	-
XTM3500-24-01	XTENDER 3500VA/3000VA/24V/110V	\$ 6.551.969	7.796.844
XTM4000-48-01	XTENDER 4000VA/3500VA/48V/110V/60Hz	\$ 6.598.438	7.852.141
ACCESORIOS Y UTILIDADES			
RCC-02	CONTROL REMOTO CON 2 METROS DE CABLE	\$ 441.444	525.319
PANELES CANADIAN SOLAR			
CS6P-260	PANEL SOLAR 260W CANADIAN /24/48v	\$ 534.011	635.473
CS6P-265	PANEL SOLAR 265W CANADIAN /24/48v	\$ 513.146	610.644
CS6P-P270	PANEL SOLAR 270W CANADIAN /24/48v	\$ 413.784	492.403
CS6P-310	PANEL SOLAR 310W CANADIAN /24/48v	\$ 650.422	774.002
CS6P-315	PANEL SOLAR 315W CANADIAN /24/48v	\$ 614.899	731.730
CS6U-P320	PANEL SOLAR 320W CANADIAN /24/48v	\$ 466.497	555.132
CS6U-P325	PANEL SOLAR 325W CANADIAN /24/48v	\$ 457.821	544.807



IMÁGENES PRODUCTOS

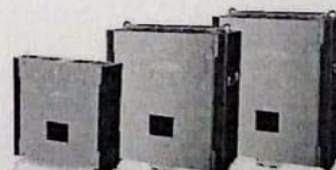


CanadianSolar



CanadianSolar

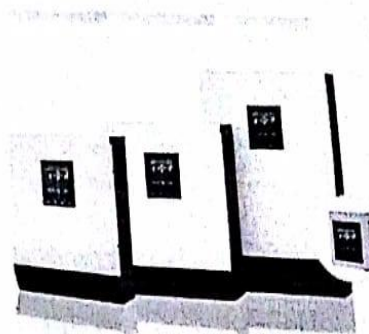
EQUIPOS DE CONTROL VOLTRONIC			
OFF-GRID - AISLADA			
AXMK51-24	INVERSOR-CARGADOR EXPERT MKS 1K-24/ 220V VOLTRONIC	\$ 882.174	1.049.787
AXMK51-48	INVERSOR-CARGADOR EXPERT MKS 1K-48/220 V VOLTRONIC	\$ 931.457	1.108.434
AXMK52K-24	INVERSOR-CARGADOR OFFGRID EXPERT MKS PLUS 2KVA	\$ 1.429.222	1.700.774
AXMK53-24	INVERSOR-CARGADOR EXPERT MKS 3K-24 /220 V VOLTRONIC	\$ 1.158.162	1.378.212
AXMK53-48	INVERSOR-CARGADOR OFFGRID EXPERT MKS 3KVA-48 V	\$ 1.207.445	1.436.859
AXMK55-48	INVERSOR-CARGADOR OFFGRID EXPERT MKS 5KVA-48 V	\$ 2.439.532	2.903.043
SCCB-50	CARGADOR SOLAR BASIC 12V-4AH VOLTRONIC	\$ 39.881	47.459
SCCFWM-120	CARGADOR SOLAR PWM 12V-10AH VOLTRONIC	\$ 51.569	61.367
SCCFWM-360	CARGADOR SOLAR PWM 12V-30AH VOLTRONIC	\$ -	-



Continuación del Apéndice C.

Cotizaciones Coéxito:

