



**PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
FOTOVOLTAICO EN PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL.
CASO ESTUDIO: ALEJANDRÍA REAL VIII. MOSQUERA, CUNDINAMARCA**

David Santiago Gaitán Moya

Elkin Giovanni Vargas Ramírez

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, 2019

**PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
FOTOVOLTAICO EN PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL.
CASO ESTUDIO: ALEJANDRÍA REAL VIII. MOSQUERA, CUNDINAMARCA**

David Santiago Gaitán Moya

Elkin Giovanni Vargas Ramírez

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Ambiental

Director (a):
María Eugenia Guerrero Useda

Línea de Investigación: Infraestructura Sostenible

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, Colombia
2019

Acta de sustentación

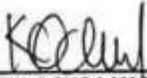


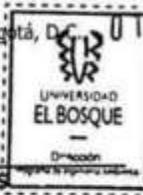
SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

ACTA No: 1097

El día **01 NOV 2019**, en las instalaciones de la Universidad El Bosque, se desarrolló la sustentación del trabajo de grado titulado **PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO EN PROYECTOS DE VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL. CASO DE ESTUDIO: ALEJANDRÍA REAL VIII, MOSQUERA, CUNDINAMARCA**, escrito por **DAVID SANTIAGO GAITAN MOYA, C.C. 1019132466** y **ELKIN GIOVANNY VARGAS RAMIREZ, C.C. 1032477846**, bajo la dirección de **MARIA EUGENIA GUERRERO USEDA, C.C. 51857112**, como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Ambiental. El trabajo fue evaluado por los jurados **JUAN MANUEL DÍAZ HERNÁNDEZ, C.C. 80757610** y **GUSTAVO ANDRES CONTRERAS HERNANDEZ, C.C. 79859868**, quienes deliberaron y concluyeron que cumple con los criterios de calidad, por lo que se determina que el trabajo es **Aprobado**.

En constancia, se firma en Bogotá, D.C. el **01 NOV 2019**


KENNETH OCHOA VARGAS
Director
Programa de Ingeniería Ambiental




GERMÁN AGUDELO ASCENCIO
Secretario Académico
Facultad de Ingeniería



Nota de Salvedad de responsabilidad institucional

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

Agradecimientos

Este proyecto es la culminación de una etapa de aprendizaje, que refleja el trabajo y esfuerzo constante por conseguir cada una de las metas que tuve que cumplir a lo largo de la carrera. Quiero agradecer en primer lugar, a mis papas y mi hermano quienes han sido un ejemplo y una guía constante durante toda mi vida, siendo un apoyo incondicional y brindándome todo lo necesario para conseguir todo lo que me proponga. Así mismo, quiero agradecer a la Universidad El Bosque y a todos los docentes que han sido parte de mi proceso formativo, especialmente a mi directora de tesis, quién a pesar del corto tiempo estuvo muy pendiente de nuestro proceso y contribuyó demasiado en la construcción de este trabajo. Finalmente, destacar el gran equipo de trabajo que formamos con mi compañero de tesis, realizando un proyecto según lo planeado y solucionando todos los imprevistos y adversidades que se nos presentaron en este proceso.

Tabla de Contenido

| | |
|--|----|
| 1. Introducción | 12 |
| 2. Planteamiento del problema..... | 13 |
| 3. Justificación | 15 |
| 4. Objetivos | 16 |
| 4.1. Objetivo general..... | 16 |
| 4.2. Objetivos Específicos..... | 16 |
| 5. Marcos de referencia..... | 16 |
| 5.1. Antecedentes | 16 |
| 5.2. Marco Conceptual | 18 |
| 5.3. Marco Teórico..... | 22 |
| 5.3.1. Sistema energético colombiano | 22 |
| 5.3.2. Paneles solares - Efecto fotovoltaico | 23 |
| 5.3.3. Ventajas de la energía solar fotovoltaica como energía renovable..... | 23 |
| 5.3.4. Relación entre un sistema fotovoltaico y el sistema interconectado nacional | 24 |
| 5.3.5. Oportunidades de la energía fotovoltaica..... | 26 |
| 5.3.6. Cambio Climático - Emisiones de Gases de Efecto Invernadero | 26 |
| 5.4. Marco Normativo..... | 27 |
| 5.4.1. Normatividad Nacional..... | 27 |
| 5.4.2. Normatividad Internacional | 30 |
| 5.5. Marco Geográfico | 32 |
| 5.6. Marco Institucional | 36 |
| 5.7. Marco Metodológico..... | 37 |
| 5.7.1. Enfoque | 37 |
| 5.7.2. Alcance..... | 38 |
| 5.7.3. Objetivo específico No. 1 | 38 |
| 5.7.4. Objetivo específico No. 2 | 39 |
| 5.7.5. Objetivo específico No. 3 | 40 |
| 5.8. Plan de trabajo..... | 42 |
| 5.8.1. Primer objetivo específico | 42 |
| 5.8.2. Segundo objetivo específico | 43 |
| 5.8.3. Tercer objetivo específico..... | 44 |
| 5.9. Cronograma..... | 45 |
| 6. Aspectos Éticos..... | 48 |
| 7. Resultados | 48 |
| 7.1. Resultados primer objetivo específico (Recursos ambientales)..... | 48 |
| 7.2. Resultados segundo objetivo específico (Diseño del sistema fotovoltaico) | 51 |
| 7.2.1. Dimensionamiento matemático y espacial..... | 51 |
| 7.2.2. Diseño gráfico y modelación | 60 |
| 7.3. Resultados tercer objetivo específico (Análisis financiero y ambiental)..... | 63 |
| 7.3.1. Evaluación financiera..... | 63 |
| 7.3.1.1. Tasa Interna de Retorno y Valor Presente Neto..... | 63 |
| 7.3.2. Evaluación ambiental..... | 66 |

| | |
|---|----|
| 8. Análisis y discusión de resultados | 67 |
| 9. Conclusiones | 71 |
| 10. Recomendaciones..... | 72 |
| 11. Referencias Bibliográficas | 73 |
| 12. Glosario de términos | 80 |

Tabla de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Distribución interna de una celda fotovoltaica | 23 |
| Figura 2. Esquema de un sistema solar fotovoltaico interconectado a la red eléctrica nacional | 24 |
| Figura 3. Mapa de la cobertura del Sistema Interconectado Nacional (SIN) para el 2016..... | 25 |
| Figura 4. Clasificación socioeconómica de la población con SISBEN del municipio de Mosquera, Cundinamarca | 32 |
| Figura 5. Cobertura de servicios públicos de la vivienda en el municipio de Mosquera, Cundinamarca | 33 |
| Figura 6. Distribución de los sectores según el tipo de actividad económica en el municipio de Mosquera, Cundinamarca | 34 |
| Figura 7. Mapa de delimitación de la zona de estudio del proyecto. Caso estudio: Alejandría Real VIII | 35 |
| Figura 8. Logo institucional de Urbansa S.A. | 37 |
| Figura 9. Diseño metodológico del primer objetivo específico | 39 |
| Figura 10. Diseño metodológico del segundo objetivo específico | 40 |
| Figura 11. Diseño metodológico del tercer objetivo específico..... | 41 |
| Figura 12. Mapa de radiación solar del municipio de Mosquera - Cundinamarca. Caso estudio: Alejandría Real VIII..... | 49 |
| Figura 13. Mapa de brillo solar del municipio de Mosquera - Cundinamarca. Caso estudio: Alejandría Real VIII | 50 |
| Figura 14. Plano acotado de la distribución de los paneles fotovoltaicos sobre la cubierta de los edificios..... | 54 |
| Figura 15. Relación entre el costo del proyecto fotovoltaico propuesto y el total de ingresos por la venta de apartamentos de Alejandría Real VIII..... | 56 |
| Figura 16. Plano con corte transversal de una torre con los paneles fotovoltaicos instalados..... | 61 |

| | |
|---|----|
| Figura 17. Modelación en 3D del sistema fotovoltaico propuesto..... | 62 |
| Figura 18. Modelación en 3D con relación al movimiento del sol | 62 |
| Figura 19. Periodo de retorno de inversión calculado para el proyecto. | 64 |
| Figura 20. Relación entre Valor Presente Neto (VPN) y Tasa Interna de Retorno (TIR) | 65 |
| Figura 21. Cálculo de huella de carbono a partir de distintos factores de emisión..... | 66 |
| Figura 22. Reducción de huella de carbono a partir de distintos factores de emisión | 67 |
| Figura 23. Inventario Gases de Efecto Invernadero para Colombia año 2012 | 70 |
| Figura 24. Equivalencias reducción emisiones CO2 del proyecto..... | 71 |

Tabla de Tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Necesidades, problemas y oportunidades relacionadas con el desarrollo del proyecto de investigación. | 14 |
| Tabla 2. Trabajos de grado relacionados con energía fotovoltaica, encontrados en la Biblioteca Juan Roa Vásquez para el periodo 2013-2019 | 17 |
| Tabla 3. Normatividad nacional que enmarca la propuesta para la implementación de un sistema fotovoltaico en vivienda de interés social. | 27 |
| Tabla 4. Normatividad nacional que enmarca la propuesta para la implementación de un sistema fotovoltaico en vivienda de interés social. | 31 |
| Tabla 5. Informe de avance de actividades relacionadas con el primer objetivo específico..... | 42 |
| Tabla 6. Informe de avance de actividades relacionadas con el segundo objetivo específico..... | 43 |
| Tabla 7. Informe de avance de actividades relacionadas con el tercer objetivo específico | 44 |
| Tabla 8. Cronograma de actividades generales del periodo comprendido entre febrero y noviembre de 2019..... | 45 |
| Tabla 9. Cotizaciones de paneles fotovoltaicos encontrados en el mercado nacional para el 2019 | 51 |
| Tabla 10. Tabulación de las cotizaciones considerando costos del sistema y abastecimiento energético potencial. | 52 |
| Tabla 11. Datos generales del proyecto de vivienda Alejandría Real VIII..... | 53 |
| Tabla 12. Principales costos asociados al proyecto de vivienda Alejandría Real VIII..... | 55 |
| Tabla 13. Principales datos espaciales y energéticos asociados al proyecto de Alejandría Real VIII.... | 60 |
| Tabla 14. Relación entre tasas de descuento y tasas representativas del mercado..... | 65 |

Tabla de Ecuaciones

| | |
|---|----|
| Ecuación 1. Potencial energético de la zona de estudio..... | 50 |
| Ecuación 2. Número de paneles fotovoltaicos que hacen parte del sistema propuesto. | 53 |

| | |
|---|----|
| Ecuación 3. Costo promedio del sistema fotovoltaico a partir de la ponderación de las cotizaciones disponibles. | 55 |
| Ecuación 4. Requerimiento energético mensual total. | 56 |
| Ecuación 5. Costo mensual por el servicio de energía..... | 57 |
| Ecuación 6. Potencia total instalada del sistema fotovoltaico propuesto. | 57 |
| Ecuación 7. Generación energética estimada del sistema fotovoltaico propuesto..... | 57 |
| Ecuación 8. Generación de energía teórica a partir del potencial solar de la zona de estudio. | 58 |
| Ecuación 9. Porcentaje de sustitución que representa el sistema propuesto frente al consumo energético del proyecto Alejandría Real VIII..... | 58 |
| Ecuación 10. Porcentaje de espacio requerido por el sistema fotovoltaico propuesto..... | 59 |
| Ecuación 11. Porcentaje de aprovechamiento energético por cada panel..... | 59 |
| Ecuación 12. Tasa interna de retorno a 25 años para el proyecto con el préstamo bancario. | 64 |
| Ecuación 13. Cálculo de emisiones de Gases de Efecto Invernadero..... | 66 |

Resumen

La carencia de proyectos que generen energías limpias a partir de nuevas tecnologías aumenta la preocupación por diversificar las fuentes de energía, más aún cuando múltiples factores ponen en riesgo la seguridad energética del país debido a la dependencia que tienen los mercados hacia los combustibles fósiles, hecho que se presenta como una ventana de oportunidades al desarrollo a partir de las fuentes de energía no convencionales emergentes. Para este caso, se estudió la implementación de un sistema fotovoltaico en viviendas de interés social como lo es Alejandría Real VIII, a partir del análisis de la disponibilidad de los recursos ambientales como la radiación solar ($4,5 \text{ kWh/m}^2$) y el potencial energético de la zona, mostrando que se encuentra dentro del promedio nacional, el reto siempre estuvo implícito en acoplar distintos sectores económicos a una propuesta de sistemas de energía fotovoltaica, que fuese sostenible, rentable y ambientalmente beneficioso. Para ello se realizó una búsqueda bibliográfica en diferentes fuentes de información para la obtención de datos teóricos del potencial energético de la zona, apoyándose en la utilización de softwares aplicados como ArcGis y AutoCAD. Luego, se elaboró el planteamiento de un sistema de acuerdo con las cotizaciones realizadas, la información suministrada por la constructora del proyecto y el dimensionamiento del sistema, compuesto por 672 paneles, para suplir el 49% de la demanda energética del conjunto. Finalmente, se evaluó la propuesta financiera y ambientalmente, a partir de indicadores como la TIR tasas del 11% al 32 % y el VPN que puede llegar hasta los catorce mil millones de pesos (\$14.000 000 000), sumado al cálculo de la huella de carbono, en donde se emplearon distintos factores de emisión para determinar la reducción de emisiones de GEI asociadas al proyecto y generar equivalencias que permitan entender mejor la huella de carbono.

Palabras clave: Abastecimiento de energía, energía fotovoltaica, vivienda de interés social (VIS), huella de carbono

Abstract

The lack of projects for new technologies and clean energy generation is concerned to different energy sources, especially when multiple factors put in risk the country's energetic security due to the dependence on fossil fuels. This situation opens a window for new opportunities to develop non conventional energy sources. In the study case of this work, the implementation of a photovoltaic system in a social interest housing project (VIS) such as Alejadría Real VIII is analyzed in terms of environmental resources availability such as solar radiation ($4,5 \text{ kWh/m}^2$) and energetic potential of the área, showing that it is within the national average. The challenge was mainly related with the coupling of different economic sectors to a photovoltaic proposal assuring its sustainability, profitability and environmental benefit. It was carried out a bibliographical research on different sources of information in order to obtain theoretical data about the energetic potential, supporting in the use of applied softwares as ArcGis and AutoCAD. Then, was developed a system composed of 672 panels being able to replace nearly 49% of the energy demand. Finally, was included a financial and environmental evaluation, based on indicators as the IRR rate obtaining 11% and 32% and the NPV that can reach up to fourteen billion pesos, besides, the carbon footprint estimation, where were included different emission factors to determine the reduction of GHG emissions associated to the project and generate equivalences that allow a better understanding of the carbon footprint

Keywords: Energy supply, photovoltaic energy, social interest housing, carbon footprint

1. Introducción

Actualmente, teniendo en cuenta las dinámicas y tendencias del desarrollo en Colombia, la energía se ha convertido en una necesidad básica mediante la cual es posible medir la calidad de vida de los habitantes del territorio, según la Unidad de Planeación Minero Energética (2017) “El índice de cobertura de servicio de energía eléctrica en el país para el 2015 se estimó en un 96,96 %, existiendo departamentos como Vichada, Putumayo, Amazonas, Vaupés y La Guajira, con cobertura de alrededor o menos del 70%”, hecho que implica la existencia de asentamientos humanos dentro del territorio nacional, a los que aún no se les puede garantizar el acceso a este servicio. Teniendo en cuenta que, Colombia, está en una ubicación geográfica privilegiada que representa una gran diversidad de climas y ecosistemas, consecuentemente, también se sitúa como uno de los países con mayor disponibilidad de recursos hídricos y geológicos del mundo (Castillo, Castrillón, Vanegas, Valencia y Villacaña, 2015), situación que paralelamente también pronostica una gran diversidad y disponibilidad de fuentes energéticas. Sin embargo, el abastecimiento energético del país depende considerablemente del recurso hídrico, ya que cerca del 70% de la energía proviene de centrales hidroeléctricas, panorama que paulatinamente ha venido deteriorando dicho recurso, influyendo negativamente sobre el bienestar del ambiente y generando un sinnúmero de conflictos socio ambientales que en resumidas cuentas afectan directamente la calidad de vida de las personas. Además, el otro 30% de la energía se deriva de la transformación de combustibles fósiles provenientes de recursos ambientales no renovables, proceso detrás del cual, se presenta un panorama lleno de incongruencias y abusos hacia la naturaleza, siendo totalmente adverso para la sostenibilidad ambiental y conservación del medio ambiente. (Beltrán, 2016; Ministerio de Minas y Energía, 2014)

“Colombia no es pionera en el desarrollo de nuevas tecnologías sin embargo cuenta con los recursos naturales para implementar varias tecnologías de generación de energía eléctrica con recursos renovables como el viento, radiación solar, calor de la tierra entre otros”. (Cuadros y Ortega, 2012).

Por lo tanto, las energías renovables se convierten en una opción para el abastecimiento de energía en Colombia tanto por el nivel de desarrollo como por la evolución que ha mostrado la aplicación de dichos sistemas, mejorando la eficiencia de las partes, generando costos más asequibles y aumentando la oferta en general.

La investigación pretende formular un sistema que abastezca un conjunto residencial con viviendas de interés social a partir de paneles fotovoltaicos que aprovechen la radiación solar disponible y logre aportar de manera significativa a aspectos relevantes de la comunidad en general, desde la diversificación de la fuente, la rentabilidad económica, los aportes ambientales y el uso de las nuevas tecnologías para un bienestar social. Así mismo es crucial encontrar la mejor forma para que su realización y mantenimiento sean sostenibles a través de un análisis del potencial energético, el diseño del sistema e indicadores que demuestren datos relevantes para la toma de decisiones para un aporte al desarrollo sostenible.

2. Planteamiento del problema

La preocupación de la humanidad por el cambio climático implica una necesidad inminente por comprender y avanzar hacia el desafío del desarrollo sostenible, imponiendo consecuentemente, el reto de cambiar los estilos de crecimiento y las tendencias de desarrollo. Panorama que abarca la incorporación de nuevas fuentes de energía, enfatizando en la inclusión de fuentes no convencionales, que disminuyen considerablemente los impactos ambientales ligados al abastecimiento energético y la aglomeración habitacional en ciudades dormitorio, situación que se ha convertido en un problema con la necesidad de abordarse de manera inmediata, enfocándose especialmente en nuevos proyectos de desarrollo de infraestructura y vivienda (Ramírez & Parra-Peña, 2013).

Un reto asociado a este problema es encontrar estrategias intersectoriales para lograr involucrar los sistemas de energía renovables a los proyectos de vivienda de interés social que planea el gobierno, los cuales tienen limitaciones presupuestales, usuarios con una capacidad adquisitiva promedio y constructoras competitivas que buscan una rentabilidad económica, tal y como sucede en el proyecto Alejandría Real VIII, ubicado en el municipio de Mosquera, Cundinamarca.

Municipio que en las últimas décadas ha venido creciendo exponencialmente, a tal punto que se ha consolidado como una ciudad dormitorio de la capital del país, tal y como lo sustenta el DANE en uno de sus últimos censos poblacionales en donde se muestra que la población de Mosquera pasó de 63.226 habitantes a 128.895 en el 2018 aumentando en un 103%, siendo el cuarto municipio a nivel nacional con mayor variación porcentual poblacional. Este hecho, se encuentra estrechamente relacionado con la falta de oferta de los suelos en Bogotá, razón por la cual, el mercado de vivienda específicamente de VIS ha experimentado un auge que se refleja en la expansión y crecimiento económico del municipio, tal y como lo menciona la presidenta de la Cámara Colombiana de la Construcción: “...la construcción de vivienda en los municipios aledaños a Bogotá representa el 41% del total de la región, cifra que se duplicó en la última década” (Diario La República, 2019).

Es precisamente en este punto, en donde desde la ingeniería ambiental se pueden desarrollar alternativas que impacten positivamente sobre la problemática y se logren acoplar al inevitable aumento de la urbanización, mediante la reducción de contaminantes atmosféricos por medio de la implementación de energías renovables, que tal y como lo afirma la (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2007): “Paulatinamente han ayudado a paliar el impacto ambiental y las externalidades que trae consigo el uso de hidrocarburos como fuente primaria de energía” (Citado en Umbarila, Alfonso & Rivera, 2017) de tal forma que sea posible confrontar el agobiante panorama que ha causado el cambio climático, en busca de una mayor sostenibilidad ambiental que incluye el bienestar del entorno, así como el mantenimiento de la calidad de vida de la población.

Para ello, es necesario realizar un diagnóstico inicial de la situación actual en torno al problema, de tal forma que sea posible identificar las distintas necesidades que se buscan satisfacer, los problemas ocasionados por dichas necesidades y a partir de esto, también las oportunidades de solución que brinda el proyecto, considerando las particularidades de este caso estudio (*Tabla 1*).