SCCPWM-600	CARGADOR SOLAR PWM 12V-50AH	\$ 75.854	90.267
SCCMPPT-300	CARGADOR SOLAR MPPT 12V-25AH 300W VOLTRONIC	\$ 297.000	353.430
SCCMPPT-600	CARGADOR SOLAR MPPT 12V-25AH 600W VOLTRONIC	\$ 376.819	448.414
ASPIRE 2.2K	INVERSOR BOMBA SOLAR 3PIN/3POUT 2.2 KW	\$ 807.263	960.643
ASPIRE 7.5K	INVERSOR BOMBA SOLAR 3PIN/3POUT 7.5 KW	\$ 1.059.267	1.260.527
DCC-3K	CONVERTIDOR DC 3KW VOLTRONIC	\$ 1.230.116	1.463.838
ON-GRID - CONEXION A RED			
INFINI-2	INVERSOR HIBRIDO INFINISOLAR 2KW	\$ 3.069.951	3.653.242
INFINI-V-3K-48	INVERSOR ONDA PURA INFINISOLAR 3KW- 48 V VOLTR	\$ 2.068.879	2.461.966
INFINI-S4	INVERSOR HIBRIDO INFINISOLAR SUPER 4KW VOLTRONIC	\$ 4.287.800	5.102.482
INFINI-PS	INVERSOR HIBRIDO INFINISOLAR PLUS 5KW VOLTRONIC	\$ 8.041.454	9.569.330
INFINI-V-5K-48	INVERSOR ONDA PURA INFINISOLAR 5KW- 48 V VOLTR	\$ 3.287.963	3.912.675
INFINI-3PH10	INVERSOR HIBRIDO INFINISOLAR 3PHASE 10KW VOLTRONI	\$ 8.965.149	10.668.527
ACCESORIOS Y UTILIDADES			
AX-SNMP-BOX	CAJA EXTERNA SNMP PARA AXPERT KS/ MKS/ EX/ MEX	\$ 388.987	462.895
AX-SNMP-WEBPRO	SNMP WEB PROCARD INFINISOLAR 3KW, S 4KW, E 5.5	\$ 251.697	299.520
EM-INFINI-3K/10K	MEDIDOR ENERGIA PARA INFINISOLAR DE 3 KW Y 3P	\$ 388.987	462.895
MOBUS-CARD-2	TARJETA MODBUS 2 PARA MEDIDOR DE ENERGIA	\$ 205.934	245.062
PARALLEL-KIT-4K/5K	KIT PARALELO PARA AXPERT KS/MS 4K/5K	\$ 137.289	163.373
UPS Y RECTIFICADORES			
B8033-20K	EQUIPO UPS CON RECTIFICADOR/INVERSOR 20KVA	\$ 16.331.832	19.434.880
B9000-60K	EQUIPO RECTIFICADOR/INVERSOR 60KVA	\$ 49.585.600	59.006.864
USEID-2SCR50	RECTIFICADOR USE ID-1 SCR 50A	\$ 19.823.703	23.590.207
RT11	RECTIFICADOR ALTA FREC 48V 2000A	\$ 25.227.692	30.020.954
RT9	RECTIFICADOR POWER SHELF 208VAC/32A	\$ 20.461.538	24.349.231
CARGADORES			
GM1215	CARGADOR ARRANCADOR 12V/50AMP	\$ 260.615	310.132
GM48V54A	CARGADOR 48V - 65 AMP	\$ 7.100.851	8.450.012
GMT36V120A	CARGADOR 36V - 120 AMP	\$ 4.564.102	5.431.281



BORRI data power


CARGADORES VOLTRONIC

PERMITANOS ASESORARLO CONFORME A SU REQUERIMIENTO, EN LA IMPLEMENTACION DE SISTEMA DE RESPALDO DE ENERGIA, SOLICITE COTIZACIÓN A NUESTRO EQUIPO DE EJECUTIVOS ESPECIALIZADOS EN SU REGION, QUE BRINDARÁ LAS MEJORES ALTERNATIVAS, EN CUANTO A TRANSPORTE, CREDITO FINANCIERO Y DISPONIBILIDAD DE INVENTARIO PARA SU PROYECTO.

J. Hernández
 Director Sistemas de Respaldo de Energía
 Coexito S.A.S.
 Carrera 30 # 15 - 82 - Bogotá D.C.
 Carrera 5 # 61 A 95 - Santiago de Cali
 Tel.: +57 (2) 6910500 Ext. 2440
 Cel. +57 (310) 3599576
 email: jtalero@coexito.com.co
 www.coexito.com.co

Continuación del Apéndice C.

Cotizaciones GENAIR:



CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	TOTALES
72	Suntech "A" Grade 280W Module -24V USA Grade A	1940
2	SB 10000TLU5-12 Grid-Tie Inverter - 10,000 Watts - 208/240V-60Hz - with arc-fault protection	27
4	MidNite Solar 600V Surge Protector Device (MNSPD) is a Type 1 device per UL1449 rev3. Protection for gridtie PV combiners and inverter input circuits.	108
6	PV OUTPUT - MC4 MALE & FEMALE 100FT	162
6	Touch Safe Fuse Holder	162
6	15A 600VDC Fuse	162
2	Midnight Solar MNPV6 Combiner box	54

VALOR TOTAL: \$1.747.584.000

Forma de Pago: A CONVENIR

Condiciones: Esta cotización es válida por un período de 8 días a partir de la fecha. La entrega se realiza en la ciudad de Villavicencio.

Tiempo de Entrega: A CONVENIR

Continuación del Apéndice C.

Cotizaciones Eneco:

Sistema grid-tie 100 kWp

SISTEMA SOLAR FV GRID-TIE DE 99,68kWp					
ITEM	DESCRIPCION	UND	PRECIO U.M	CANT	TOTAL
1	Panel solar policristalino JINKO SOLAR @280W	UND	\$541,783	356	\$ 192,874,819
2	Inversor de interconexión a red de @24kW Trifásico. 480V	UND	\$14,779,800	4	\$ 59,119,200
3	Sistema de soportes para paneles de 320W	UND	\$92,820	356	\$ 33,043,920
4	Cableado en DC con tubería. 6 strings x inversor	MTR	\$29,274	200	\$ 5,854,800
5	Cableado en AC con tubería. 3F+N+T	MTR	\$258,230	25	\$ 6,455,750
6	Protecciones eléctricas	UND	\$8,568,000	1	\$ 8,568,000
7	Mano de obra	GBL	\$36,404,062	1	\$ 36,404,062

SUB-TOTAL IVA INCLUIDO **\$ 342,320,551**

Administración 5% **\$17,116,028**

Imprevistos 3% **\$10,269,617**

Utilidad 3% **\$10,269,617**

TOTAL COP **\$379,975,812**

COP por kWp instalado IVA incluido **\$3,799,758**

Apéndice D.

Matriz de Valoración de la metodología Arboleda o EPM de una central hidroeléctrica