Tabla 1. Necesidades, problemas y oportunidades relacionadas con el desarrollo del proyecto de investigación.

| Necesidades por satisfacer | Problema por resolver | Oportunidades por aprovechar |
|--|--|---|
| Uso de las fuentes naturales de energía no convencionales | Ineficiente uso de recursos que tienen gran potencial para la producción de energía | Recursos para la obtención de energía de fácil acceso como la radiación y el brillo solar |
| | Falta de tecnología y equipos adecuados para obtener energía de fuentes no convencionales | Nuevas tecnologías y tendencias a nivel mundial para el aprovechamiento de energías renovables y no renovables |
| | Altos costos de implementación de alternativas a partir de energías no convencionales | Diversificación del mercado y aumento en la oferta de tecnologías para el aprovechamiento de energías no convencionales |
| Abastecimiento energético con alto impacto sobre el medio ambiente | Dependencia energética de las fuentes convencionales | Oferta ambiental y ubicación geográfica para soportar de manera adecuada una alternativa de autogeneración de energía empleando las energías renovables |
| Demanda del servicio básico de energía para la población | Manejo de proyectos energéticos a gran escala, que representan grandes impactos socioambientales | Proyectos de producción de energía a nivel local |

Fuente: Autores (2019)

Es importante tener en cuenta que el uso de las fuentes no convencionales de energía representa una enorme oportunidad para desarrollar alternativas sostenibles que solucionen gradualmente los problemas sintetizados en la *Tabla 1*, derivados principalmente del uso de combustibles fósiles para el abastecimiento energético, punto para el cual es indispensable modificar la concepción de las energías renovables, y reconocer los beneficios que significa su implementación al modelo energético del país.

Pregunta de investigación:

¿Cómo diseñar un sistema fotovoltaico de generación de energía que fortalezca la sustentabilidad ambiental y económica del proyecto de vivienda de interés social Alejandría Real VIII, en Mosquera, Cundinamarca?

Hipótesis de investigación:

El proyecto de vivienda de interés social Alejandría Real VIII será más sustentable ambiental y económicamente si incorpora un sistema fotovoltaico de generación de energía.

3. Justificación

La energía se ha convertido en un recurso cada vez más indispensable para el desarrollo y mantenimiento de cualquier comunidad, hecho que implica una dependencia total ante el sistema energético incluyendo los componentes requeridos para la generación de energía, partiendo de los recursos fósiles como fuente de abastecimiento, hasta las cámaras de combustión, la energía mecánica de las fuentes hídricas, la macro infraestructura, las turbinas hidráulicas y demás constituyentes de la operación, que representan diversos impactos al entorno que al ser normalmente a gran escala generan problemáticas ambientales de gran proporción e influyen al desistimiento de diferentes oportunidades con fuentes de energías alternativas. Además, la economía mundial también sesga las inversiones debido a que se enfoca principalmente en los combustibles fósiles, siendo uno de los ejes fundamentales en las tasas representativas del mercado.

No obstante, el problema radica en la dependencia de los combustibles para la producción de energía convencional en el sector hidrocarburo y el impacto ambiental de las grandes hidroeléctricas, que entre los dos grupos tienen una proporción considerable en la generación nacional de energía, sumado a esto existe una prevalente amenaza por los mercados externos, la volatilidad de los precios y las condiciones naturales como el fenómeno del niño; partiendo de dichos factores y enmarcados en el modelo del desarrollo sostenible y las tecnologías limpias, surgen alternativas para el aprovechamiento de distintas fuentes antes no exploradas que buscan alcanzar cambios importantes en nuestros sistemas económicos y productivos, enfocados a realizar procesos responsables con el ambiente que permitan el mantenimiento de los recursos naturales y aseguren un abastecimiento energético constante, de ahí la necesidad de diversificar las formas de obtener energía a través de alternativas con fuentes no convencionales basadas en energías renovables, incluyendo la energía fotovoltaica, energía eólica, biomasa, y algunas otras que se han venido desarrollando en los últimos tiempos. Todo esto, con el fin de disminuir el impacto ambiental y combatir el incesante agotamiento de los recursos naturales.

Teniendo en cuenta que Colombia en los últimos años ha buscado avanzar en materia energética desde las políticas nacionales en busca de una mayor cobertura del servicio con la infraestructura del sistema nacional interconectado y los avances tecnológicos que buscan mayor eficiencia; las tecnologías en torno al aprovechamiento de fuentes no convencionales y principalmente las energías fotovoltaicas surgen por el gran potencial que estas tienen en el territorio colombiano, debido a la ubicación geográfica que representa una gran disponibilidad de recursos naturales aprovechables como la radiación solar.

Es importante resaltar que por medio de este proyecto se pretende impactar positivamente sobre la concepción de las viviendas de interés social, adaptándose al marco de inversión que se encuentra limitado por los condicionamientos financieros, como el tope máximo de venta relacionado con los proyectos VIS, con el fin de presentarlo como una alternativa de desarrollo que permita transformar paulatinamente el modelo energético que rige nuestro país, proyectando la inclusión de la sostenibilidad ambiental en el campo de la construcción.

4. Objetivos

4.1. Objetivo general

- Formular una propuesta para la implementación de un sistema de energía fotovoltaica con el fin de fortalecer el componente ambiental y la renovación tecnológica de los proyectos de vivienda de interés social (VIS). Caso de Estudio: Alejandría Real VIII. Mosquera, Cundinamarca.

4.2. Objetivos Específicos

- Determinar las características climatológicas y la disponibilidad de recursos ambientales en la zona de estudio.
- Plantear un sistema fotovoltaico acorde a las características económicas y la oferta tecnológica.
- Evaluar financiera y ambientalmente el sistema fotovoltaico de generación de energía propuesto.

5. Marcos de referencia

5.1. Antecedentes

En las últimas décadas, el uso y aprovechamiento de la energía fotovoltaica, incluida en el grupo de energías renovables ha experimentado un dramático aumento a partir de la necesidad de satisfacer las necesidades ligadas a las tendencias del desarrollo antrópico. Crecimiento que se encuentra estrechamente relacionado con las iniciativas y mecanismos de fomento impulsados por países desarrollados que como España y Alemania, han incursionado fuertemente en este campo, logrando obtener resultados exitosos y suplir un porcentaje importante de la generación energética (Rodríguez, 2017). Destacando según la European Photovoltaic Industry Association (2018) que a nivel mundial las áreas con mayor potencia instalada en paneles fotovoltaicos son España y Alemania como se mencionó previamente, con un 52%, seguidos por Japón con un 9% y Estados Unidos con un 6,8%.

A nivel regional, en Latinoamérica ya también varios países se han situado como líderes del mercado desarrollando macro proyectos de plantas fotovoltaicas con potencias instaladas realmente considerables, como Imbabura en Ecuador con 998 MW, el Parque fotovoltaico en Tacna, Perú con 20 MW o la planta en Sonora, México con 650 MW. Proyectos que se encuentran soportados por la inigualable disponibilidad de recursos ambientales presente en el trópico, que da como resultado zonas como el Norte de Chile en donde se encuentra la región con mayor radiación solar del mundo, hecho

que a despertado intereses internacionales, a tal punto que ya se encuentra en estructuración un proyecto monumental en donde se espera generar al menos 2,69 GW anuales (Rodríguez, 2017).

Así mismo, esta tendencia creciente se evidencia en el número de proyectos de inversión fotovoltaicos desarrollados en el país, en donde del 2015 al 2016 se incluyeron propuestas en Zonas No Interconectadas (ZNI) como los departamentos de Amazonas implementando sistemas en centros de salud y resguardos indígenas, Arauca, aumentando el índice de electrificación rural, Putumayo y Vichada, abasteciendo a centros educativos veredales o La Guajira y Chocó, en donde enfocándose en territorios aislados se lograron financiar varios proyectos de una cuantía importante (Gómez, Murcia & Cabeza, 2018).

Adicionalmente, en el campo académico en los últimos años se ha visto reflejado el interés investigativo que ha despertado la inclusión de tecnologías relacionadas con energías renovables, ya que significan una alternativa de desarrollo tangible a corto plazo, situación que en el caso de la energía fotovoltaica es evidente, por lo que ha sido posible profundizar a distintas escalas y niveles de investigación en proyectos que planteen soluciones reales al contexto nacional, tal y como se evidencia en la *Tabla 2*.

Tabla 2. Trabajos de grado relacionados con energía fotovoltaica, encontrados en la Biblioteca Juan Roa Vásquez para el periodo 2013-2019

| Trabajo | Referencia |
|---------|---|
| 1 | Aguilar, C., (2018). Propuesta de un sistema de producción más limpia en el sector ganadero lechero mediante energías fotovoltaicas. Estudio de caso “Hacienda La Trinidad” Vereda de Sabaneca, Municipio de San Miguel de Sema - Chiquinquirá, Boyacá (Tesis de pregrado). Universidad El Bosque. Bogotá |
| 2 | Ayala, A., (2017). Implementación de sistema fotovoltaico en una cabaña ecológica modelo del proyecto inmobiliario Jardín Colibrí (Tesis de maestría). Universidad El Bosque. Bogotá |
| 3 | Carrillo, Y., (2013). Formulación de un sistema fotovoltaico piloto para las salas de juntas de la sede Morato de Colombia Telecomunicaciones S.A. ESP (Tesis de pregrado). Universidad El Bosque. Bogotá |
| 4 | Chalela, J., (2018). Fase de diseño de un sistema de energía fotovoltaica para la compañía QMC Telecom Colombia S.A.S. (Tesis de maestría). Universidad El Bosque. Bogotá |
| 5 | Cifuentes, L., (2013). Estudio de pre factibilidad para la implementación de energía solar fotovoltaica en planta 1 Proenfar S.A.S (Tesis de pregrado). Universidad El Bosque. Bogotá |
| 6 | Cortés, E., (2013). Determinación de la factibilidad para la implementación de energía fotovoltaica en el edificio bloque E de la Universidad El Bosque (Tesis de pregrado). Universidad El Bosque. Bogotá |

| | |
|----|--|
| 7 | Gualdia, D., (2017). Diseño e implementación de un sistema eléctrico FV para mejorar la visibilidad en las zonas de producción de panela de la Finca Las Mesitas ubicada en el Chorrillo, Villeta (Tesis de pregrado). Universidad El Bosque. Bogotá |
| 8 | Moreno, S., (2015). Estudio de viabilidad técnico-económica de un modelo de energía fotovoltaica en el área administrativa en corona planta Madrid como aporte a la ecoeficiencia (Tesis de pregrado). Universidad El Bosque. Bogotá |
| 9 | Padilla, J., (2013). Estudio inicial del mercado de energías alternativas generadas por paneles de celdas fotovoltaicas en Colombia (Tesis de pregrado). Universidad El Bosque. Bogotá |
| 10 | Rodríguez, A., (2017). Propuesta para la reducción de la huella de carbono por medio de la implementación de un sistema fotovoltaico en el Anaira Hostel, Leticia – Amazonas (Tesis de pregrado). Universidad El Bosque. Bogotá |
| 11 | Soriano, D., (2017). Diseño de un sistema energético basado en energía fotovoltaica para la sede central de TÜV Rheinland Colombia S.A.S. (Tesis de pregrado). Universidad El Bosque. Bogotá |

Fuente: Autores (2019)

Finalmente, a nivel local se han desarrollado proyectos similares mediante los cuales se ha buscado implementar específicamente sistemas fotovoltaicos para abastecer energéticamente conjuntos residenciales, como por ejemplo una tesis de especialización en donde se llevó a cabo una evaluación financiera de un proyecto de reconversión energética de un conjunto residencial en el municipio de Mosquera, en el que se demuestra desde el punto de vista financiero, las ventajas que puede llegar a tener un sistema de este tipo sobre la energía de una hidroeléctrica, además de la evidente viabilidad de implementación logrando alcanzar un retorno del 235% en 10 años, ahorrando considerablemente en los costos de energía y contribuyendo indudablemente con el bienestar de ambiente (Ramírez, Paz, Castro y Salazar, 2019).

Además, se desarrolló un estudio de energía solar en el departamento de Cundinamarca, en el cual se determinó que aunque Bogotá no se caracteriza por ser una zona soleada, si presente valores de radiación solar más altos que los de países desarrollados en donde se aprovecha eficientemente la energía como el caso de Alemania, hecho por el cual se postula que si es posible implementar sistemas fotovoltaicos en esta región del país, sin embargo, tal y como lo menciona Rodríguez (2017): “Nada de esto es posible sin los adecuados incentivos por parte del gobierno y/o empresas del sector eléctrico”.

5.2. Marco Conceptual

- ✓ Energía fotovoltaica: Se refiere a la transformación de la radiación proveniente del sol a electricidad, por medio de equipos y sistemas con celdas fotovoltaicas, en donde existe una relación directamente proporcional entre la intensidad de la luz que recibe el sistema, y el flujo

eléctrico que se produce (European Photovoltaic Industry Association, 2012). Este tipo de energía es considerada como una fuente renovable, limpia, e inagotable que puede ser aprovechada fácilmente en el mismo lugar que se produce, y representa una excelente oportunidad para el futuro, frente al agotamiento de las fuentes fósiles y los problemas que se derivan de su explotación y consumo (Grupo de Investigación Orión, 2013).

- ✓ 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 (UPME, 2014).
- ✓ Generadores de energía a partir de FNCE: Son todos los contribuyentes declarantes del impuesto sobre la renta y complementarios y obligados a llevar contabilidad, que generen energía para venta o autoconsumo a partir de FNCE (UPME, 2014).
- ✓ Fuentes convencionales de energía: Son aquellos recursos de energía que son utilizados de forma intensiva y ampliamente comercializados en el país (UPME, 2014)
- ✓ Sistema Interconectado Nacional (SIN): Sistema compuesto por plantas y equipos de generación, la red de interconexión, las redes regionales e interregionales de transmisión complementarias, las redes de distribución y las cargas eléctricas propias de los usuarios, según la ley 143 de 1994. (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 1999)
- ✓ Recursos ambientales: En términos generales, pueden ser definidos como aquellos componentes de la naturaleza que pueden promover los bienes y servicios necesarios para satisfacer las necesidades del hombre, aclarando que al encontrarse en función de la actividad humana son determinados por el hombre y no por la naturaleza (Enkerlin, et al. Citado por Universidad Complutense de Madrid, 2016). Estos recursos abarcan todo el medio natural, incluyendo materias primas y fuentes de energía, y pueden ser clasificadas según su ritmo de restauración como recursos renovables tales como la energía solar, o recursos no renovables como los combustibles fósiles y los minerales (Universidad Complutense de Madrid, 2016).
- ✓ Vivienda de interés social: Es una herramienta que fue creada con el fin de garantizar el acceso a una vivienda digna por parte de las personas con menos recursos, y se encuentra cobijada por cada Plan Nacional de Gobierno, partiendo de un análisis completo de las necesidades básicas insatisfechas, así como de las características de déficit habitacional y condiciones socioeconómicas de la población. Según la Ley 1151 de 2007, este concepto específicamente se refiere a: *“Aquella vivienda que reúne todos los elementos que aseguren su habitabilidad, estándares de calidad en diseño urbanístico, arquitectónico y de construcción, y cuyo valor máximo sea de ciento treinta y cinco salarios mínimos legales mensuales vigentes (135 SMMLV).”* (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2009).
No obstante, el Sistema Nacional de Vivienda no ha logrado a cabalidad su propósito inicial de intervenir positivamente sobre los procesos de metropolización y reformar las dinámicas de

asentamiento poblacional, debido a varias incongruencias en los procesos de planeación, ejecución y seguimiento de las políticas de vivienda. Todo esto, sumado a incoherencias en cuanto a la institucionalidad, dejando como resultado vacíos importantes que han repercutido negativamente sobre la concepción de la Vivienda de Interés Social. Consecuentemente, se ha ocasionado un descuido importante, que representa un claro impedimento para el panorama de vivienda, en donde los productos terminados en muchos casos encarnan hábitats de baja calidad (Escallón, 2012).

Lamentablemente en ocasiones este concepto se ha tergiversado radicalmente, a tal punto que tal y como lo menciona Escallón (2012): “Las viviendas, producto de la actividad de las constructoras privadas, parecen privilegiar la máxima rentabilidad y no la rentabilidad con calidad.”, y quienes están asumiendo la gestión de los procesos, no están integrando adecuadamente las dimensiones sociales, financieras, técnicas, culturales y ambientales.

- ✓ Evaluación financiera: Se refiere a un proceso mediante el cual se identifican y valoran los costos y beneficios de un proyecto, enfatizando en el flujo de fondos generado por el mismo. Es importante considerar que esta evaluación determina hasta qué punto se tiene la capacidad de cubrir los costos del proyecto, de tal forma que sea posible tener un punto de comparación con otras alternativas de inversión. (Escuela de Administración, Finanzas e Instituto Tecnológico, 2017)

Los indicadores que generalmente se toman como punto de referencia en una evaluación financiera son el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

- Valor Presente Neto: El primero nos indica la viabilidad del proyecto, relacionando el valor inicial de la inversión con los flujos esperados en un periodo de tiempo determinado, se calcula de la siguiente manera:

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} - I_0$$

En donde, **F_t** representa el flujo neto en el tiempo determinado, **k** la tasa de oportunidad, es decir la rentabilidad mínima esperada, e **I₀** se refiere a la inversión inicial que se realizó.

En caso de que el VPN > 0, se puede concluir que el valor de los beneficios de la inversión serán mayores a los costos, por lo que será un proyecto factible financieramente. En caso contrario, si el VPN < 0, la inversión no superará la rentabilidad mínima esperada y no generará beneficios financieros. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2015)

- Tasa Interna de Retorno: Por otro lado, la TIR indica el porcentaje de beneficio o pérdida que una inversión puede generar teniendo en cuenta la rentabilidad. Asimismo, se puede considerar como la tasa de descuento en la cual se alcanza un equilibrio y el VPN se convierte en cero. Se calcula a partir de la siguiente fórmula:

En donde, **F_n** es el flujo neto para el periodo de estudio, **n**, el número de periodos considerados e **i** el valor de la inversión inicial.

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{Fn}{(1+i)^n} = 0$$

A partir de lo anterior, si la $TIR > k$ (Tasa de descuento considerada en el VPN), la rentabilidad será mayor a la mínima esperada y por lo tanto el proyecto se considera rentable. Si la $TIR = 0$ financieramente no significaría ningún beneficio, sin embargo, es pertinente evaluar si se puede generar algún beneficio adicional que justifique la realización de la inversión. Finalmente, si la $TIR < 0$, la inversión se estaría perdiendo, ya que ni siquiera se alcanza la rentabilidad mínima esperada (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2015).

- ✓ Evaluación ambiental: Es un instrumento preventivo mediante el cual se busca analizar integralmente un proyecto, identificando los potenciales efectos adversos ambientales, con el fin de proponer medidas pertinentes que logren mitigar y prevenir cualquier alteración de este tipo. Además, se ha convertido en una herramienta primordial para el fortalecimiento del proceso de toma de decisiones, garantizando la inclusión y priorización del componente ambiental en el constante e incesante desarrollo humano (Government of Canada, 2019).

Es fundamental que este proceso de evaluación sea incluido en las fases tempranas de planificación del proyecto, ya que a partir de esto se deben estructurar los demás componentes, buscando coherencia y otorgándole mayor fiabilidad y eficacia a la hora de salvaguardar el bienestar del entorno (Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare, 2015). Dentro de las distintas técnicas y metodologías empleadas para la realización de una evaluación ambiental, se destaca el cálculo de la huella de carbono, que según el Ministerio del Medio Ambiente de Chile (2017), se refiere a un indicador de impacto ambiental, por medio de la cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a una actividad específica.

Esta herramienta se puede aplicar prácticamente a cualquier campo, analizando estilos de vida personales, ciclos de vida de un producto, procesos específicos de una industria o enfocándose hacia el desempeño y actividad de una empresa. Es importante resaltar que en esta última aplicación referente al enfoque corporativo, se encuentra una de las bases para implementar una gestión ambiental responsable en el desarrollo de la industria, punto que puede convertirse en una valiosa ventaja competitiva frente a los distintos grupos de interés, incentivando un proceso de adaptación mediante el cual se logre adoptar de una posición distinta ante el alarmante cambio climático. (Ministerio del Medio Ambiente de Chile, 2017)

5.3. Marco Teórico

5.3.1. Sistema energético colombiano

La distribución de la producción de energía en el país depende de dos factores predominantes, el primero es el deterioro del recurso hídrico teniendo en cuenta que dichas obras se realizan a gran escala, lo que conlleva a impactos socio ambientales, que deterioran a diferentes grados la capacidad de resiliencia y recuperación de los ecosistemas (Torres, Caballero & Awud, 2016), sin olvidar que existen variantes como hidroeléctricas de menor tamaño que pueden llevar energía a sitios donde la infraestructura no soporte o no exista para la distribución, con beneficios económicos para los grupos de interés, como lo plantean (Duque, González, Restrepo y Vélez, 2016) “Este tipo de unidades de generación constituyen una alternativa interesante, dado que de acuerdo con la regulación vigente en Colombia, no pagan prima de respaldo por potencia y pueden colocar libremente su energía en el sistema eléctrico interconectado nacional”.