Sistema	Componente	Aspecto Ambiental	Impacto	Actividades	Bapa	Clase	P	E	D	M	Ca	IA		
Atmosférico			Incineración de residuos	Compra de terrenos	Construcción	-	0,4	0,6	0,8	0,7	2,14	Baja		
			Calentamiento Global (Materia descompuesta que genera gases de efecto invernadero)	Remoción (Cobertura Vegetal) y descapote	Construcción	-	0,8	0,8	0,6	0,8	5,02	Media		
			Deterioro de la calidad del aire por emisiones de gases por combustión	Trasporte y acarreo de material	Construcción	-	0,9	1	0,9	0,8	7,47	Alta		
				Ocupación y funcionamiento de campamentos	Construcción		0,9	0,8	0,8	0,8	6,19	Alta		
			Contaminación del aire por material particulado	Construcción de vías	Construcción	-	1	0,9	0,8	0,8	7,44	Alta		
			Emisión de gases	Trasporte y acarreo de material	Construcción		1	0,8	0,8	0,8	6,88	Alta		
			Aumento de humedad	Crea hábitat favorable para vectores e insectos (mosquitos, Zancudos)	Construcción de embalse y central	Preparación	-	0,5	0,6	0,8	0,5	2,25	Baja	
				Deterioro de la Salud Humana por incremento del ruido	Instalación de grandes turbinas	Preparación	-	0,8	0,8	0,8	0,8	5,5	Media	
			Ruido y vibraciones	Contaminación acústica por explosiones	Remoción (Cobertura Vegetal) y descapote	Construcción	-	0,4	0,6	0,5	0,8	1,94	Muy Baja	
			Abiótico			Dinámicas y Flujo de Agua	Cambios en el régimen del río, alteración de ciclos naturales de crecidas	Lenado de embalse	Operación	-	0,8	0,8	0,8	0,8
Vertimientos	Acumulación de materia orgánica en embalse	Operación del embalse				Abandono	-	0,8	0,8	0,7	0,8	5,26	Media	
	Aumento de Carga de sedimentos en embalse	Operación del embalse				Abandono	-	0,8	0,7	0,8	0,8	5,06	Media	
Utilización de ríos para embalses	Interferencia sobre procesos biológicos en los cuerpos de agua	Operación del embalse				Abandono	-	0,9	0,8	0,8	0,8	6,19	Alta	
	Inundaciones	Lenado de embalse				Preparación								
	Operación del embalse	Operación				-	0,8	0,6	0,5	0,6	3,22	Baja		
Interrupción de curso natural de ríos	Disminución de los bancos de peces en las desembocaduras	Operación del embalse				Operación	-	0,6	0,6	0,5	0,4	1,91	Muy Baja	
	Disminuye el caudal del río	Operación del embalse				Operación	-	0,8	0,8	0,7	0,8	5,26	Media	
	Alteraciones en la fauna y flora fluvial	Operación del embalse				Operación	-	0,8	0,8	0,8	1	6,4	Alta	
Embalses de agua	Evaporación de masas de agua	Operación del embalse				Operación	-	0,8	0,9	0,5	0,9	5,74	Media	
Hídrico			Agua superficial	Adecuaciones para el control de la contaminación	Lenado de embalse	Abandono	-	0,5	0,6	0,5	0,6	2,01	Baja	
			Represas de Agua	Retención de arenas que arrastran	Operación del embalse	Operación	-	0,7	0,8	0,8	0,6	4,03	Media	
				Invasión a cuerpos de agua	Modificación de ecosistemas	Operación del embalse	Operación	-	0,8	1	0,8	1	7,52	Alta

Continuación del Apéndice D.

Matriz de Valoración de la metodología Arboleda o EPM de una central hidroeléctrica

Fauna		Cambios en el comportamiento de los animales	Construcción de embalse y central	Construcción	-	0,8	0,6	0,5	0,8	3,89	Baja
			Operación del embalse	Abandono							
		Atropellamiento y ahuyentamiento	Energización línea de transmisión	Operación	-	0,9	0,8	0,5	0,8	5,38	Media
	Iluminación de las presas	de fauna	Tráfico de Vehículo	Operación							
	Migración de peces	Alteraciones de la fauna fluvial	Operación del embalse	Operación	-	0,7	0,8	0,5	0,8	4,19	Media
	Sedimentación	Disminución de nutrientes aguas abajo	Operación del embalse	Operación	-	0,8	0,8	0,8	0,8	5,5	Media
	Deforestación	Presión y eliminación de cobertura Vegetal	Remoción (Cobertura Vegetal) y descapote	Construcción	-	0,6	1	0,8	1	5,64	Media
	Destrucción de la cobertura	Degradación	Remoción (Cobertura Vegetal) y descapote	Construcción	-	1	1	0,8	0,8	8	Alta
			Ocupación y funcionamiento de campamentos	Construcción							
			Remoción (Cobertura Vegetal) y descapote	Construcción	-	0,8	0,8	0,5	1	5,68	Media
Flora	Volcamiento	Perdida del terreno	Operación del embalse	Operación							
	Explotación de recursos naturales	Procesos erosivos por actividades antrópicas	Remoción (Cobertura Vegetal) y descapote	Construcción	-	1	1	0,7	0,8	7,7	Alta
			Construcción de embalse y central	Construcción							
	Proliferación de las hierbas acuáticas en el reservorio y aguas abajo	Impide la descarga de la represa, los sistemas de riego, la navegación y la pesca, y mayores pérdidas de agua por transpiración.	Llenado de embalse	Operación	-	0,6	0,8	0,5	0,8	3,59	Baja

Continuación del Apéndice D.

Matriz de Valoración de la metodología Arboleda o EPM de una central hidroeléctrica

Socio Económico y Social	Económico	Evita importaciones del exterior	Ahorro en compra de tecnologías	Equipamiento para generar electricidad	Preparación	+	0,8	0,4	0,5	0,2	1,65	Muy Baja
		Navegación	Recreación (Cambio en la dinámica de empleo)	Operación del embalse	Abandono	+	1	0,6	0,8	0,4	4,08	Media
		Demográfico	Afectación a predios, cultivos e infraestructura	Construcción de vías	Construcción	-	1	0,8	0,8	0,8	6,88	Alta
				Contratación de mano de obra	Diseño							
			Cambios en la dinámica poblacional	Construcción de embalse y central	Construcción							
				Instalaciones provisionales	Construcción	-	1	0,8	0,8	0,8	6,88	Alta
			Choque psicológico asociado a desplazamiento	Compra de terrenos	Construcción	-	0,8	0,8	0,5	0,8	4,78	Media
			Cambio en la oferta de bienes y servicios (Abandonos de tierras)	Operación del embalse	Abandono	-	0,9	0,8	0,8	0,6	5,18	Media
			Pérdida de recursos o sitios de valor económico, histórico y sentimental	Compra de terrenos	Construcción	-	0,8	0,8	0,5	0,6	3,89	Baja
		Reasentamientos y cambios en el uso de las tierras	Zonas de áreas inundables	Llenado de embalse	Operación	-	0,4	0,6	0,5	0,6	1,61	Muy Baja
		Manejo de empleo local	Contratación y/o vinculación de la población local y de organizaciones	Contratación de mano de obra	Construcción	+	1	0,4	0,8	0,2	2,96	Baja
				Operación del embalse	Operación							
			Programas de apoyo a la gestión comunitaria y de información y participación (Cambio de gestión comunitaria)	Instalación	Operación	+	0,6	0,6	0,5	0,2	1,4	Muy Baja
			Generación de expectativas	Contratación de mano de obra	Construcción	+	1	0,8	0,5	0,2	2,62	Baja
		Político Organizativo	Aumento en los ingresos y aportes económicos a Corporaciones y municipios (Transferencias)	Operación del embalse	Operación	+	1	0,6	0,5	0,2	2,34	Baja
		Acceso fácil a las zonas	Generación de empleo	Contratación de mano de obra	Construcción	+	1	0,8	0,6	0,2	2,92	Baja
			Incremento en riesgo de accidentes	Operación del embalse	Operación	-	1	0,8	0,8	0,8	6,88	Alta
			Utilizados como zonas de recreo y esparcimiento	Operación del embalse	Operación	+	1	0,8	0,8	0,2	3,52	Baja
	Cambio en oferta de infraestructura vial	Construcción de vías	Operación	+	1	0,8	0,8	0,6	5,76	Media		
Espacial	Cambio demanda de servicios públicos	Operación del embalse	Operación	+	1	0,7	0,8	0,6	5,34	Media		
Administración de personal	Contratación de aprendices	Contratación de mano de obra	Construcción	+	1	0,6	0,8	0,2	3,24	Baja		
	Operacional	Contratación de mano de obra	Construcción	+	1	0,8	0,8	0,2	3,52	Baja		

Apéndice E

Matriz de Valoración Ambiental de la metodología de Arboleda o EPM de un sistema solar fotovoltaico aislado a la red.

SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO AISLADO																				
Factor	Componente	Impacto	Etapas	Actividad	Clase (+/-)	P	E	D	M	Ca	Importancia ambiental									
Abiótico	Atmosférico	Contaminación atmosférica	Construcción	Transporte de maquinaria, equipos y	-	1	0,8	0,8	0,4	4,64	Media									
				Construcción de vías de acceso y canaletas de cableado	-	1	0,8	0,5	0,4	3,74	Baja									
				Fabricación de módulo	-	1	0,6	0,5	0,4	3,18	Baja									
				Fabricación de estructura de soporte	-	1	0,6	0,5	0,4	3,18	Baja									
				Fabricación de baterías	-	1	0,6	0,8	0,8	5,76	Media									
				Montaje de soportes y paneles	-	0,5	0,8	0,1	0,4	1,27	Muy Baja									
				Operación	Manejo y disposición de residuos	-	0,5	0,4	0,8	0,6	2,04	Baja								
				Operación	Manejo y disposición de residuos	-	0,5	0,2	0,1	0,2	0,29	Muy Baja								
				Desmantelamiento	Desmontaje de paneles	-	1	0,2	0,1	0,2	0,58	Muy Baja								
				Desmantelamiento	Desmontaje de estructuras	-	1	0,2	0,1	0,2	0,58	Muy Baja								
				Desmantelamiento	Gestión de residuos sólidos	-	1	0,2	0,8	0,6	3,24	Baja								
				Desmantelamiento	Construcción de vías de acceso y canaletas de cableado	-	1	0,6	0,3	0,4	2,58	Baja								
				Desmantelamiento	Manejo y disposición de residuos	-	0,1	0,2	0,1	0,4	0,086	Muy Baja								
				Desmantelamiento	Manejo y disposición de residuos	-	0,1	0,2	0,3	0,4	0,146	Muy Baja								
				Abiótico	Hídrico	Contaminación del agua	Desmantelamiento	Gestión de residuos sólidos	-	0,1	0,2	0,5	0,6	0,234	Muy Baja					
Paisaje	Disminución y modificación de la belleza paisajística	Construcción	Transporte de maquinaria, equipos y materiales					-	1	1	0,3	0,4	3,7	Baja						
			Construcción de vías de acceso y canaletas de cableado					-	1	1	0,3	0,4	3,7	Baja						
			Montaje de soportes y paneles					-	1	1	0,3	0,4	3,7	Baja						
			Desmontaje de paneles					-	1	0,8	0,3	0,4	3,14	Baja						
			Desmantelamiento					Desmontaje de estructuras	-	1	0,8	0,3	0,4	3,14	Baja					
			Abiótico					Alteración del suelo	Alteración del suelo	Construcción	Construcción de vías de acceso y canaletas de cableado	-	1	1	0,3	0,4	3,7	Baja		
											Cercado del terreno	-	1	0,2	0,1	0,4	0,86	Muy Baja		
											Limpieza y adecuación del terreno	-	0,2	0,2	0,1	0,4	0,172	Muy Baja		
											Erosión	Construcción	Excavación de cimientos	-	0,5	0,2	0,3	0,4	0,73	Muy Baja
													Mantenimiento	-	0,6	0,8	0,5	0,4	2,244	Baja
			Abiótico					Contaminación del suelo	Contaminación del suelo	Desmantelamiento	Recuperación de suelos	-	1	0,8	0,8	0,4	4,64	Media		

Continuación Apéndice E.

Matriz de Valoración Ambiental de la metodología de Arboleda o EPM de un sistema solar fotovoltaico aislado a la red.