El segundo es el desarrollo del sector minero energético puesto que en Colombia, para el año 2014 “la participación para de generación de energía, se dio en un 70 % de fuentes hidráulicas, un 21 % de gas y carbón y un 9 % de otro tipo de fuentes” (Unidad de Planeación Minero Energética, 2018), es decir, que el otro gran peso lo ocupa el sector minero energético, el cual debe fortalecerse desde lo político – administrativo pero siempre integrando a la naturaleza en todos sus ámbitos, como mencionan (Herrera y Ochoa, 2016) “el manejo institucional, financiero, legislativo y ambiental son temas para la toma de decisiones que a largo plazo inciden en el desarrollo de esta actividad y principalmente, en la conservación y protección de los recursos naturales”.

Según la UPME (2018) “En el 2014 Colombia tuvo una capacidad efectiva de producción de energía de 15.672 GW posicionándose en la quinta mayor producción de los países latinoamericanos” (p. 9) sin embargo, la proyección de crecimiento de demanda para la fecha fue de 16.093 GW, quedando en déficit si la escasez de agua por fenómeno del niño hubiera sido en una mayor proporción (Unidad de Planeación Minero Energética, 2014).

Por otro lado, la diversificación de la energía en Colombia debe estar apoyada en la búsqueda del desarrollo efectivo en todo el país, autores como (Gómez, Ríos y Peña , 2012) plantean: “Actualmente se encuentran en desarrollo un sinnúmero de tecnologías proyectadas a la producción de bioetanol a partir de este material energético tan abundante” o con cambios a corto plazo en donde se enfoquen las estrategias a la eficiencia de los recursos existentes como lo menciona (Manotas, Oliveros, Taborda, Vidal y Lozano, 2013) “Generar modelos de optimización del portafolio de abastecimiento de energía para los consumidores finales, con el propósito de determinar la cantidad óptima de energía que debe ser suministrada”.

A nivel de políticas, el gobierno basa las decisiones conforme a la variabilidad del mercado, como menciona (Cuadros y Ortega, 2012) “se basa en un esquema de libre mercado abierto a capitales privados y que combina la división de actividades, la participación abierta y la regulación por parte del Estado” (p 21), pero a su vez, debe alinearse a la realidad socio ambiental del país tal como lo menciona (Arias y Jiménez, 2016) “como actividad económica y servicio público sujeta a regulaciones ambientales, realizada en un contexto de conflictos sociales, económicos y ambientales”.

Todo lo anterior se compacta en una serie de pilares para tener en cuenta en la articulación de ejes de acción para el tratamiento de la energía en Colombia recordando la importancia del servicio como menciona (Ojeda, Candelo y Ortega, 2017) “El acceso a la electricidad como servicio público resulta relevante para promover el desarrollo económico de comunidades aisladas”.

5.3.2. Paneles solares - Efecto fotovoltaico

El funcionamiento de cualquier sistema solar se centra en las células fotovoltaicas, que se encargan de convertir directamente los fotones provenientes de la radiación solar en energía eléctrica aprovechable, proceso que es denominado efecto fotovoltaico (McGraw Hill Colombia, 2016). Esto, se logra mediante dos láminas con características específicas para generar la energía; en primer lugar, encontramos la región N que es la que se encuentra expuesta a la luz solar, y por otro lado, la región P que es encuentra en la oscuridad, estas láminas están elaboradas de materiales semiconductores, ya que químicamente favorecen los fenómenos requeridos, generalmente el material empleado es el silicio, sin embargo, se realizan ciertas modificaciones con elementos como el boro y el fósforo y se incluye un campo eléctrico con el fin de facilitar la transferencia interna de electrones, como se muestra en la *Figura 1*. (Romero, 2015)

Figura 1. Distribución interna de una celda fotovoltaica



Fuente: (Romero, 2015)

5.3.3. Ventajas de la energía solar fotovoltaica como energía renovable

Las energías renovables presentan una serie de características que se muestran como ventajas frente a las pertenecientes a las fuentes de energía convencional como los combustibles fósiles. En primer lugar, son una fuente de energía primaria, es decir, que se pueden encontrar directamente en la naturaleza y con un origen inagotable. Además, al ser consideradas como energías limpias, contribuyen a la mejora de la calidad ambiental, disminuyendo las emisiones de CO₂. Por otro lado, representan una excelente alternativa de descentralización del mercado, en donde se disminuiría la dependencia existente frente a las energías convencionales y al mismo tiempo se incentivaría una mayor

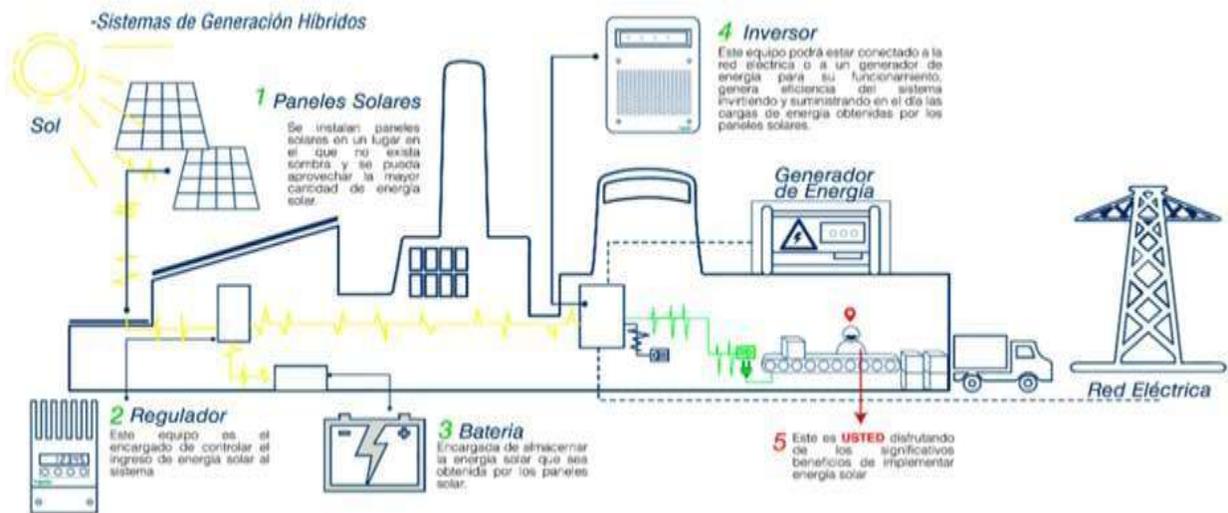
competitividad en el sector energético, beneficiando también la prestación del servicio (Báez & Forero, 2018). Tal y como lo menciona Barberá (2011): “Son tecnologías que no dependen del aprovisionamiento por parte de los países productores de combustibles fósiles”.

Adicionalmente, es importante tener en cuenta que aunque por la naturaleza de los componentes de las células fotovoltaicas que se instalan, la inversión inicial es considerablemente alta; ya en funcionamiento, el sistema al no tener componentes móviles, no implica grandes costos de mantenimiento, sumado a que son instalaciones con una vida útil larga, que puede rondar los 30 años. Es por ello y por la no necesidad de tener un continuo monitoreo, que podría ser una solución para abastecer a las regiones alejadas de los cascos urbanos, que no cuentan con cobertura de este servicio (Gobierno Provincia de Mendoza, 2017).

5.3.4. Relación entre un sistema fotovoltaico y el sistema interconectado nacional

Por otro lado, un aspecto importante a considerar es que dependiendo de la magnitud del sistema que se logre instalar, se puede generar energía para instalaciones de bajo consumo hasta sistemas más complejos con módulos que permitan generar mayores cantidades de energía que representen excedentes sobre las necesidades del proyecto, y puedan ser comercializados y aprovechados por la respectiva empresa prestadora del servicio de energía (Barberá, 2011). (Figura 2).

Figura 2. Esquema de un sistema solar fotovoltaico interconectado a la red eléctrica nacional



Fuente: Sauffer Smart Energy (2019)

Estos excedentes ingresan a una red denominada Sistema Interconectado Nacional (SIN), que se refiere a un sistema compuesto por una serie de redes de generación, transmisión distribución y comercialización, con el fin de llevar la energía desde las centrales de generación hasta los domicilios de los usuarios, complementado por el Sistema de Transmisión Nacional y el Sistema de Transmisión Regional (La Guía Solar, 2019), siendo posible abastecer a gran parte de la población. Sin embargo, aunque el SIN provee cerca del 98% del consumo total de energía. En materia de cobertura del servicio para el 2015 únicamente abastecía al 48% del territorio nacional, mayoritariamente en la Región Andina y la Costa Atlántica, panorama que aún deja ciertas zonas del país sin acceso a este servicio, tal y como se evidencia en la *Figura 3*. (Unidad de Planeación Minero Energética, 2015)

Figura 3. Mapa de la cobertura del Sistema Interconectado Nacional (SIN) para el 2016.



Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética (2015)

5.3.5. Oportunidades de la energía fotovoltaica

Una de las más grandes preocupaciones frente al funcionamiento y aprovisionamiento del SIN, es precisamente el componente medioambiental, partiendo de que para el año 2011, la generación de energía eléctrica estaba representada mayoritariamente por centrales hidráulicas (67%), seguida por generación de origen térmico, y solo un 6% de cogeneración, en donde se produce simultáneamente energía térmica con energía eléctrica (Ministerio de Minas y Energía, 2012). Situación que implica la continua realización de proyectos de hidroeléctricas que tal y como lo menciona Hernández (2011): “La instalación y operación de una central hidroeléctrica trae consigo una serie de impactos en el medio ambiente los cuales son en su mayoría negativos”. Ante la necesidad de modificar el régimen de descarga y el cauce natural de los cuerpos de agua, y la construcción de grandes infraestructuras de almacenamiento, se ve directamente afectado el componente físico, biótico y social de la zona de influencia del proyecto, causando una serie de conflictos fuertes que afectan la estabilidad y tranquilidad de la población, y que en muchos casos bajo la realidad de nuestro país, nunca llegan a un convenio justo para todas las partes interesadas (Hernández, 2011).

Es aquí donde los sistemas fotovoltaicos de generación distribuida podrían intervenir positivamente sobre el panorama energético del país, ya que además de los incontables beneficios ambientales suscitados previamente, según la UPME, significarían una reducción aproximada del 5% del aprovisionamiento por parte del SIN (aproximadamente unos 5000 megavatios), teniendo en cuenta que para el año 2018, se incrementó en un 32% el registro de proyectos de producción de energías limpias, incluyendo 273 de relacionados con sistemas fotovoltaicos (La Guía Solar, 2019), de los cuales 184 están certificados para recibir los beneficios tributarios establecidos en la Ley 1215 de 2008, “exonerando a los cogeneradores de energía de pagar la contribución de 20% sobre la energía que generen para su consumo, además de otros incentivos tributarios reglamentados en la Ley 1715 de 2014” (Báez & Forero, 2018).

Punto que juega un rol fundamental, ya que con la intención de promover la gestión eficiente de la energía, reducir la emisiones de gases de efecto invernadero y contribuir con la seguridad referente al abastecimiento energético, se han desarrollado este tipo de mecanismos legales para fomentar el uso de las FNCE, dentro de los cuales se incluyen: una reducción en la renta anual de aquellos que inviertan en este tipo de tecnologías, por un plazo de 5 años y hasta un monto del 50% de la inversión realizada; Además, todos los equipos, elementos e infraestructura destinada a proyectos de generación de energía con FNCE, estarán exentos de IVA y derechos de importación arancelarios (Hoyos, 2018).

5.3.6. Cambio Climático - Emisiones de Gases de Efecto Invernadero

Como se mencionó anteriormente, el cambio climático es evidentemente una creciente problemática mundial que ha aunado los esfuerzos e intereses de varios de los países más poderosos de todo el mundo, coordinando espacios como las distintas Convenciones Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en donde se evalúan los escenarios venideros de tal forma que sea posible que se logren adoptar medidas que realmente contribuyan a la adaptación a este fenómeno en un momento tan decisivo (Organización de las Naciones Unidas, 2019).

En este contexto, Colombia se posiciona como uno de los países más vulnerables ante el cambio climático, teniendo en cuenta factores bióticos, socioeconómicos y geográficos que ponen en riesgo la sostenibilidad de su desarrollo (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019). Ante esto, el país ha demostrado un enorme compromiso desplegando un marco normativo que le permita adoptar eficientemente los Objetivos de Desarrollo Sostenible, y fortalecer a nivel sectorial y territorial las capacidades de respuesta para garantizar la resiliencia ante el cambio climático. (Grupo Bancolombia, 2019)

A tal punto que en el año 2018 Colombia fue reconocido por la Asociación Internacional de Comercio de Emisiones (IETA) y la Asociación de Mercados e Inversión Climática (CMIA) entre los territorios que han progresado considerablemente en la inclusión de instrumentos para ponerle un precio al carbono y participar en el desarrollo de un mercado para confrontar el cambio climático (Carbon Pricing Leadership Coalition Secretariat, 2018). Aspecto sumamente importante, teniendo en cuenta la preocupante proyección realizada a partir de las emisiones de GEI hasta el 2010, que apuntaba que para el 2030 se iba a tener un aumento de hasta el 50% en las emisiones totales del país, es decir aproximadamente 335 millones de toneladas de CO₂-eq. (Grupo Bancolombia, 2019)

5.4. Marco Normativo

5.4.1. Normatividad Nacional

Aunque desde hace algunas décadas el Gobierno Nacional ha tenido intenciones de innovar en el campo de la gestión energética eficiente, impulsando el uso racional de la energía, ha sido una labor complicada que no ha tenido como resultado el escenario más conveniente para este tipo de tecnologías. No obstante, paulatinamente se ha logrado construir un marco normativo que en términos generales, favorece la implementación de tecnologías a partir de FNCE, teniendo en cuenta los extraordinarios beneficios sociales y ambientales que se pueden generar, alcanzando puntos culminantes como la Ley 1715 del 2014, complementada por una multiplicidad de normas que buscan fortalecer cada vez más las facultades gubernamentales para encaminar el desarrollo del país hacia la sostenibilidad ambiental (*Tabla 3*). (Celsia, 2018)

Tabla 3. Normatividad nacional que enmarca la propuesta para la implementación de un sistema fotovoltaico en vivienda de interés social.

| Normatividad Nacional | | | |
|------------------------------|---|--|---------------|
| Marco Legal | Descripción | Contribución al proyecto | Aplicabilidad |
| | Regula la integración de las energías renovables no | Promover la gestión eficiente de la energía, así | |

| | | | |
|-----------------------------|--|--|---|
| Ley 1715 de 2014 | convencionales al Sistema Energético Nacional, con el fin de promover el desarrollo, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y aumentar la eficiencia energética para garantizar la seguridad en cuanto al abastecimiento de energía. | como la seguridad del abastecimiento energético. Incentivar la inversión por parte del sector privado en proyectos relacionados con energías no convencionales, por medio de beneficios tributarios. | Capítulo II - Disposiciones para la generación de electricidad con FNCE y la gestión eficiente de la energía. Capítulo III - Incentivos a la inversión en proyectos de fuentes no convencionales de energía |
| Decreto 1077 de 2015 | Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio | Define en términos generales el concepto de Vivienda de Interés Social (VIS). | Título 1, Capítulo 1 - Subsidio familiar de vivienda de interés social para áreas urbanas |
| Decreto 1285 de 2015 | Dicta los lineamientos de construcción sostenible para edificaciones | Establece los parámetros a cumplir para las edificaciones sostenibles en materia de ahorro de agua y energía. Abarcando también la certificación de las medidas de construcción sostenible, punto al cual se debe aspirar. | Artículo 2 - Definiciones Artículo 5 -Porcentaje mínimo de ahorro Artículo 7 - Certificación de la aplicación de las medidas de construcción sostenible |
| Ley 1955 de 2019 | Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 “Pacto por Colombia pacto por la equidad”. | Busca la renovación tecnológica en materia energética. Además, de dinamizar el mercado por medio de la oportunidad de inclusión a nuevos actores en la prestación del servicio de energía. También, se quiere asegurar un suministro de energía sostenible, resiliente al cambio climático y responsable con el medio ambiente. Aspecto que incluye la consolidación de las fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER). | Capítulo VIII - Pacto por la calidad y eficiencia de servicios públicos: agua y energía para promover la competitividad y el bienestar de todos. Capítulo IX - Pacto por los recursos minero energéticos para el crecimiento sostenible y la expansión de oportunidades. |
| Resolución UPME 804 de 2017 | Actualiza el factor marginal de emisión de gases de efecto invernadero del Sistema Interconectado Nacional, (0,367 ton CO2/MWh), aplicable a los proyectos de Mecanismos | Establece un factor clave para el cálculo de emisión de gases de efecto invernadero, valor de gran utilidad para el desarrollo de la evaluación ambiental del proyecto. | Artículo 1. Factor marginal de emisión de gases de efecto invernadero del Sistema Interconectado Nacional |

| | | | |
|--|---|--|---|
| | de Desarrollo Limpio (MDL). | | |
| Resolución 030 de 2018 (CREG) | Por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional. | Dicta relaciones importantes entre los AGPE (Autogeneradores a pequeña escala) y el Sistema Interconectado Nacional, estableciendo los requisitos necesarios para hacer parte del mismo. | Título 1 - Generalidades Capítulo 2 - Condiciones para la conexión |
| Ley 1665 de 2013 | Por medio de la cual se aprueba el “Estatuto de la Agencia Internacional de Energías Renovables (Irena)”, hecho en Bonn, Alemania, el 26 de enero de 2009. | Representa un gran avance en materia energética para el país, al ratificar un tratado que tal y como lo menciona en sus líneas, “tiene un firme convencimiento de que las energías renovables ofrecen oportunidades incalculables para abordar y mitigar de forma gradual los problemas derivados de la seguridad energética y la inestabilidad de los precios de la energía... Así contribuir en la reducción de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, lo que impulsa una economía baja en carbono y estabiliza los sistemas climáticos.” (Congreso de la República, 2013) | Capítulo VI - Políticas y planes energéticos nacionales Capítulo VII - Fuentes no convencionales de energía en Colombia Capítulo VIII - Importancia para Colombia de ratificar el Estatuto de la IRENA. |
| 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. | Dicta lineamientos importantes en relación con los Programas de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PROURE), una herramienta muy importante dentro del contexto energético del país. (Congreso de la República, 2001) | Artículo 1 - URE Artículo 3 - Definiciones |
| Plan Energético Nacional - Ideario Energético 2050 | Explica en materia energética las proyecciones que tiene el país, y da luces del papel que juegan las energías renovables en el sector, su viabilidad y las oportunidades que implica | Evidencia la disminución de las tecnologías renovables y el consecuente aumento en su uso, en donde la solar y la eólica se posicionan como las más empleadas. Además, explica la | Numeral 2. El panorama energético nacional: Las nuevas tendencias energéticas Numeral 4. Ideas para una política energética de largo |

| | | | |
|-------------------------------|---|---|--|
| | su aprovechamiento correcto | necesidad de diversificar la canasta energética, punto en el cual la energía fotovoltaica juega un papel fundamental. Realizando proyecciones, partiendo de la inclusión de las FNCE en la Ley 1715 de 2014. | plazo |
| Resolución 181294 de 2008 | Por la cual se reglamenta el cumplimiento obligatorio del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE, para la vivienda de interés social. | Menciona aspectos a considerar en el momento de implementar alguna instalación eléctrica en viviendas de interés social, punto que incluye los sistemas fotovoltaicos. | Capítulo II - Requisitos técnicos esenciales Capítulo VII - Requisitos específicos para instalaciones de uso final Capítulo VIII - Prohibiciones |
| Resolución 281 de 2015 (UPME) | Define el máximo de potencia de autogeneración a pequeña escala, que en este caso es de 1 MW. (UPME, 2015) | Al fijar la capacidad máxima instalada en el sistema de generación, se puede clasificar al generador como uno de pequeña o de gran escala. | Artículo 1 |
| CONPES 3700 de 2011 | Estrategia Institucional para la Articulación de Políticas y Acciones en Materia de Cambio Climático en Colombia | Desarrolla a nivel nacional todo el contexto relacionado con los GEI y los esfuerzos del país en busca de la mitigación del cambio climático, incluyendo algunas estrategias y mecanismos presupuestados, como los MDL. | Capítulo I. Introducción Capítulo II. Diagnóstico Capítulo IV. Estrategias |