Biótico	Fauna Silvestre	Modificación del hábitat	Transporte de maquinaria, equipos y materiales	-	1	1	0,3	0,4	3,7	Baja	
			Construcción de vías de acceso y canaletas de cableado	-	1	1	0,3	0,4	3,7	Baja	
		Desplazamiento de insectos y animales pequeños	Cercado del terreno	-	1	1	0,1	0,4	3,1	Baja	
			Limpieza y adecuación del terreno	-	1	1	0,1	0,4	3,1	Baja	
			Construcción	Excavación de cimientos	-	1	1	0,3	0,4	3,7	Baja
				Montaje de soportes y paneles	-	1	0,6	0,1	0,4	1,98	Muy Baja
	Cobertura Vegetal	Disminución de cobertura vegetal a nivel arbustiva	Transporte de maquinaria, equipos y materiales	-	1	1	0,3	0,4	3,7	Baja	
			Construcción de vías de acceso y canaletas de cableado	-	1	1	0,3	0,4	3,7	Baja	
		Desplazamiento de insectos y animales pequeños	Limpieza y adecuación del terreno	-	1	1	0,3	0,4	3,7	Baja	
			Construcción	Transporte de maquinaria, equipos y materiales	+	1	1	0,3	0,2	2,3	Baja
				Construcción de vías de acceso y canaletas de cableado	+	1	1	0,3	0,2	2,3	Baja
			Socio Económico	Generación de empleo	Construcción	Fabricación de módulo	+	1	1	0,3	0,2
Fabricación de estructura de soporte	+	1				1	0,3	0,2	2,3	Baja	
Fabricación de baterías	+	1				1	0,3	0,2	2,3	Baja	
Montaje de soportes y paneles	+	1				1	0,3	0,2	2,3	Baja	
Manejo y disposición de residuos	+	1				1	0,8	0,2	3,8	Baja	
Cercado del terreno	+	1				1	0,3	0,2	2,3	Baja	
Avance en educación, ciencia y tecnología	Operación	Limpieza y adecuación del terreno		+	1	1	0,3	0,2	2,3	Baja	
		Excavación de cimientos		+	1	1	0,3	0,2	2,3	Baja	
		Generación de energía renovable (disminución de GEI)		+	1	0,6	1	1	7,2	Alta	
		Cambio en el pensamiento cultural		+	0,5	0,4	1	1	2,9	Baja	
		Reconocimiento social local		+	1	0,6	1	1	7,2	Alta	
		Mantenimiento preventivo		+	1	0,4	1	1	5,8	Media	
Conciencia ambiental	Desmantelamiento	Mantenimiento correctivo	+	0,5	0,6	1	1	3,6	Baja		
		Desmontaje de paneles	+	0,5	0,6	1	1	3,6	Baja		
		Desmontaje de estructuras	+	0,5	0,6	1	1	3,6	Baja		
		Recuperación de suelos	+	0,5	0,6	1	1	3,6	Baja		

Apéndice F.

Matriz de Valoración Ambiental de la metodología de Arboleda o EPM de un sistema solar fotovoltaico interconectado o conectado a la red.

SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED											
Factor	Componente	Impacto	Etapas	Actividad	Clase (+/-)	P	E	D	M	Ca	Importancia ambiental
Abiótico	Atmosférico	Contaminación Atmosférica	Construcción	Transporte de maquinaria, equipos y materiales	-	1	0,7	0,9	0,6	5,64	Media
				Cableado corriente Continua y Alternia	-	1	0,9	0,5	0,4	4,02	Media
				Fabricación de módulo	-	1	0,7	0,5	0,4	3,46	Baja
				Fabricación de estructura de soporte	-	0,9	0,6	0,5	0,4	2,862	Baja
			Emplazamiento de la Instalación	-	0,6	0,6	0,5	0,7	2,664	Baja	
			Operación	Material Particulado o emisiones de gases	-	0,4	0,2	0,1	0,2	0,232	Muy Baja
				Desmontaje de paneles	-	1	0,2	0,1	0,2	0,58	Muy Baja
			Desmantelamiento o Abandono	Desmontaje de estructuras	-	1	0,2	0,1	0,2	0,58	Muy Baja
				Manejo de residuos sólidos	+	1	0,2	0,8	0,6	3,24	Baja
			Hídrico	Alteración superficial de drenajes y franjas aluviales	Construcción	Construcción de vías de acceso y canaletas de cableado	-	1	0,6	0,3	0,4
	Manejo, disposición y control de residuos	-				0,1	0,2	0,1	0,4	0,086	Muy Baja
	Contaminación del Agua		Operación	Producción de residuos sólidos y desechos no aprovechables	-	1	0,6	0,7	0,6	4,62	Media
				Desmantelamiento	Gestión y Manejo de recolección de residuos sólidos	-	0,4	0,6	0,8	0,8	2,304
	Paisaje	Disminución y Modificación de la belleza paisajística	Construcción	Transporte de maquinaria, equipos y materiales	-	1	1	0,3	0,4	3,7	Baja
				Montaje de soportes y paneles	-	1	1	0,3	0,4	3,7	Baja
			Desmantelamiento	Desmontaje de paneles	-	1	0,8	0,3	0,4	3,14	Baja
				Desmontaje de estructuras	-	1	0,8	0,3	0,4	3,14	Baja
	Suelo	Alteración del suelo	Construcción	Construcción de vías de acceso y canaletas de cableado	-	1	1	0,3	0,4	3,7	Baja
				Cercado del terreno	-	1	0,2	0,1	0,4	0,86	Muy Baja
		Erosión	Operación	Limpieza y adecuación del terreno	-	0,2	0,2	0,1	0,4	0,172	Muy Baja
Mantenimiento correctivo				+	0,6	0,8	0,5	0,4	2,244	Baja	
Contaminación del suelo		Desmantelamiento	Recuperación de suelos	+	1	0,8	0,8	0,4	4,64	Media	