Fuente: Autores (2019)

5.4.2. Normatividad Internacional

Adicionalmente, teniendo en cuenta la preocupación mundial por el calentamiento global y las irreversibles alteraciones que el ser humano ha causado en las últimas décadas, se han venido desarrollando espacios como las Conferencias de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, con el fin de sumar esfuerzos y establecer compromisos que permitan alcanzar los objetivos fijados frente a las tendencias del desarrollo, específicamente en busca de la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (Tabla 4). Punto en el cual, tal y como se estableció en las conclusiones de la COP24 del año 2018:

“Se enfatiza que la reducción de emisiones en todos los sectores, transición energética, urbana, de territorio y sistemas industriales, así como los cambios en el comportamiento humano, son cruciales para limitar el calentamiento global ... mientras que se logra un adaptación a sus consecuencias,

reduciendo la vulnerabilidad y alcanzando un desarrollo sostenible". (Council of the European Union, 2018)

Tabla 4. Normatividad nacional que enmarca la propuesta para la implementación de un sistema fotovoltaico en vivienda de interés social.

| Normatividad Internacional | | | |
|---|------|--|--|
| Marco Legal | Año | Descripción | Contribución al proyecto |
| Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP24) | 2018 | Establece medidas de mitigación, reducción y adaptación al cambio climático enfocándose en la emisión de GEI. | Abre nuevas oportunidades en el mercado al elevar al más alto nivel la transición energética como prioridad internacional. |
| Carta Internacional de la Energía | 2015 | Cooperación en materia energética, seguridad energética y preocupación por el medio ambiente. Viabilidad económica | Impulsar un mercado competitivo en servicios y tecnologías energéticas, que, por ende, representa una reducción en los costos, haciendo más asequibles este tipo de tecnologías. |
| Protocolo de Gases de Efecto Invernadero | 2014 | Herramienta que permite entender, cuantificar y manejar las emisiones de los gases de efecto invernadero. (India GHG Program, 2015) | Brinda un panorama completo en términos de GEI, y aborda campos importantes para la lucha contra el cambio climático como lo es el cálculo de la huella de carbono. |
| Protocolo de Kioto | 1997 | Es considerado como un avance primordial en materia de cambio climático, en donde se compromete a los países industrializados a buscar estabilizar sus emisiones de GEI, disminuyendo consecuentemente su impacto sobre el medio ambiente. | Promueve la creación de un marco normativo amplio referente a temas ambientales. Incentivó la creación del mercado de carbono, que se |

| | | | |
|--|--|---|--|
| | | Además, atribuye claramente la relación entre cambio climático y GEI a la quema indiscriminada de combustibles fósiles. | encuentra estrechamente relacionado con la huella de carbono |
|--|--|---|--|

Fuente: Autores (2019)

5.5. Marco Geográfico

Según la Ficha Básica Estadística del 2018 para el municipio de Mosquera, este hace parte del departamento de Cundinamarca en el altiplano cundinamarqués nacido desde la Sabana de Bogotá por la zona occidental, a 2.590 metros sobre el nivel del mar, limita al norte con Funza y Madrid, al Sur con Bosa y Soacha, al Oriente con Localidad de Fontibón y parte de Funza y al Occidente Bojacá y Madrid, el código del DANE es 25473 como municipio de segunda categoría, posee un área de 107 con un porcentaje de área urbana de 9,21 % y rural de 90,79 %. Sin embargo, su población se distribuye como un 96% urbana y un 4 % rural de los 91.282 habitantes (Alcaldía de Mosquera, 2018). Como lo muestra la Figura 4 es predominante el estrato socioeconómico 2 y 3.

Figura 4. Clasificación socioeconómica de la población con SISBEN del municipio de Mosquera, Cundinamarca



Fuente: Alcaldía de Mosquera (2019)

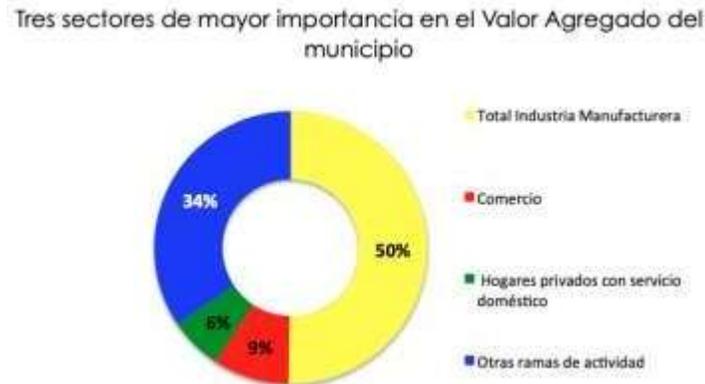
De acuerdo con la Ficha Básica Estadística del municipio de Mosquera, la población del municipio cuenta con servicios públicos como la energía eléctrica, el alcantarillado, acueducto, gas natural y telefonía como lo muestra la *Figura 5*, que aunque son datos de hace más de 10 años, son los últimos reportados en los informes del municipio. (Alcaldía de Mosquera, 2019). Sin embargo, los datos se concentran en los centros urbanos así como la distribución de las actividades económicas del municipio, siendo en este el mayor eje productivo la industria manufacturera como lo muestra la *Figura 6*.

Figura 5. Cobertura de servicios públicos de la vivienda en el municipio de Mosquera, Cundinamarca



Fuente: DANE (2006)

Figura 6. Distribución de los sectores según el tipo de actividad económica en el municipio de Mosquera, Cundinamarca



Fuente: Departamento Nacional de Planeación (2019)

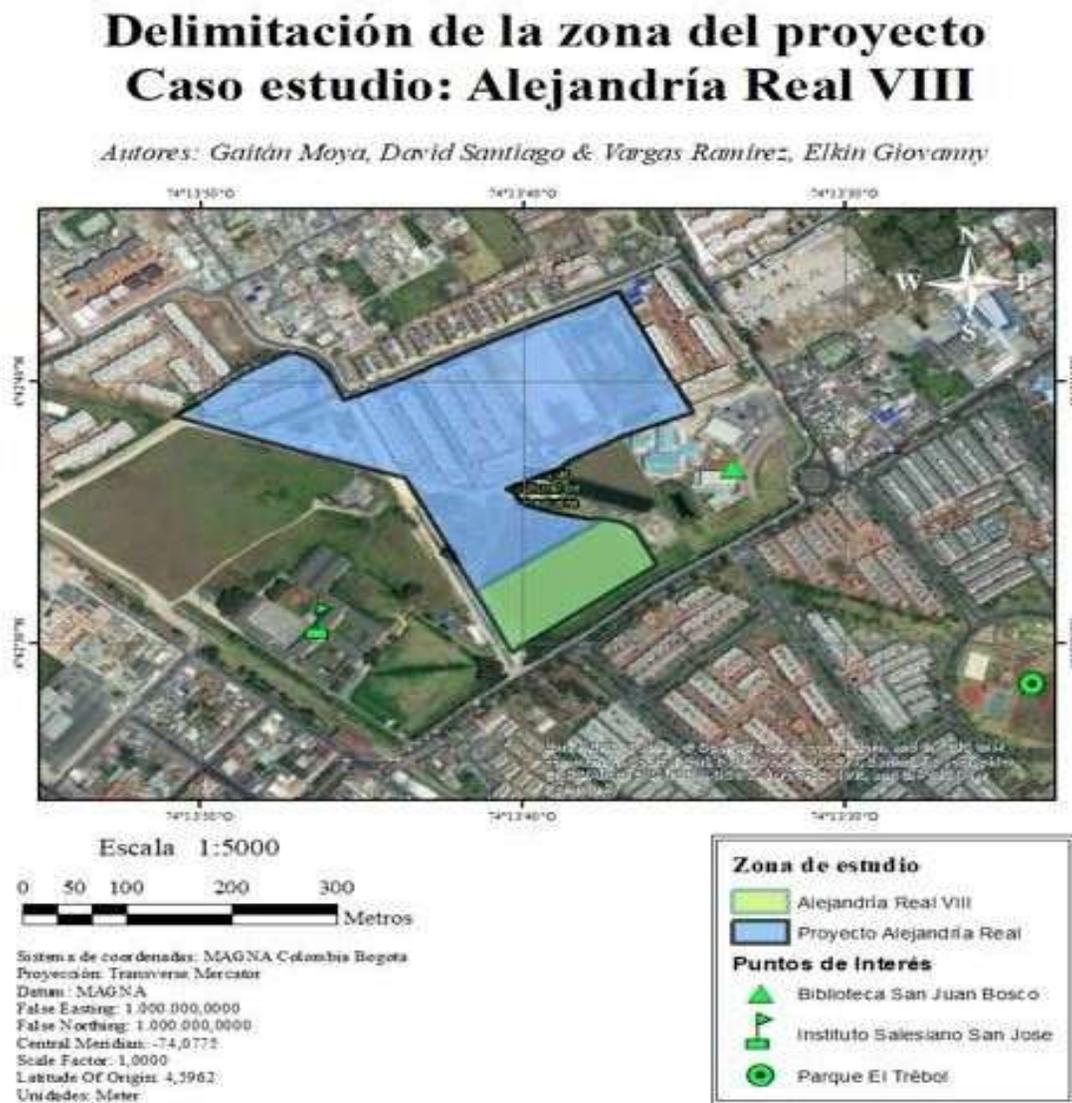
En su estructura biofísica posee un clima acorde al de montañas tropicales (CW) según la clasificación climática de Koppen con una temperatura promedio de 14° C correspondientes a un clima frío, la zona se encuentra en posición de sotavento del margen occidental, lo cual genera una alta nubosidad, por eso los aguaceros se encuentran con intensidades alrededor de 10 mm por hora y logran precipitaciones de hasta 1000 mm por mes en la cuenca alta del río Subachoque, dicho comportamiento es bimodal en meses de abril y octubre. La humedad relativa varía en un rango de 74 % a 90 % (Alcaldía de Mosquera, 2000).

Por otro lado, su estructura hidrológica principal viene desde las grandes cuencas de la región hidrológica del Río Magdalena y Río Meta, puntualmente con el Río Bogotá, Río Negro, río Suárez, Río Minero, Río Ubaté, Río Sumapaz, Río Guavio, Río Humea, Río Guatiquía y Río Machetá. Mosquera pertenece específicamente a la cuenca mayor del Río Bogotá alineado al Río Bojacá, Subachoque y Balsillas (Alcaldía de Mosquera, 2019).

Los principales problemas en los componentes suelo, agua y aire se deben principalmente a la erosión severa de los suelos en ecosistemas de bosque xerofítico y estratos arbustivos, compactación de suelos para la ganadería, uso de agroquímicos para la agricultura, uso de gran cantidad de agua para la floricultura, la expansión urbana hacia ecosistemas como humedales, lagunas y zonas de reserva, el manejo de los residuos sólidos, la contaminación a los cuerpos de agua, eutrofización de las lagunas, la pérdida de comunidades en los ecosistemas, las cargas de materia orgánica y nutrientes en el agua que agotan el oxígeno (Alcaldía de Mosquera, 2019).

Así como la invasión de las rondas de los ríos, la explotación de los pozos subterráneos de agua, la contaminación del aire por fuentes fijas y móviles, los olores ofensivos, el aporte de gases de efecto invernadero a la atmósfera por las actividades desarrolladas y el agotamiento de los recursos naturales como la flora y fauna (Alcaldía de Mosquera, 2019). El proyecto se llevará a cabo en el municipio de Mosquera Cundinamarca en el conjunto residencial Alejandría Real VIII, ubicado en la avenida Las Palmas, carrera 3 con calle 7 en el centro de Mosquera. Limitando al costado sur con el colegio Salesiano, al costado norte con la biblioteca municipal San Juan Bosco y tanto al oriente como el occidente con casas urbanas no mayores a tres pisos de altitud. (Figura 7)

Figura 7. Mapa de delimitación de la zona de estudio del proyecto. Caso estudio: Alejandría Real VIII



Fuente: Autores (2019)

5.6. Marco Institucional

El proyecto busca impactar desde la planificación y construcción del proyecto con la información aportada de la constructora Urbansa S.A. la cual pertenece al sector de la construcción según su código CIU 4111 de la cámara de comercio de Bogotá el cual lo describe de la siguiente manera:

“Actividades corrientes y especializadas de construcción de edificios y obras de ingeniería civil. En ella se incluyen las obras nuevas, reparaciones, ampliaciones y reformas, el levantamiento in situ de edificios y estructuras prefabricadas y también la construcción de obras de carácter temporal. Las actividades corrientes de construcción abarcan la construcción completa de viviendas, edificios de oficinas, locales de almacenes y otros edificios públicos y de servicios, locales agropecuarios, etc., y la construcción de obras de ingeniería civil, como carreteras, calles, puentes, túneles, líneas de ferrocarril, aeropuertos, puertos y otros proyectos de ordenamiento hídrico, sistemas de riego, redes de alcantarillado, instalaciones industriales, tuberías y líneas de transmisión de energía eléctrica, instalaciones deportivas, etcétera. Estas actividades pueden llevarse a cabo por cuenta propia, a cambio de una retribución o por contrata. La ejecución de partes de obras, y a veces de obras completas, puede encomendarse a subcontratistas. Se clasifican en esta sección las unidades a las que corresponde la responsabilidad general de los proyectos de construcción. También se incluyen las actividades de reparación de edificios y de obras de ingeniería civil.” (Anexo 5)

La constructora del proyecto es Urbansa S.A. quien según la información empresarial pública código 31902955700001 del 25 de julio de 2019 de la cámara de comercio de Bogotá se encuentra registrada con el nombre de Urbanizadora Santa Fe de Bogotá Urbansa S.A. con Nit 800136561-7 la cual tiene el número de matrícula 00464512 de 1991 con un reporte de activos superiores a los trescientos cincuenta mil millones de pesos (350.000.000.000) por lo cual el tamaño de la empresa es “Grande”, adicionalmente, tiene por objeto social:

- ❖ El estudio, diseño, planeación, contratación y ejecución de obras civiles y construcciones, públicas o privadas.
- ❖ La prestación de servicios técnicos en los diferentes campos de la ingeniería civil, de asesoría y de interventoría de obras.
- ❖ La realización de trabajos, estudios y proyectos en materia de urbanización y arquitectura.
- ❖ La promoción de obras y el estudio, programación y administración de planes promocionales para el desarrollo de inmuebles y para la construcción de urbanizaciones, parcelaciones, centros de vivienda, industriales o comerciales.
- ❖ Promover, desarrollar o ejecutar inversiones en proyectos inmobiliarios de todo tipo, para lo cual podrá proceder a la adquisición a cualquier título, de bienes inmuebles con destino a parcelarlos, urbanizarlos, construirlos, mejorarlos y enajenarlos.
- ❖ La adecuación, parcelación y urbanización de inmuebles y la administración y enajenación de predios o unidades resultantes de su fraccionamiento.
- ❖ La prestación de todos los servicios inherentes a la actividad inmobiliaria y al campo de los bienes raíces.
- ❖ La promoción y / o constitución o asociación en o con empresas que tengan como objeto las actividades o negocios a que se refiere este artículo.” (Anexo 5)

Dicha entidad tiene como misión la promoción, gerencia, construcción y venta de desarrollos inmobiliarios propios, en asociación o de terceros. Su lugar de acción primordial es la ciudad de Bogotá, pero cuenta con plena independencia para trabajar fuera de ella. Urbansa S.A. producirá amplia satisfacción, cumplimiento y calidad a sus clientes; desarrollo y crecimiento personal a sus colaboradores; y rentabilidad y crecimiento de la inversión a sus accionistas.”. Dentro de los aspectos positivos que relacionan el trabajo con los objetivos de la empresa se encuentra el certificado Lean Construction el cual propone estándares de eficiencia durante todo el proceso de construcción. Este sistema significa una mejora en los plazos de ejecución y aumento en la confiabilidad de los proyectos valiéndose de mediciones metódicas de la productividad y optimización de la logística de cada obra (Urbansa, 2018).

Cuentan con el Sello de Gestión Sostenible Plata el cual es un reconocimiento obtenido en el Premio Responsabilidad Ambiental Colombia Sostenible del 2013. El sello es un premio al alto compromiso de Urbansa respecto al involucramiento de sistemas basados en criterios ambientales y de eco eficiencia, diseño bioclimático y procesos de construcción sostenible (Urbansa, 2018).

Figura 8. Logo institucional de Urbansa S.A.



Fuente: (Urbansa S.A., 2018)

5.7. Marco Metodológico

5.7.1. Enfoque

El proyecto de investigación adoptó un enfoque mixto, en donde se encuentran una serie de variables cuantitativas relacionadas con recursos ambientales como la radiación solar y el brillo solar, además del análisis de planos acotados del proyecto de vivienda en estudio, a partir de los cuales se determinó el número de paneles fotovoltaicos de la propuesta y con esto, el impacto ambiental por medio del cálculo de la huella de carbono. Así mismo, luego de realizar varias cotizaciones con empresas calificadas en el mercado, se realizaron estimaciones para poder llevar a cabo una evaluación financiera del proyecto y determinar su viabilidad de implementación. Por otro lado, se tuvo en cuenta un componente cualitativo mediante el cual justifica el hecho de haber desarrollado la propuesta en proyectos de

vivienda de interés social, además de ser un factor de escogencia de los paneles fotovoltaicos y demás elementos del sistema propuesto.

5.7.2. Alcance

Adicionalmente, la investigación incluyó un componente exploratorio que permitió la recopilación de información relacionada con las fuentes de energía no convencionales y las posibles alternativas de solución enmarcadas en el contexto socioeconómico del país; que se complementó con un componente correlacional en donde se determinó la aplicabilidad y pertinencia de la alternativa desarrollada, que forman en conjunto la fase inicial de identificación de la problemática abordada.

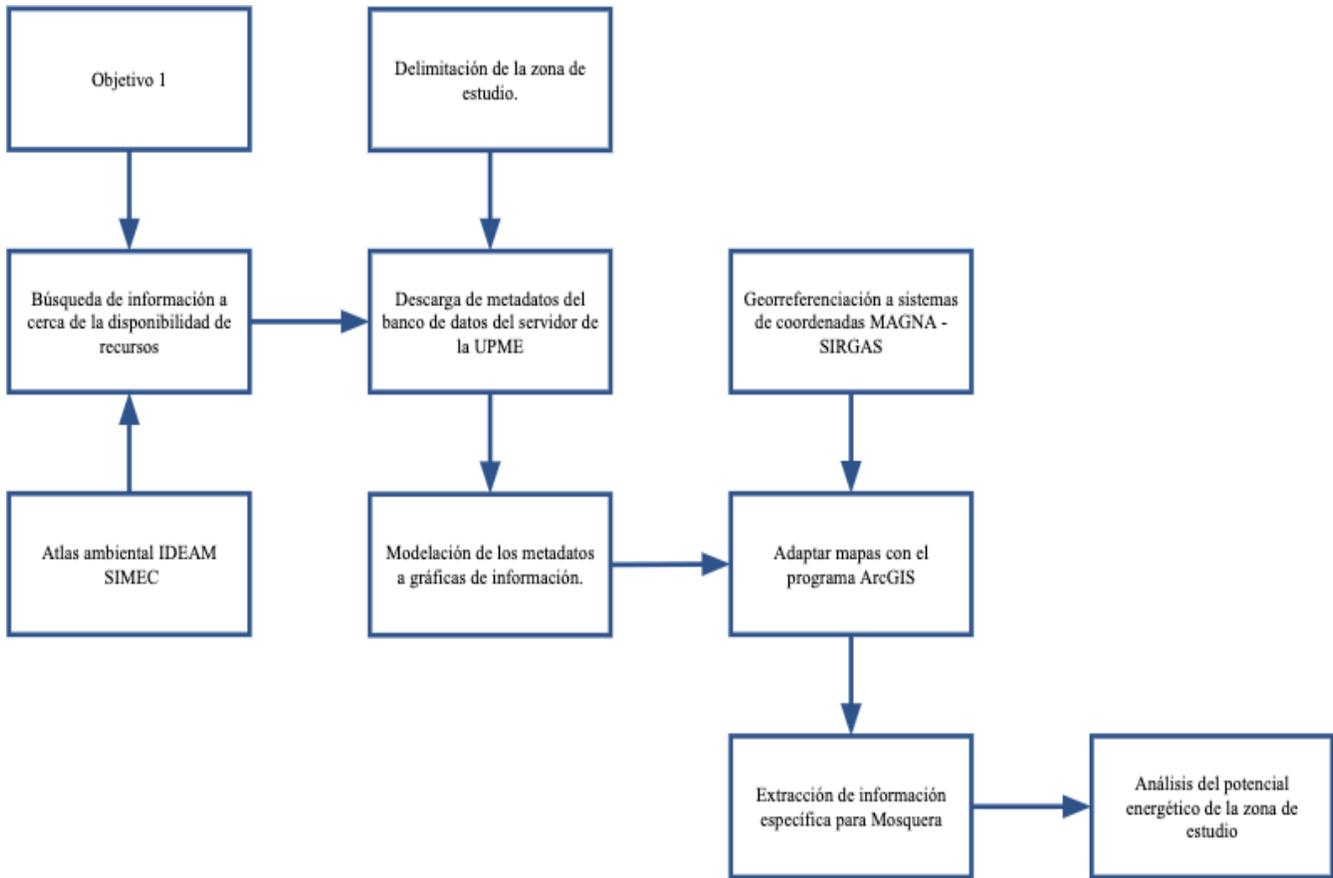
Secuencialmente, a partir del proceso metodológico general para un proyecto de investigación, se aborda una fase de diagnóstico en donde se deben determinar las limitaciones del sistema e identificar las variables a analizar, en este caso, se incluyen aspectos ambientales como la disponibilidad de recursos en Mosquera según su ubicación geográfica, así como aspectos técnicos como el requerimiento energético de un núcleo familiar y la capacidad de abastecimiento de los equipos disponibles en el mercado. Así mismo, se consideró la hipótesis a corroborar en el desarrollo del proyecto, que para este caso en específico, se refiere a que “Las viviendas de interés social pueden sostener los sistemas de autogeneración de energía cuando se plantea una gestión acorde a la realidad socioeconómica de la población”.

Finalmente, es importante resaltar que el desarrollo de este proyecto no representó impactos ambientales considerables, más allá de una pequeña huella de carbono debido al uso de computadores y equipos electrónicos. Hecho por el cual, no fue necesario solicitar permisos adicionales relacionados con la intervención sobre el medio ambiente.

5.7.3. Objetivo específico No. 1

En primer lugar, se realizó una revisión bibliográfica en distintas bases de datos institucionales, que permitiera construir un panorama del municipio de Mosquera en términos de disponibilidad de recursos ambientales. Para ello fue considerada información del Atlas Ambiental del IDEAM, y del Sistema de Información Minero Energético (SIMEC) de la UPME. Posteriormente, se realizó una delimitación de la zona de estudio mediante el análisis e interpretación geoespacial por medio del sistema de información geográfica ArcGis 10.5., en donde se georreferenció la zona de estudio, y se utilizaron las capas base extraídas del IDEAM para construir material cartográfico que mostrará específicamente el potencial de energía solar basado en la disponibilidad de radiación y brillo solar en la zona de estudio en el municipio de Mosquera (*Figura 9*).

Figura 9. Diseño metodológico del primer objetivo específico



Fuente: Autores (2019)

5.7.4. Objetivo específico No. 2

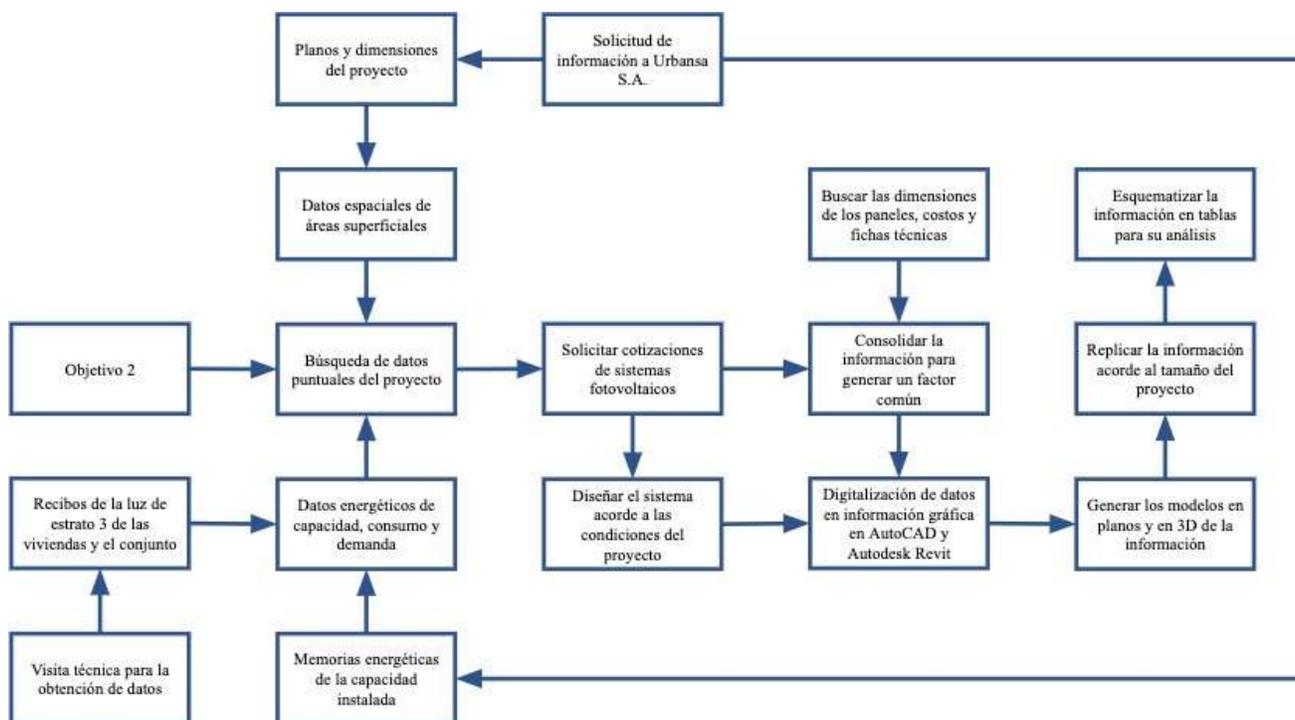
Para el planteamiento del sistema fotovoltaico además de los insumos provistos por las actividades del primer objetivo específico, se realizaron una serie de cotizaciones de los paneles fotovoltaicos ofrecidos por más de diez empresas del mercado nacional, de las cuales se elaboró un consolidado que permitiera llevarlas a un punto comparable para poder tomar una elección adecuada, punto para el cual fue necesario apoyarse en un proceso de revisión bibliográfica relacionada con el funcionamiento de las celdas fotovoltaicas y la generación de energía.

Luego, fue necesario solicitar información confidencial a la empresa Urbansa S.A., de donde se pudieron obtener planos acotados con las medidas reales de las cubiertas de los edificios, posibilitando

el cálculo del número de paneles fotovoltaicos a instalar, teniendo en cuenta sus dimensiones, así como sus propiedades técnicas y el requerimiento energético del proyecto de vivienda. Además, se coordinó una reunión en las instalaciones de la constructora Urbansa S.A. en donde fue posible conocer con mayor profundidad el panorama de sostenibilidad ambiental de la empresa, así como sus expectativas y visión en cuanto a la innovación tecnológica en el mercado nacional.

Posteriormente, para el diseño del sistema fotovoltaico se efectuaron cálculos algebraicos considerando el espacio disponible dado por los planos acotados del proyecto y ciertos estándares de construcción relacionados con el espacio aprovechable, mediante los cuales se determinó el número de paneles fotovoltaicos a implementar. Y se utilizó el software de diseño y modelación AutoCAD y Autodesk REVID para determinar la distribución y localización de los paneles fotovoltaicos sobre las cubiertas del proyectos de vivienda de interés social Alejandría Real VIII. (Figura 10)

Figura 10. Diseño metodológico del segundo objetivo específico



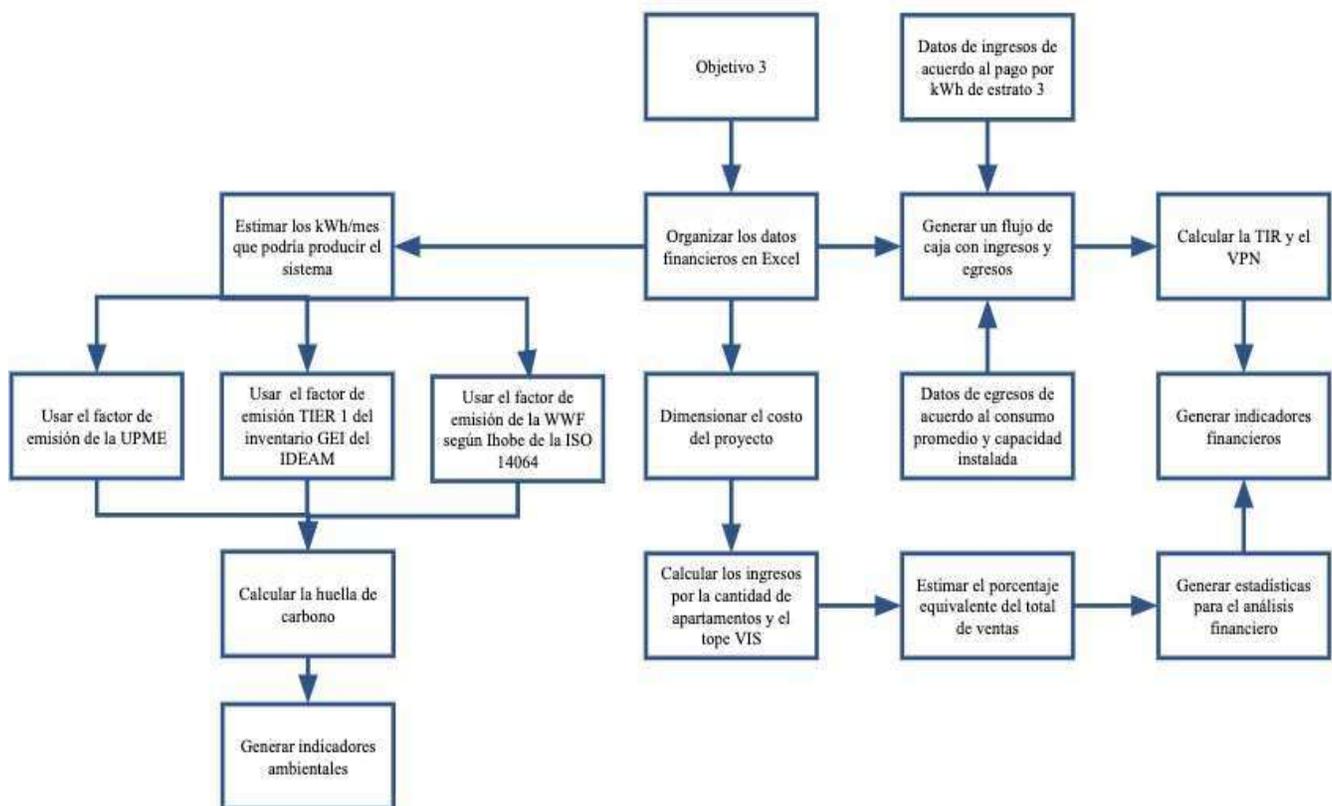
Fuente: Autores (2019)

5.7.5. Objetivo específico No. 3

Inicialmente para la evaluación financiera, se utilizaron indicadores representativos como en este caso el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), con el fin de evaluar los costos y valorar los beneficios del proyecto, considerando su viabilidad de implementación y la rentabilidad de la inversión.

Luego, para la evaluación ambiental se empleó la metodología con 3 factores de emisión, el primero con TIER 1 del inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) del IDEAM, el segundo a partir del factor de emisión propuesto en la Resolución 804 de 2017 de la Unidad de Planeación Minero Energética UPME y el tercero con el factor de emisión de la World Wild Fund (WWF) según Ihobe (2012) en su “Guía metodológica para la aplicación de la norma UNE-ISO 14064-1:2006 para el desarrollo de inventarios de Gases de Efecto Invernadero en organizaciones”. Se realizó el cálculo de la huella de carbono con los factores de emisión o absorción específicos de cada país, determinados a partir de investigaciones rigurosas (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2014), en el caso del IDEAM de 0,21 kgCO₂/kWh, de la UPME de 0,367 kgCO₂/kWh y de la WWF de 0,166 kgCO₂/kWh. Posteriormente, teniendo en cuenta los cálculos referentes al número de paneles fotovoltaicos necesarios desarrollados en el diseño del sistema, se puede estimar eficazmente la huella de carbono y consecuentemente el impacto ambiental del proyecto propuesto. (Figura 11)

Figura 11. Diseño metodológico del tercer objetivo específico



Fuente: Autores (2019)

5.8. Plan de trabajo

Para efectos de organización y consecución paulatina de los objetivos del proyecto, se planteó un esquema que permite monitorear la realización de las actividades planeadas, llevando con claridad un registro que permita identificar los productos obtenidos y los componentes pendientes de realizar, tal y como se evidencia en la *Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7.*

5.8.1. Primer objetivo específico

Tabla 5. Informe de avance de actividades relacionadas con el primer objetivo específico

| OBJETIVO ESPECÍFICO No. 1 | DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS Y LA DISPONIBILIDAD DE RECURSOS AMBIENTALES EN LA ZONA DE ESTUDIO | | |
|--|---|---|---|
| Actividad Planeada | Técnica | Instrumento | Producto o resultado obtenido |
| Recopilación de información cartográfica y conceptual de la plataforma virtual del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y del Sistema de Información Minero Energético (SIMEC) | Revisión bibliográfica | Geovisor del Atlas Ambiental del IDEAM | Información cartográfica de radiación solar |
| | | Geovisor del Sistema de Información Minero Energético | Información cartográfica de brillo solar |
| Análisis y comparación de la información recopilada | Análisis documental | Computador | Informe sobre el estado actual de los recursos ambientales disponibles en la zona de estudio, aspecto clave para la consecución de las siguientes fases del proyecto. |

| | | | |
|--|---|----------------------|--|
| Realización de mapas en ArcGis para delimitar la zona de estudio y especificar la disponibilidad de energías en dicha área | Análisis e interpretación geoespacial de sistemas de información geográfica | Software ArcGis 10.5 | Mapa de delimitación de la zona de estudio (Figura 7) Mapa de brillo solar para el municipio de Mosquera (Figura 13) Mapa de radiación solar para el municipio de Mosquera (Figura 12) |
|--|---|----------------------|--|

Fuente: Autores (2019)

5.8.2. Segundo objetivo específico

Tabla 6. Informe de avance de actividades relacionadas con el segundo objetivo específico

| Objetivo Específico No. 2 | PLANTAR UN SISTEMA FOTOVOLTAICO ACORDE A LAS CARACTERÍSTICAS ECONÓMICAS Y LA OFERTA TECNOLÓGICA | | |
|---|---|--|---|
| Actividad Planeada | Técnica | Instrumento | Producto o resultado obtenido |
| Solicitar la cotización de los paneles solares disponibles en el mercado. | Comunicación escrita y telefónica con distintas empresas capacitadas del mercado nacional | Cotizaciones | Tabla de relación de cotizaciones referentes a los distintos tipos de paneles solares |
| Realizar una revisión bibliográfica relacionada con el funcionamiento de las celdas fotovoltaicas y la generación de energía. | Revisión bibliográfica | Google Académico, bases de datos y páginas institucionales o gubernamentales | Informe escrito condensando la información extraída, que será de gran utilidad para el desarrollo y comprensión de la propuesta en realización. |

| | | | |
|---|---|---|--|
| <p>Solicitar información específica del proyecto a la empresa Urbansa S.A. por medio de una carta de confidencialidad.</p> | <p>Comunicación directa con la empresa.</p> <p>Reuniones con personal técnico de Urbansa S.A.</p> | <p>Carta de presentación de la Universidad El Bosque dirigida hacia la empresa Urbansa S.A. (Anexo 3)</p> | <p>Planos acotados y especificaciones de proyecto Alejandría Real VIII, enfatizando en las cubiertas de los edificios.</p> <p>Información de la sostenibilidad ambiental de la empresa, incluyendo certificaciones ambientales y visión dentro del mercado nacional.</p> |
| <p>Calcular el número de paneles solares necesarios para satisfacer las necesidades del proyecto, a partir del consumo energético teórico dado por Urbansa S.A.</p> | <p>Procedimientos algorítmicos</p> | <p>Software AutoCAD</p> <p>Especificaciones técnicas contenidas en las cotizaciones</p> | <p>Esquema del sistema fotovoltaico correspondiente a los cálculos realizado en el software AutoCAD. (Figura 16) (Figura 17)</p> |

Fuente: (Autores, 2019)

5.8.3. Tercer objetivo específico

Tabla 7. Informe de avance de actividades relacionadas con el tercer objetivo específico

| | | | |
|----------------------------------|--|--------------------|--------------------------------------|
| <p>Objetivo Específico No. 3</p> | <p>Evaluar financiera y ambientalmente el sistema fotovoltaico de generación de energía propuesto.</p> | | |
| <p>Actividad Planeada</p> | <p>Técnica</p> | <p>Instrumento</p> | <p>Producto o resultado obtenido</p> |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Realizar la evaluación financiera del proyecto | Implementación de indicadores financieros (TIR y VPN) | Microsoft Excel | Resultados sobre la viabilidad de implementación, flujo de capital y beneficio financiero esperado del proyecto |
| Realizar el cálculo estimado de la huella de carbono de | Procedimientos algebraicos | Metodología TIER 1 del Protocolo de Gases de Efecto Invernadero | Huella de carbono (kg CO ₂ /kWh) |
| | | Usar el factor de emisión de la WWF según Ihobe de la ISO 14064 | |
| | | Factor de emisión de GEI de la IDEAM | |

Fuente: Autores (2019)

5.9. Cronograma

Por otro lado, es importante tener claridad sobre las actividades generales del proyecto, que servirán como indicadores de la consecución y conclusión de las distintas etapas de la investigación, es por ello, que es pertinente mediante un esquema plantear una relación cronológica que determine una ruta crítica (Tabla 8), y al mismo tiempo, sirva como referente de cumplimiento de las metas y objetivos del caso estudio.

Tabla 8. Cronograma de actividades generales del periodo comprendido entre febrero y noviembre de 2019.

| Cronograma de actividades | Enero | | | | Febrero | | | | Marzo | | | | Abril | | | | Mayo | | | | Junio | | | | Julio | | | | Agosto | | | | Septiembre | | | | Octubre | | | |
|--|-------|---|---|---|---------|---|---|---|-------|---|---|---|-------|---|---|---|------|---|---|---|-------|---|---|---|-------|---|---|---|--------|---|---|---|------------|---|---|---|---------|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Formulación del proyecto | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Formulación de objetivos | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Construcción de marcos de referencia | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | |
| Búsqueda de información para conocer los recursos ambientales disponibles | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Creación de mapas de disponibilidad de recursos energéticos | | | | | | | | | | | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Solicitar la cotización de los paneles solares disponibles en el mercado | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | |
| Realizar una revisión bibliográfica de las celdas fotovoltaicas y la generación de energía | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Dimensionar los requerimientos energéticos del proyecto | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | |
| Solicitar información del proyecto, a la empresa Urbansa S.A. | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | |

6. Aspectos Éticos

El proyecto no aborda aspectos éticos o de gran relevancia que generan dilemas sociales de alto impacto, más allá de la búsqueda de la verdad a través de un trabajo académico investigativo respetando la propiedad intelectual y la diversidad de opiniones; así como el impacto que generó la realización del proyecto, como el uso de recursos naturales para el sostenimiento de los involucrados (agua, energía, uso del suelo, alimentos, emisiones, dinero, tiempo, espacio, etc.) o el uso de la lógica, la razón y el espíritu para la toma de decisiones que lleven a la máxima eficiencia en todos los aspectos.

Debido al tipo de materiales propuestos para el proyecto, se debe mantener la responsabilidad ambiental para el uso de materiales peligrosos contenidos en insumos del sistema, la competencia justa, el cumplimiento a la ley, la reducción de la desigualdad socio económica, la lucha contra el consumismo y la obsolescencia de los equipos y la reducción de los impactos ambientales generados.