Continuación del Apéndice F.

Matriz de Valoración Ambiental de la metodología de Arboleda o EPM de un sistema solar fotovoltaico interconectado o conectado a la red.

			Transporte de maquinaria, equipos y materiales	-	1	1	0,3	0,4	3,7	Baja
	Modificación del hábitat		Construcción de vías de acceso y canaletas de	-	1	1	0,3	0,4	3,7	Baja
			Cercado del terreno	+	1	1	0,1	0,4	3,1	Baja
	Desplazamiento de insectos y animales pequeños		Limpieza y adecuación del terreno	-	1	1	0,1	0,4	3,1	Baja
Biótico			Excavación de cimientos	-	1	1	0,3	0,4	3,7	Baja
	Fauna Silvestre	Desorientación de aves	Montaje de soportes y paneles	-	1	0,6	0,1	0,4	1,98	Muy Baja
			Transporte de maquinaria, equipos y materiales	-	1	1	0,3	0,4	3,7	Baja
	Cobertura Vegetal	Disminución de cobertura vegetal a nivel arbustiva	Construcción de vías de acceso y canaletas de cableado	-	1	1	0,3	0,4	3,7	Baja
			Limpieza y adecuación del terreno	-	1	1	0,3	0,4	3,7	Baja

Continuación del Apéndice F.

Matriz de Valoración Ambiental de la metodología de Arboleda o EPM de un sistema solar fotovoltaico interconectado o conectado a la red.

			Transporte de maquinaria, equipos y materiales	+	1	0,8	0,5	0,4	3,74	Baja
			Construcción de vías de acceso y canaletas de cableado	+	1	1	0,3	0,2	2,3	Baja
			Fabricación de módulo	+	1	1	0,3	0,2	2,3	Baja
			Fabricación de estructura de soporte	+	1	1	0,3	0,2	2,3	Baja
			Montaje de soportes y paneles	+	1	1	0,3	0,2	2,3	Baja
			Manejo y disposición de residuos	+	1	1	0,8	0,2	3,8	Baja
Económico	Generación de empleo	Construcción	Limpieza y adecuación del terreno	-	1	1	0,3	0,2	2,3	Baja
			Vigilancia	+	1	0,8	0,9	0,6	6,06	Alta
		Costos y Seguro	Mantenimiento y limpieza	+	1	0,6	0,5	0,4	3,18	Baja
Socio Económico		Operación								
			Avance en educación, ciencia y tecnología	+	1	0,4	1	1	5,8	Media
			Cambio en el pensamiento cultural	+	0,5	0,4	1	1	2,9	Baja
		Reconocimiento social local	Generación de energía renovable	+	1	0,6	1	1	7,2	Alta
			Mantenimiento preventivo	+	1	0,2	1	1	4,4	Media
		Operación	Mantenimiento correctivo	+	0,5	0,6	1	1	3,6	Baja
			Desmontaje de paneles	+	0,5	0,6	1	1	3,6	Baja
		Conciencia ambiental	Desmontaje de Campamentos provisionales	+	0,8	0,6	1	0,9	5,424	Media
		Desmantelamiento	Recuperación de suelos	+	0,6	0,7	0,9	1	4,56	Media