7. Resultados

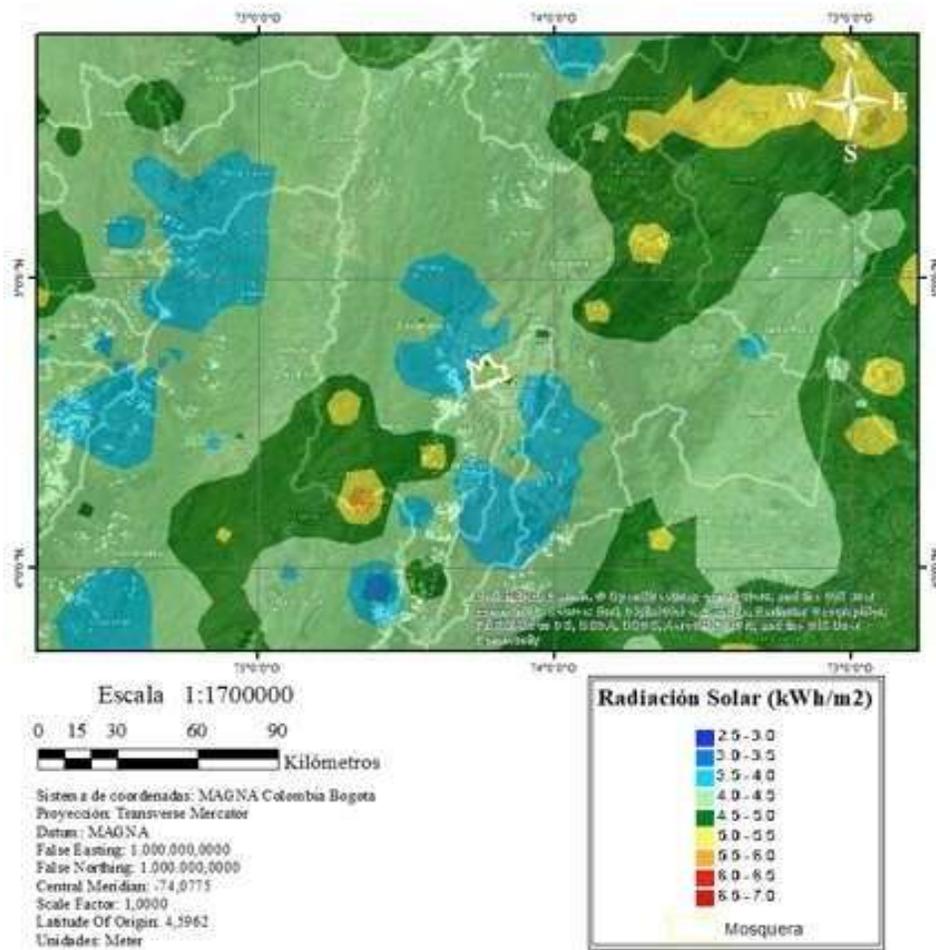
7.1. Resultados primer objetivo específico (Recursos ambientales)

En primer lugar, partiendo de la información disponible en las bases de datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2017), relacionada con la disponibilidad de recursos ambientales en todo el territorio nacional, se extrajo del geovisor una capa específica para radiación solar, y otra para brillo solar en el municipio de Mosquera, Cundinamarca. Que posteriormente, fueron utilizados como mapas base en el software ArcGis, para poder construir material cartográfico a partir del cual fuera se pudieron plantear correlaciones entre la información geográfica y la zona de estudio. A partir de lo anterior, se encontró que en la zona en la que se encuentra ubicado el proyecto de Alejandría Real VIII se presenta una radiación solar promedio de 4 a 4,5 (*Figura 12*), además, de un brillo solar promedio diario de 5 a 6 horas. (*Figura 13*).

Figura 12. Mapa de radiación solar del municipio de Mosquera - Cundinamarca. Caso estudio: Alejandría Real VIII

Radiación solar del municipio de Mosquera - Cundinamarca Caso estudio: Alejandría Real VIII

Autores: Gaitán Moya, David Santiago & Vargas Ramirez, Elkin Giovanni



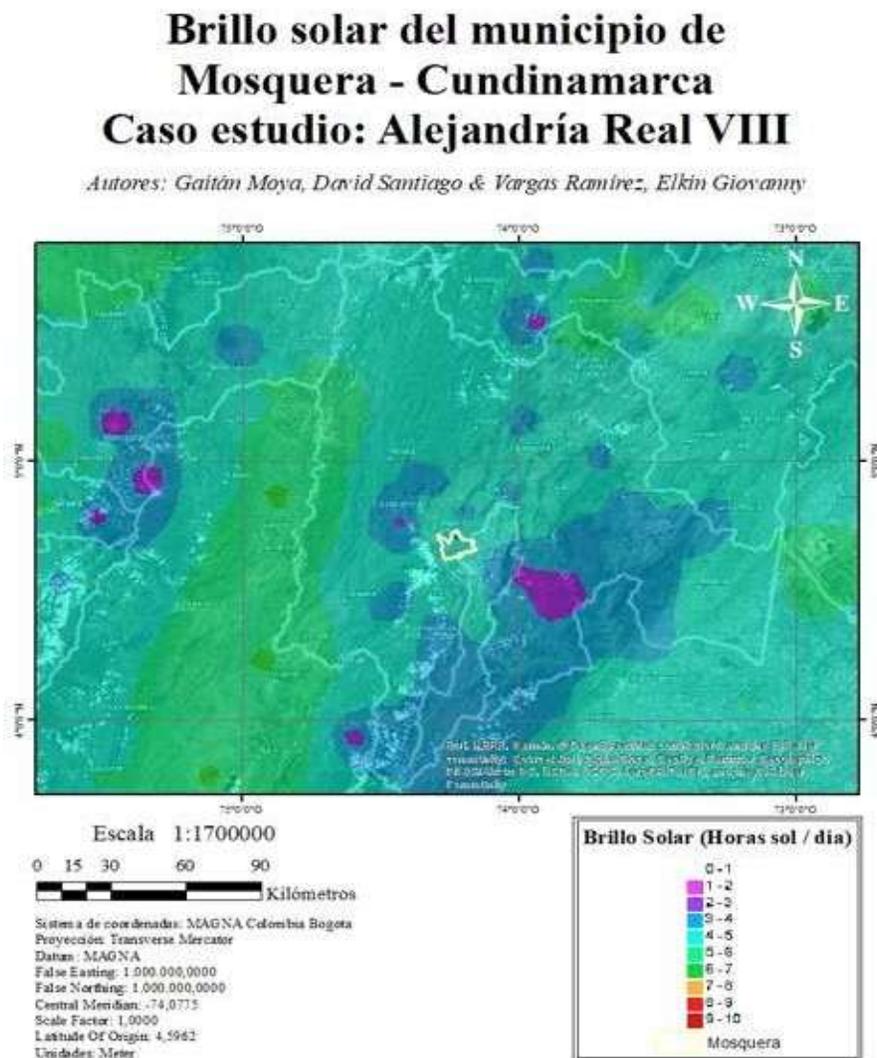
Fuente: Autores (2019)

A partir de lo anterior, fue posible calcular el potencial energético de la zona de estudio teniendo en cuenta el área ocupada por los paneles fotovoltaicos, como aspecto base que justifique la localización del sistema fotovoltaico a partir de la disponibilidad de recursos ambientales. (Ecuación 1)

$$\left(\begin{array}{c} (\\ (\\ (\end{array} \right) \left(\begin{array}{c}) \\) \\) \end{array} \right)$$

Ecuación 1. Potencial energético de la zona de estudio

Figura 13. Mapa de brillo solar del municipio de Mosquera - Cundinamarca. Caso estudio: Alejandría Real VIII



Fuente: Autores (2019)

7.2. Resultados segundo objetivo específico (Diseño del sistema fotovoltaico)

7.2.1. Dimensionamiento matemático y espacial

Con el fin de tener un panorama completo sobre las opciones de paneles fotovoltaicos encontrados en el mercado nacional, se realizó una búsqueda exhaustiva, solicitando cotizaciones a distintas empresas, de donde fue posible constituir un abanico de posibilidades, considerando las diferencias encontradas relacionadas con la composición, las propiedades y dimensiones de cada panel (Tabla 9). Incluyendo específicamente cotizaciones de ocho (8) empresas distintas, y describiendo las principales características de once (11) paneles diferentes, información a partir de la cual se obtuvieron los respectivos promedios con el fin de tener valores de representativos para los cálculos posteriores.

Tabla 9. Cotizaciones de paneles fotovoltaicos encontrados en el mercado nacional para el 2019

| Logo | Nombre de la empresa | Tipo | Potencia (W) | Voltaje (V) | Largo (mm) | Ancho (mm) | Grosor (mm) | Área (m ²) |
|---|----------------------|-----------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------------------|
|  | Nicomar | Policristalinos | 320 | 46 | 1960 | 990 | 40 | 1,9 |
|  | Aliado energético | Monocristalino | 340 | 24 | 1956 | 992 | 40 | 1,9 |
|  | Aliado energético | Policristalinos | 330 | 24 | 1956 | 992 | 40 | 1,9 |
|  | TB plus | Policristalinos | 150 | 18,2 | 1560 | 1560 | 3,2 | 2,4 |
|  | Ingesolar | Policristalinos | 320 | 24 | 1956 | 992 | 40 | 1,9 |
|  | Ingesolar | Monocristalino | 250 | 24 | 1640 | 992 | 35 | 1,6 |
|  | Improide | Policristalinos | 320 | 24 | 1950 | 992 | 40 | 1,9 |
|  | Improide | Monocristalino | 330 | 24 | 1932 | 986 | 45 | 1,9 |
|  | Dmc solar | Monocristalino | 250 | 30 | 1640 | 990 | 50 | 1,6 |
|  | Green enrgy | Policristalinos | 340 | - | 1956 | 992 | 50 | 1,9 |
|  | Ambiente soluciones | Policristalinos | 310 | - | 1960 | 990 | 40 | 1,9 |
| Promedio | | | 296 | 26 | 1861 | 1043 | 38 | 2 |

Fuente: Autores (2019)

Adicionalmente, teniendo en cuenta las discrepancias presentadas entre las cotizaciones obtenidas, fue necesario realizar una tabulación de la información para tener un punto de comparación entre las opciones de paneles fotovoltaicos. En este caso, se enfatizó en el costo por panel como valor de referencia para el cálculo del costo del sistema (*Ecuación 3*), que tuvo un valor promedio de \$1.043.914 (*Tabla 10*).

Tabla 10. Tabulación de las cotizaciones considerando costos del sistema y abastecimiento energético potencial.

| No. | Empresa | Logo | Tipo de panel | Número de paneles | Potencia panel (W) | Costo Sistema (\$) | Costo / panel (\$) | Potencia Sistema (kWh) | Generación energética (kWh/mes) | Abastecimiento (%) |
|-----------------|-------------------------|---|----------------|-------------------|--------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|---------------------------------|--------------------|
| 1 | Ambiente Soluciones SAS |  | Policristalino | 750 | 350 | \$ 759.000.000 | \$ 1.012.000 | 262,5 | 31500 | 54,7 |
| 2 | Ambiente Soluciones SAS |  | Policristalino | 375 | 350 | \$ 386.240.000 | \$ 1.029.973 | 131,3 | 15750 | 27,3 |
| 3 | Improinde SAS |  | Policristalino | 540 | 375 | \$ 315.990.436 | \$ 585.167 | 202,5 | 24300 | 42,2 |
| 4 | Saufer Smart Energy |  | Monocristalino | 170 | 385 | \$ 295.664.445 | \$ 1.739.203 | 65,5 | 7854 | 13,6 |
| 5 | Colenergy |  | Monocristalino | 272 | 370 | \$ 411.776.343 | \$ 1.513.884 | 100,6 | 12076,8 | 21,0 |
| 6 | E&C Ingenieros |  | Policristalino | 725 | 370 | \$ 759.942.000 | \$ 1.048.196 | 268,3 | 20565 | 35,7 |
| 7 | Hybrytec Evolution |  | Policristalino | 540 | 285 | \$ 316.614.580 | \$ 586.323 | 153,9 | 17200 | 29,9 |
| 8 | SenergySol |  | - | 926 | 400 | \$ 1.269.230.769 | \$ 1.370.660 | 370,4 | 45000 | 78,1 |
| 9 | Green Energy |  | Policristalino | 486 | 340 | \$ 247.772.532 | \$ 509.820 | 165,2 | 19829 | 34,4 |
| Promedio | | | | 532 | 358 | \$ 529.136.789 | \$ 1.043.914 | 191,1 | 21564 | 37 |

Fuente: Autores (2019)

Para las cotizaciones tabuladas anteriormente en la *Tabla 9* y *Tabla 10* se partió de datos generales del conjunto Alejandría Real VIII consignados en la *Tabla 11*, a partir de los cuales fue posible dimensionar el sistema y los requerimientos específicos para este caso estudio, incluyendo también aspectos fundamentales como el tope salarial de la vivienda VIS y el salario mínimo vigente para el 2019.

Tabla 11. Datos generales del proyecto de vivienda Alejandría Real VIII.

| Datos | Aspecto | Unidad | Cantidad |
|-----------|-----------------------------------|----------|-----------------------------|
| Generales | Número de torres | # | 12 |
| | Pisos por torre | # | 6 |
| | Apartamentos por piso | # | 4 |
| | Total apartamentos | # | 288 |
| | Número de paneles | # | 672 |
| | Salario mínimo 2019 | \$ | 828.116 |
| | Tope Vis | s.m.l.v. | 135 |
| | Altura del municipio | m.s.n.m. | 2516 |
| | Principal estrato socioeconómico | # | 2 |
| | Clasificación climática de Köppen | CW | Clima templado subhúmedo |
| | Temperatura promedio | °C | 14 |
| | Precipitación promedio | mm/mes | 1000 |
| | Comportamiento de lluvias | - | Bimodal |
| | Humedad relativa | % | 74 a 90 |

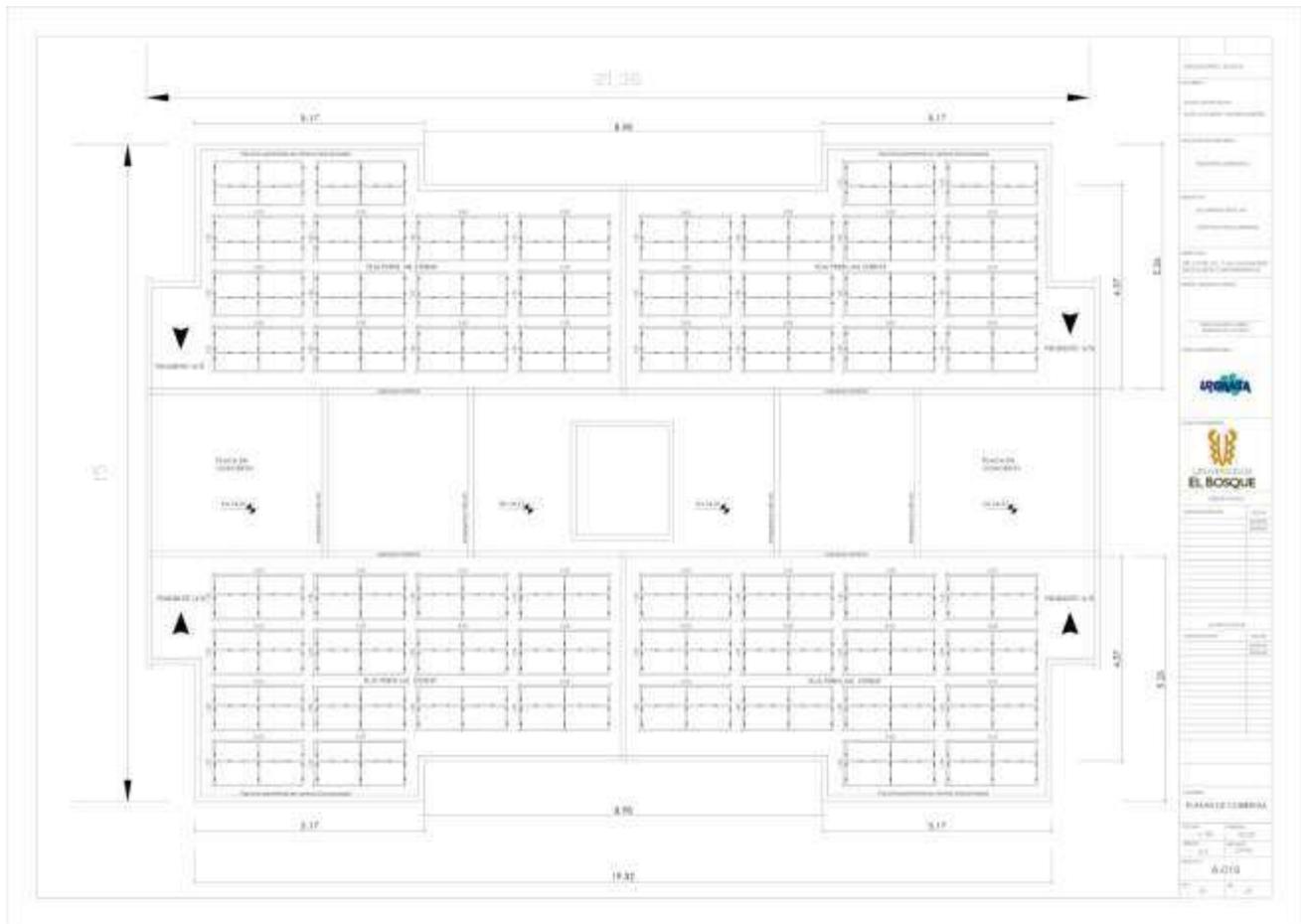
Fuente: Autores (2019)

Posteriormente, teniendo en cuenta los planos acotados dispuestos por la constructora Urbansa S.A. (Figura 14) y las dimensiones de los paneles fotovoltaicos incluidas en las cotizaciones, fue posible calcular el número de paneles a instalar en todo el conjunto residencial (Ecuación 2). Para ello, fue necesario incluir un porcentaje de sobreestimación del 40% que se refiere a un criterio de diseño que considera el espacio que se debe dejar libre para realizar el mantenimiento e instalación adecuada de los equipos.

$$N = \frac{A_{total}}{A_{panel}} \cdot (1 + 0.40) \quad (2)$$

Ecuación 2. Número de paneles fotovoltaicos que hacen parte del sistema propuesto.

Figura 14. Plano acotado de la distribución de los paneles fotovoltaicos sobre la cubierta de los edificios.



Fuente: Autores (2019)

Es importante tener presente que el costo promedio del sistema fue obtenido de la relación entre las cotizaciones consignadas en la *Tabla 10* de donde se extrajo un dato representativo del costo de cada panel, y el número de paneles soportado por el sistema propuesto (*Ecuación 3*). Tal y como se muestra a continuación:

$$\left(\frac{\text{Costo promedio del sistema}}{\text{Número de paneles}} \right) \left(\text{Número de paneles} \right)$$

$$\left(\text{Costo promedio del sistema} \right) \left(\text{Número de paneles} \right)$$

Ecuación 3. Costo promedio del sistema fotovoltaico a partir de la ponderación de las cotizaciones disponibles.

A continuación, se muestran los costos más relevantes para soportar la propuesta, destacando tal y como se evidencia en la *Tabla 11*, datos suministrados por la constructora Urbansa S.A. como el costo por unidad de vivienda y consecuentemente los ingresos totales del proyecto por la venta de los 288 apartamentos que lo integran. Además, se asocian con el costo de implementación del sistema fotovoltaico (*Ecuación 3*), obteniendo como resultado el porcentaje equivalente al proyecto, con respecto a los ingresos totales por la venta de los apartamentos, correspondiente al 2,2%. (*Figura 15*)

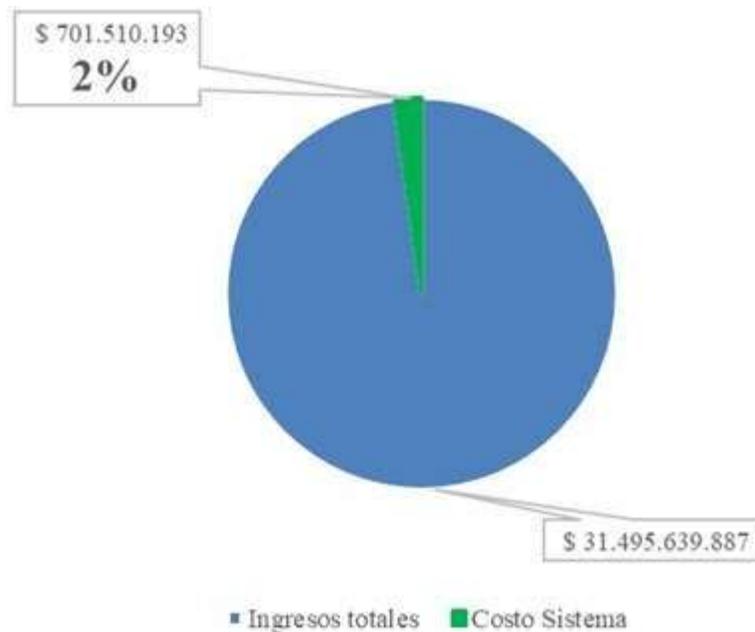
Tabla 12. Principales costos asociados al proyecto de vivienda Alejandría Real VIII.

| Datos | Aspecto | Unidad | Cantidad |
|--------|--------------------------|--------|----------------|
| Costos | Costo mensual energía | \$ | 29.751.928 |
| | Costo del apartamento | \$ | 111.795.660 |
| | Ingresos | \$ | 32.197.150.080 |
| | Costo Sistema | \$ | 701.510.193 |
| | Porcentaje del costo (%) | % | 2,2 |

Fuente: Autores (2019)

Es importante tener en cuenta que el costo correspondiente al consumo mensual de energía, incluye el consumo de los apartamentos y el de las áreas comunes del proyecto. (*Ecuación 5*)

Figura 15. Relación entre el costo del proyecto fotovoltaico propuesto y el total de ingresos por la venta de apartamentos de Alejandría Real VIII.



Fuente: Autores (2019)

Un dato que es fundamental en términos de abastecimiento energético, es el requerimiento energético del proyecto (Ecuación 4), valor que fue calculado teniendo en cuenta el costo/kWh establecido en el tarifario de energía eléctrica de Enel Codensa, regulado por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (Enel-Codensa, 2019) y las memorias dispuestas por la constructora Urbansa S.A., en donde se indica el valor referente al consumo energético de las áreas comunes. Así mismo, se tiene en cuenta el consumo energético promedio dado por un recibo del servicio de la energía para una vivienda de estrato 3.

$$\begin{aligned}
 & \left(\frac{C_{\text{Sistema}}}{I_{\text{Total}}} \right) \left(\frac{E_{\text{Comunes}}}{E_{\text{Vivienda}}} \right) \left(\frac{E_{\text{Vivienda}}}{E_{\text{Estrato 3}}} \right) \left(\frac{E_{\text{Estrato 3}}}{E_{\text{Tarifario}}} \right) \left(\frac{C_{\text{Tarifario}}}{kWh} \right) \\
 & \left(\frac{C_{\text{Sistema}}}{I_{\text{Total}}} \right) \left(\frac{E_{\text{Comunes}}}{E_{\text{Vivienda}}} \right) \left(\frac{E_{\text{Vivienda}}}{E_{\text{Estrato 3}}} \right) \left(\frac{E_{\text{Estrato 3}}}{E_{\text{Tarifario}}} \right) \left(\frac{C_{\text{Tarifario}}}{kWh} \right) \\
 & \text{---} \quad (\quad)
 \end{aligned}$$

Ecuación 4. Requerimiento energético mensual total.

Adicionalmente, a partir del consumo energético del proyecto, es posible estimar el costo mensual del servicio de energía que en este caso dio un aproximado de \$29.751.928 valor que fue tomado como referencia para las cotizaciones de los sistemas fotovoltaicos ponderados.

$$\left(\begin{array}{c} \\ \\ \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} \\ \\ \end{array} \right)$$

Ecuación 5. Costo mensual por el servicio de energía

Luego, partiendo del número de paneles fotovoltaicos y sus especificaciones técnicas, se calculó la potencia instalada que representaría el sistema. (Ecuación 6)

$$\left(\begin{array}{c} \\ \\ \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} \\ \\ \end{array} \right)$$

Ecuación 6. Potencia total instalada del sistema fotovoltaico propuesto.

$$\left(\begin{array}{c} \\ \\ \end{array} \right)$$

Ecuación 7. Generación energética estimada del sistema fotovoltaico propuesto

Por otro lado, teniendo en cuenta el potencial energético de la zona de estudio, se tomó el valor promedio de brillo solar (Figura 13), la potencia promedio de cada panel y el número de paneles calculado previamente, con el fin de estimar la generación máxima teórica de energía, partiendo del supuesto que toda la energía irradiada va a ser aprovechada por los paneles. (Ecuación 8).

$$P_{\text{teórica}} = P_{\text{potencial}} \cdot \eta_{\text{panel}} \cdot A_{\text{panel}} \cdot n_{\text{paneles}}$$

$$P_{\text{teórica}} = P_{\text{potencial}} \cdot \eta_{\text{panel}} \cdot A_{\text{panel}} \cdot n_{\text{paneles}}$$

$$P_{\text{teórica}} = P_{\text{potencial}} \cdot \eta_{\text{panel}} \cdot A_{\text{panel}} \cdot n_{\text{paneles}}$$

Ecuación 8. Generación de energía teórica a partir del potencial solar de la zona de estudio.

Así mismo, se plantea una relación entre la generación energética del sistema y el requerimiento energético del proyecto Alejandría Real VIII, tal y como se muestra en la *Ecuación 9*, estimando el porcentaje de energía que podría llegar a suplir el sistema propuesto.

$$\left(\frac{P_{\text{teórica}}}{P_{\text{requerido}}} \right) \cdot 100$$

$$\left(\frac{P_{\text{teórica}}}{P_{\text{requerido}}} \right) \cdot 100$$

Ecuación 9. Porcentaje de sustitución que representa el sistema propuesto frente al consumo energético del proyecto Alejandría Real VIII.

Es decir, que del área disponible de la cubierta de una torre que es de 320,7 m², el sistema fotovoltaico únicamente requiere 187,24 m² que equivale al 58,4 %. Así mismo, del área ocupada por el sistema (187,24 m²), un 40,18% equivale al porcentaje de sobreestimación referente a un criterio de diseño que busca garantizar el espacio necesario para facilitar mantenimiento e instalación adecuada de los paneles, y el 59,82% equivale al área neta ocupada por los paneles fotovoltaicos.

$$\frac{P_{\text{teórica}}}{P_{\text{requerido}}} \cdot 100$$

$$\left(\frac{P_{\text{teórica}}}{P_{\text{requerido}}} \right) \cdot 100$$

$$\left(\frac{P_{\text{teórica}}}{P_{\text{requerido}}} \right) \cdot 100$$

Ecuación 10. Porcentaje de espacio requerido por el sistema fotovoltaico propuesto.

Finalmente, se planteó una relación entre la generación energética real (*Ecuación 7*), y la generación eléctrica teórica máxima del sistema propuesto (*Ecuación 8*), con el fin de obtener el porcentaje de energía que realmente puede transformar cada panel.

$$\frac{\text{[Ecuación 7]}}{\text{[Ecuación 8]}} \times 100$$

Ecuación 11. Porcentaje de aprovechamiento energético por cada panel.

Finalmente, en la *Tabla 13* se relacionan los datos más relevantes referentes a valores espaciales y dimensiones de las cubiertas de los edificios, mostrando la proporción que requiere la instalación del sistema. Y, por otro lado, se incluyen también las principales cifras relacionadas con los requerimientos energéticos del proyecto, así como la generación energética cobijada por el sistema fotovoltaico propuesto.

Tabla 13. Principales datos espaciales y energéticos asociados al proyecto de Alejandría Real VIII.

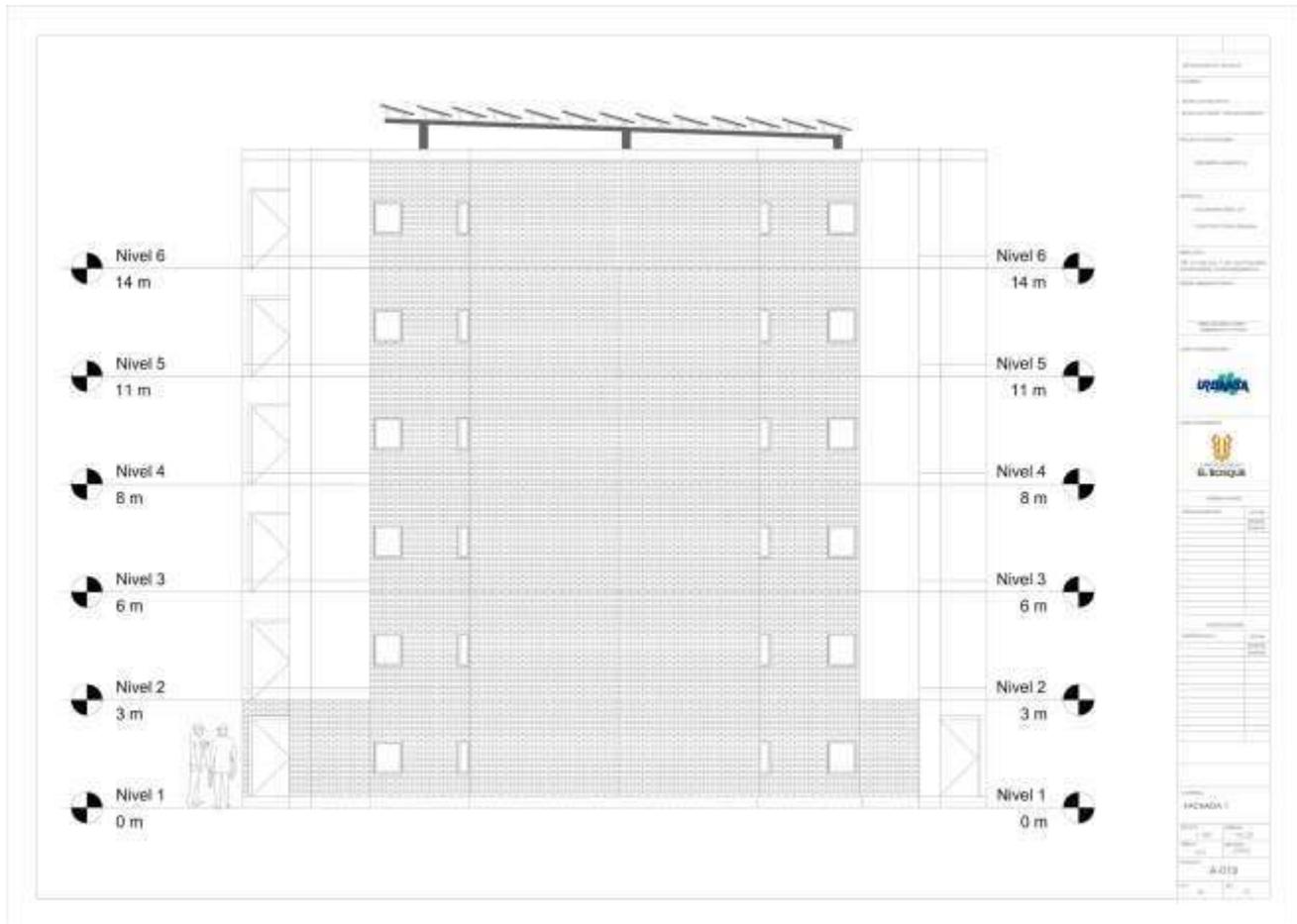
| Datos | Aspecto | Unidad | Cantidad |
|------------|--|----------------|-----------|
| Espaciales | Área total de cubiertas | m ² | 3848,40 |
| | Área empleada por el sistema | m ² | 2246,88 |
| | Área neta de los paneles | m ² | 1344,00 |
| | Área usada del área total | % | 58,40 |
| Energía | Consumo mensual (Promedio) / apto | kWh/mes | 200,00 |
| | Consumo mensual (Promedio) / áreas comunes | kWh/mes | 114,70 |
| | Requerimiento energético total | kWh | 57714,70 |
| | Potencia sistema | kW | 235,20 |
| | Generación energética teorica del sistema | kWh/mes | 381024,00 |
| | Generación energética del sistema | kWh/mes | 28224,00 |
| | Porcentaje de sustitución de energia | % | 48,90 |
| | Eficiencia del sistema | % | 7,40 |

Fuente: Autores (2019)

7.2.2. Diseño gráfico y modelación

Para el diseño del sistema fotovoltaico propuesto se desarrolló un componente gráfico por medio del cual fuera posible evidenciar un supuesto de la instalación de los paneles sobre las cubiertas de los edificios de Alejandría Real VIII, tal y como se muestra en el diagrama transversal a continuación: (Figura 16)

Figura 16. Plano con corte transversal de una torre con los paneles fotovoltaicos instalados.



Fuente: (Autores, 2019)

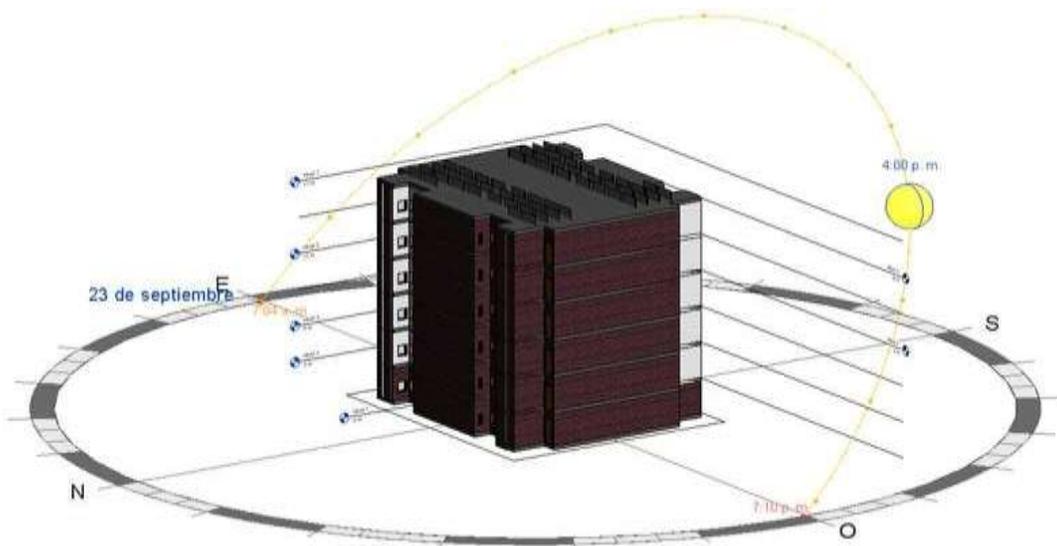
Así mismo, mediante el software de modelación AutoCad se muestra en una modelación 3D la distribución de los paneles, situando 56 paneles por cada torre, respetando el área de sobre estimación, dejando el espacio necesario para su mantenimiento (Figura 17). Además, en la Figura 18 se muestra la localización de los paneles fotovoltaicos incluyendo el movimiento del sol y teniendo como referencia los puntos cardinales.

Figura 17. Modelación en 3D del sistema fotovoltaico propuesto



Fuente: (Autores, 2019)

Figura 18. Modelación en 3D con relación al movimiento del sol.



Fuente: Autores (2019)

7.3. Resultados tercer objetivo específico (Análisis financiero y ambiental)

7.3.1. Evaluación financiera

Para el análisis financiero del proyecto se realizó un flujo de caja a 25 años debido a que éste es el tiempo que se estima la vida útil de los paneles según las cotizaciones realizadas, en dicho flujo se encuentran consignados los principales ingresos para la auto sostenibilidad económica del sistema, partiendo de dos posibles escenarios, uno en el cual existe el capital suficiente para la inversión y otro en el cual se necesita de una financiación. Para el flujo de caja en general es importante resaltar que:

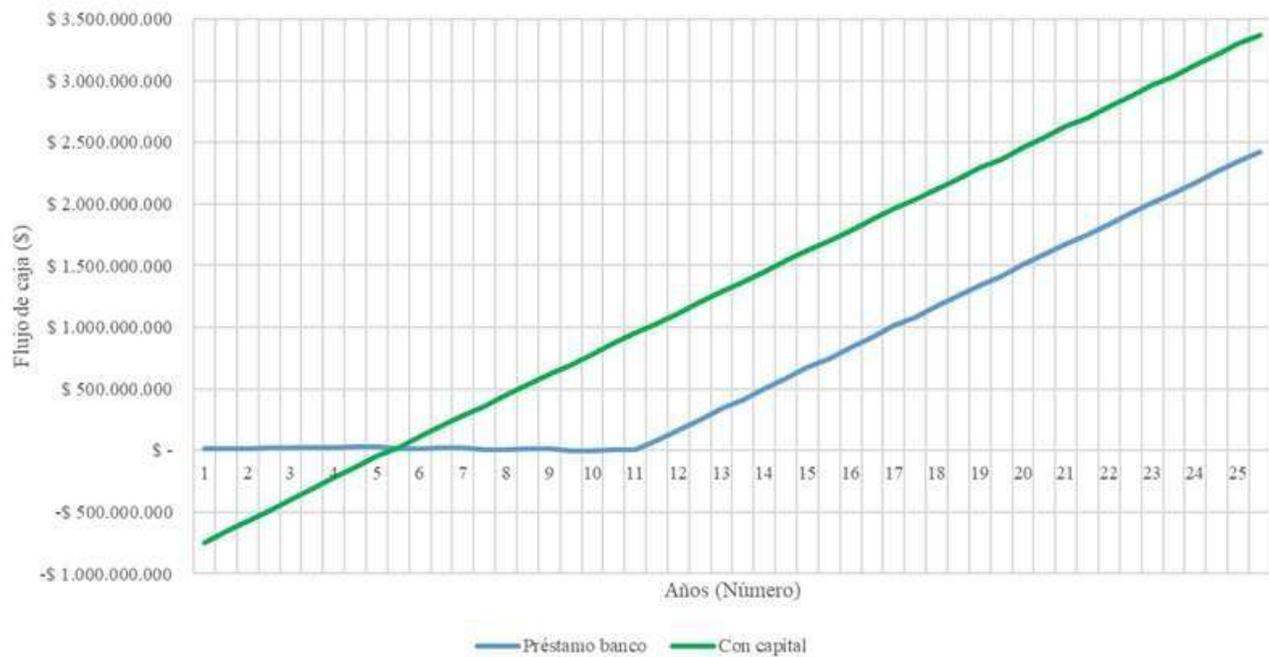
- ❖ Uno de los ingresos es el préstamo de la entidad financiera (Bancolombia), la cual se realiza a 120 meses en UVR (Unidad de valor real), en la cual se contempla una tasa efectiva anual del 13,73 % adicional del seguro de vida. <Solo aplica para el escenario sin capital >
- ❖ El otro ingreso representa el porcentaje de sustitución de energía aplicado al pago mensual del servicio con base en el tarifario de la empresa que suministra la electricidad (Enel-Codensa), el promedio de consumo de por apartamento de una vivienda estrato 3 y las memorias energéticas del conjunto residencial.
- ❖ En los egresos se contemplan el pago de la cuota mensual al banco por el préstamo <Solo aplica para el escenario sin capital > y los costos del mantenimiento al sistema.
- ❖ La recomendación del tiempo para los mantenimientos son bianuales y la mayoría de las cotizaciones incluyen dos mantenimiento de seguimiento después de la instalación.
- ❖ No se tuvo en cuenta diversos beneficios como la exención del IVA del 19 %, la posibilidad de generar bonos de carbono, la disminución del precio por kWh generado, la valorización de los activos, el aumento del salario mínimo y diferentes modalidades de préstamo con tasas más bajas a las de la línea de libre inversión.
- ❖ Se comenzó con un saldo inicial de sesenta millones de pesos (\$60.000.000) para no dejar flujos de caja negativos. <Solo aplica para el escenario sin capital >

7.3.1.1. Tasa Interna de Retorno y Valor Presente Neto

()

Ecuación 12. Tasa interna de retorno a 25 años para el proyecto con el préstamo bancario.

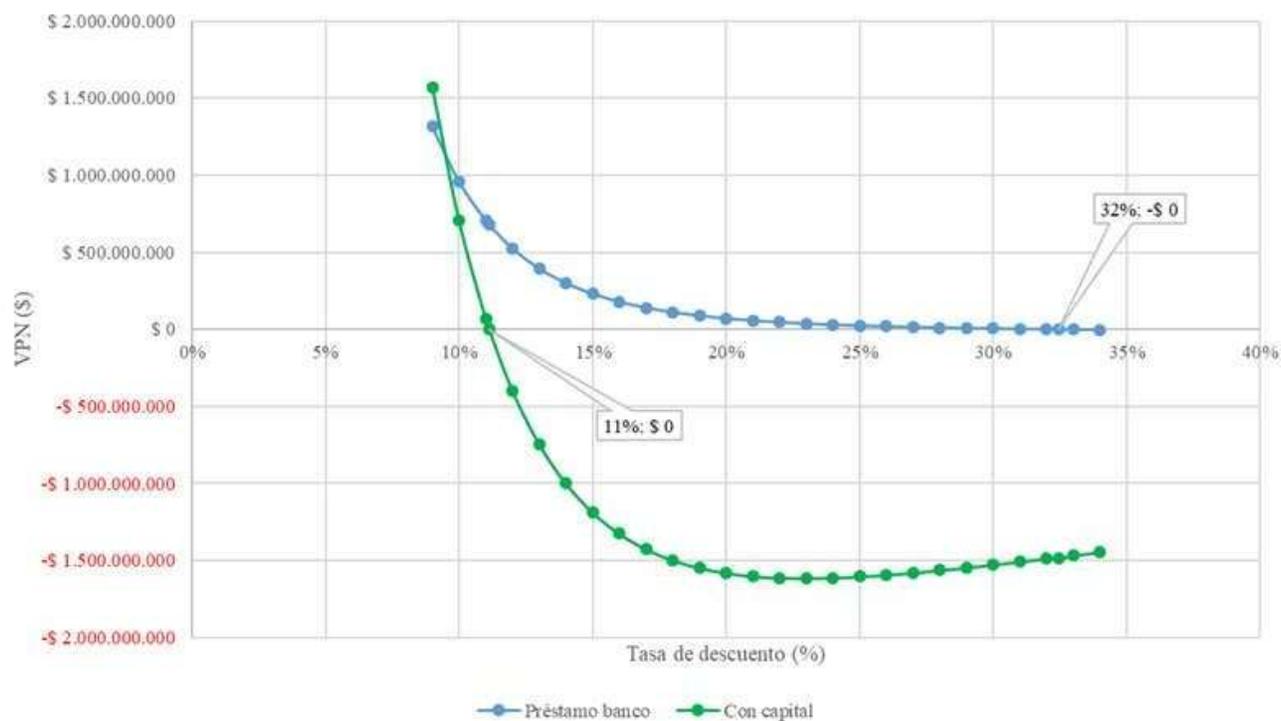
Figura 19. Periodo de retorno de inversión calculado para el proyecto.



Fuente: (Autores, 2019)

Posteriormente se realizó el cálculo del retorno de inversión como lo muestra la *Figura 18* en el cual evidencia un retorno en 5,5 años para el escenario con capital y 11 años para el escenario con préstamo; a partir de dichos datos se calculó la tasa interna de retorno (TIR) para saber la tasa de rentabilidad interna y así determinar la viabilidad el proyecto esperando poder disminuir el riesgo de inversión, la cual fue del 32% con préstamo y 11% sin préstamo. El valor presente neto (VPN) y la TIR en realidad se relacionan de manera significativa debido a que gráficamente TIR es VPN=0 como lo muestra la *Figura 19*, es decir, la viabilidad del proyecto está representada en los valores presentes netos > 0, dicho valor depende de la tasa de descuento escogida como las tasas representativas del mercado. Para este caso, se realizó de acuerdo al IPC (Índice de precios del consumidor), DTF (Tasa de interés de certificado de depósitos a término fijo) o simplemente tasas comunes de inversión en proyectos de ingeniería como lo muestra la *Tabla 13*.

Figura 20. Relación entre Valor Presente Neto (VPN) y Tasa Interna de Retorno (TIR)



Fuente: (Autores, 2019)

Tabla 14. Relación entre tasas de descuento y tasas representativas del mercado

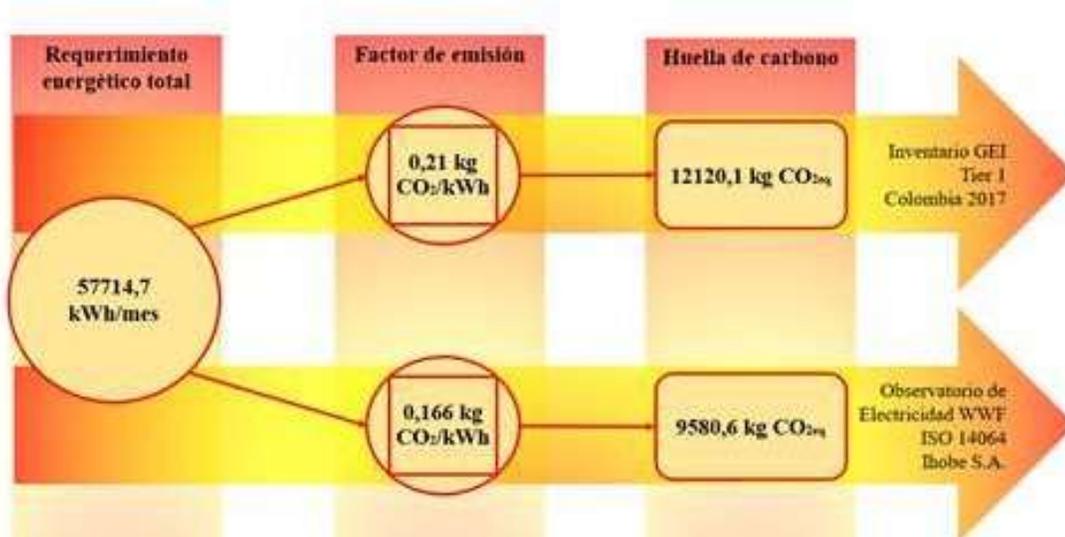
| Tasas | Préstamo banco | | Con Capital | |
|---------------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| | Tasa de descuento | VPN | Tasa de descuento | VPN |
| TIR | 32,4% | -\$ 0,00 | 11,1% | \$ 0,00 |
| Inversiones de ingeniería | 10% | \$ 957.989.568 | 10% | \$ 640.130.761 |
| DTF | 4,50% | \$ 6.264.419.404 | 4,5% | \$ 11.569.685.060 |
| IPC | 4% | \$ 7.547.715.789 | 4% | \$ 14.050.819.102 |

Fuente: Autores (2019)

7.3.2. Evaluación ambiental

La evaluación ambiental se realizó a partir del indicador por el cálculo de la huella de carbono del requerimiento energético y la reducción de la producción de CO₂ con la implementación del sistema, para esto se usó la ecuación propuesta por el IPCC (*Ecuación 13*) para la realización de los inventarios de gases de efecto invernadero GEI, la cual tiene como estructura, multiplicar el dato de la energía del proyecto por el factor de emisión, factor que establece una relación directa con la cantidad de CO₂ generada por kWh, claramente depende de múltiples aspectos como el sector económico, las emisiones directas, entre otros, sin embargo, distintos autores y autoridades establecen factores generales como el IDEAM para la realización del inventario GEI de Tier 1 en Colombia, la UPME con la Resolución 804 de 2017 “Por la cual se actualiza el factor marginal de emisión de gases de efecto invernadero del Sistema Interconectado Nacional - 2016, para proyectos aplicables al Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)” e Ihobe S.A. la cual genera una “Guía metodológica para la aplicación de la norma UNE-ISO 14064-1:2006 para el desarrollo de inventarios de Gases de Efecto Invernadero en organizaciones” y cita un factor de la WWF para el sector de la electricidad.

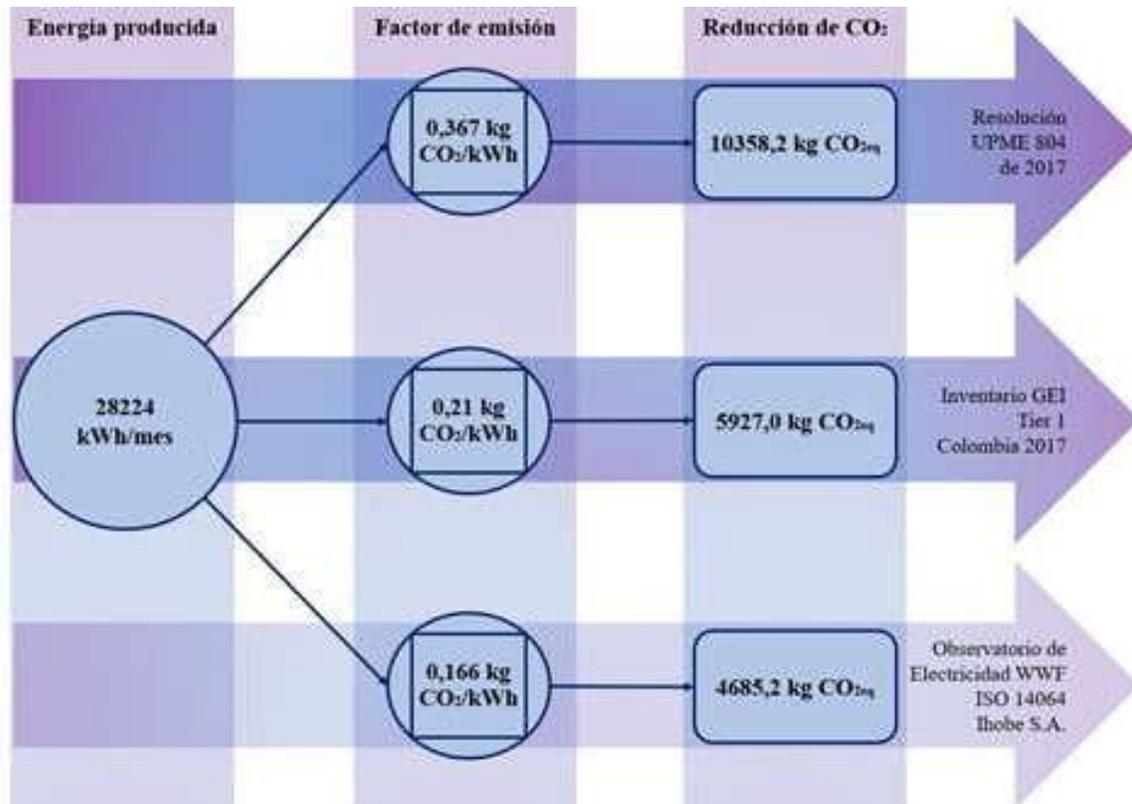
Figura 21. Cálculo de huella de carbono a partir de distintos factores de emisión



Fuente: (Autores, 2019)

Ecuación 13. Cálculo de emisiones de Gases de Efecto Invernadero

Figura 22. Reducción de huella de carbono a partir de distintos factores de emisión



Fuente: Autores (2019)

Como lo señala la *Figura 22* a partir de los factores de emisión, el proyecto tiene una huella de carbono que está entre los 9.580,6 kg CO₂/mes y 12.120,1 kg CO₂/mes respectivamente y la implementación del proyecto de energía a partir de paneles fotovoltaicos podría reducir entre 4.685,2 kg CO₂/mes, 5.927 kg CO₂/mes y 10.358,2 kg CO₂/mes (*Ecuación 13*). Cabe resaltar que como lo muestra la *Figura 21* el factor de la UPME solo aplica para la generación a partir de proyectos de desarrollo limpio, mientras los otros dos indicadores se relacionan en gran medida para el sector energético en general.

8. Análisis y discusión de resultados

En primer lugar, en cuanto a los recursos ambientales disponibles en la zona de estudio, se parte de que los datos recolectados e interpretados mediante material cartográfico fueron la base del cálculo del

potencial energético de la zona, relacionando las horas de brillo solar con la radiación solar para la zona de estudio que es de $4,5 \text{ kWh/m}^2$ (Figura 12), valor que se encuentra en la media de radiación solar para Colombia y que representa un potencial adecuado para el aprovechamiento de este tipo de energía. (Ministerio de Minas y Energía & Unidad de Planeación Minero Energética, 2005). Además, a pesar de que el municipio de Mosquera si presenta un promedio de radiación solar óptimo para soportar la propuesta, existen otras zonas del país como La Guajira con una radiación solar superior (6 kWh/m^2), en donde la viabilidad del proyecto aumentaría, al menos teniendo en cuenta el potencial teórico de generación energética.

Es importante considerar que la radiación solar en la zona es dispersa y depende de factores meteorológicos como la nubosidad, la inclinación, la posición geográfica, la humedad y demás características que pueden influir en los datos. Sin embargo, dichos valores se encuentran expresados como un promedio anual en las horas del día, de la misma manera como se expresan las horas de brillo solar, cabe aclarar que, de forma paralela, el brillo solar calcula las horas promedio, pero no significa que sea una radiación constante o que permanezca en un rango temporal determinado.

Encontramos que a partir del estudio realizado por Rodríguez A. & Gutiérrez F. (2017), se observa la organización de las cotizaciones de acuerdo a los diferentes materiales que incorporan los paneles solares en las distintas compañías distribuidoras que hacen parte del mercado para Colombia, además, agregan los datos necesarios de las fichas técnicas para la realización de cálculos que permitan determinar las condiciones requeridas para su óptimo funcionamiento, así como para la capacidad de producción energética correspondiente.

El área usada contempla tanto el espacio que ocupan los paneles fotovoltaicos como el espacio entre ellos para la circulación de los mantenimientos y los elementos de soporte como los inversores, transformadores, controladores, reguladores y sistemas de cableado debido a que se deja una sobreestimación del 40% sobre el área usada.

Por otro lado, la energía generada por el sistema propuesto (28.224 kWh/mes) equivale a un porcentaje abastecimiento 48,9% respecto al requerimiento energético total del conjunto residencial, utilizando 672 paneles fotovoltaicos. Valor que se puede considerar muy alto comparativamente con la energía generada por un proyecto similar de reconversión energética también para un conjunto residencial en el municipio de Mosquera, que aunque logra suplir la totalidad de la energía utilizada en las áreas comunes, la generación energética estimada fue únicamente de 69.333 kWh en 10 años (Ramírez et al., 2019), beneficio que por la magnitud del sistema propuesto en este proyecto puede ser superado fácilmente después del tercer mes de operación.

Así mismo, la generación energética del proyecto supera lo planteado por un estudio de la Universidad de Tarragona en España en donde anualmente se lograba generar 31.607 kWh con 162 paneles, obteniendo una generación por panel de aproximadamente 16 kWh/panel valor inferior al de este proyecto en donde se calculó una generación de 42 kWh/panel . Esta diferencia, se puede atribuir a que nos estamos refiriendo a un proyecto realizado hace más de 15 años, en donde el desarrollo tecnológico relacionado con los módulos fotovoltaicos no era tan avanzado, por lo que diferían sus características, como por ejemplo la potencia de los paneles, que apenas alcanzaba los 150W , valor considerablemente inferior a los 350W de los paneles propuestos (Sevil, 2001), y así con otras características como el tipo, material o las dimensiones que afectan directamente la eficiencia del panel y por lo tanto, también la generación eléctrica de los mismos.

Todo esto, considerando que el porcentaje de aprovechamiento estimado de cada panel únicamente llega al 7,4%, valor que se encuentra debajo del nivel de eficiencia promedio de la mayoría de paneles fotovoltaicos que se encuentran en el mercado en la actualidad que ronda el 20%. (Deltavolt, 2019). Más aún cuando en la academia se han realizado hallazgos que pueden aumentar su eficiencia hasta un 44%, como el desarrollado por la Universidad de Ámsterdam en donde se demostró que el uso de ciertos materiales como las perovskitas ¹ deja de lado ciertas deficiencias de las placas solares y aumenta la captación y transformación de energía solar, teniendo en cuenta también, que es un material que se más económico y se encuentra con mayor facilidad que el tradicional silicio. (PV Magazine Latam, 2018)

Además, la implementación de los paneles fotovoltaicos teniendo en cuenta todas las especificaciones espaciales y los criterios mínimos de diseño, únicamente requeriría utilizar un 58,4% del espacio total de las cubiertas de los edificios, dejando abierta la posibilidad de disponer del espacio sobrante para aumentar en caso de requerirse, la magnitud del sistema fotovoltaico, y llegar a abastecer en una mayor proporción el consumo energético del conjunto residencial Alejandría Real VIII.

Por otra parte, es importante resaltar que la inversión correspondiente a la propuesta, es decir \$701.510.193, únicamente representaría el 2% del total de ingresos por la venta de apartamentos de interés social del proyecto de Alejandría Real VIII, aspecto que justifica económicamente su viabilidad, teniendo en cuenta que tal y como se demostró en la evaluación financiera, es un proyecto que puede generar una rentabilidad importante, si existe el capital, alcanzando un tiempo de retorno de 5,5 años con VPN >0 correspondiente a una TIR de 11%, tasa que supera las tasas representativas que son las que generalmente se emplean como indicador económico en el país. Ahora bien, en caso de no contar con el capital necesario se puede recurrir a un préstamo que, de la misma manera, justifica la inversión con un tiempo de retorno de 11 años con VPN >0 a una TIR de 32% o menos y financieramente auto sostenible. En congruencia, Mete M. (2014) afirma que los proyectos son financieramente atractivos si la TIR es mayor a la tasa de expectativa directamente relacionada con la alternativa / oportunidad debido a que los ingresos cubren los egresos y por lo tanto generan beneficios, sumado a un VPN que no tenga valores negativos y representen escalas de inversiones.

¹ Material con estructura cristalina similar a la del titanio de calcio

Figura 23. Inventario Gases de Efecto Invernadero para Colombia año 2012



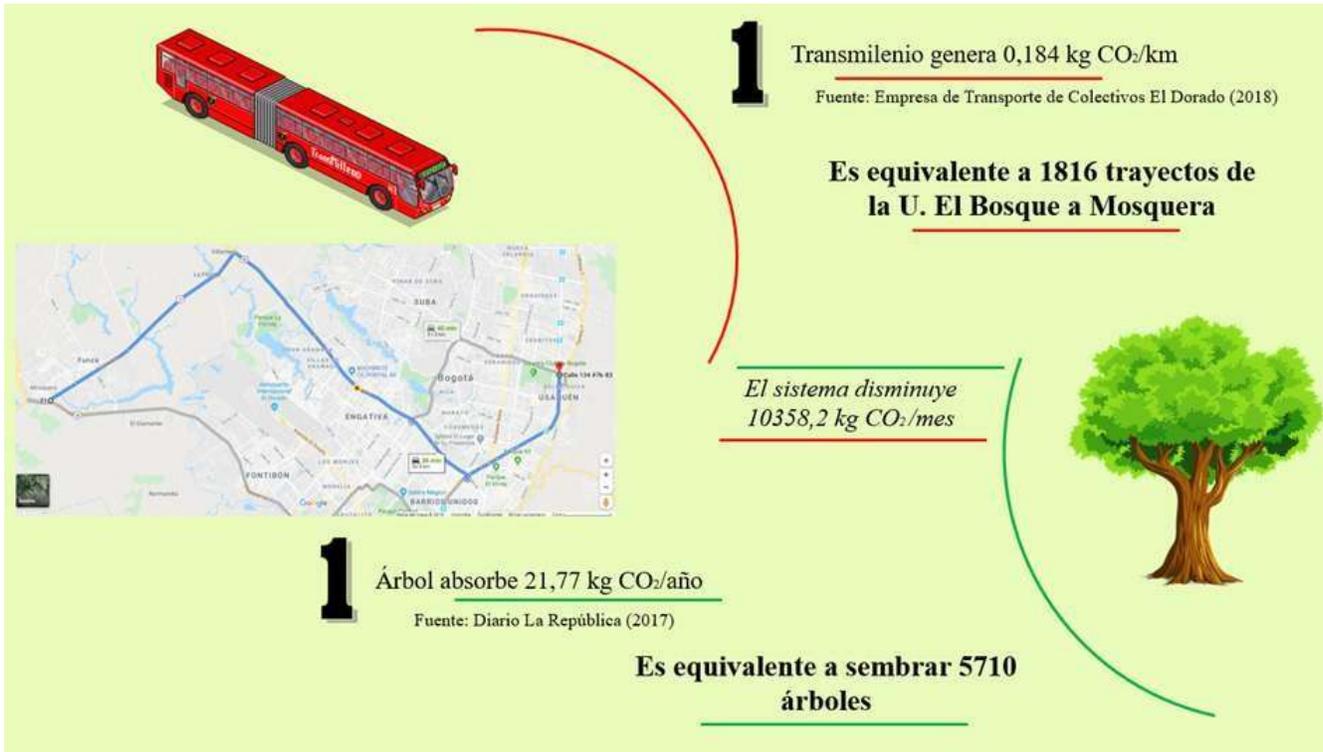
Fuente: IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. (2015)

Finalmente, respecto a la evaluación ambiental, se debe tener en cuenta que el proyecto busca contribuir directamente a la disminución de las emisiones de CO₂ asociadas en este caso al sector energético que según el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), dicho sector tiene una participación de emisiones de GEI del 43,6 % entre las emisiones asociadas a todos los sectores industriales de país (IDEAM, Citado por Sistema de Información Ambiental de Colombia, 2015). (Figura 22). Lo anterior, debido a la marcada tendencia que aún rige el país, en cuanto a la prevalencia de los combustibles fósiles sobre otro tipo de energías como las FNCE, que aunque paulatinamente han venido despertando mayor interés, aún se encuentran relegadas por una sinfín de factores del entorno sociopolítico y económico que las rodea.

De acuerdo con el requerimiento energético de Alejandría Real VIII el proyecto tiene una huella de carbono de 12.120,1 CO₂eq/mes, dato que se obtiene debido al factor de emisión para el inventario GEI de Colombia de 2012, valor mayor al calculado con el factor de la WWF, dicha diferencia se debe a que tal como lo menciona el IPCC los factores deben estar ajustados a los aspectos puntuales de la región, al nivel de acceso a datos (TIER 1) y al sector económico puntal.

El proyecto específicamente logra disminuir hasta 10.358,2 kg CO₂eq/mes, valor que podría parecer insignificante con respecto al total de emisiones del sector energético en el país. Sin embargo, tal y como se muestra en la Figura 23, esta reducción en las emisiones de GEI equivale a sembrar 5.710 árboles con una alta capacidad de absorción de contaminantes, o también se puede llegar a comparar con el hecho de transportarse 1.816 veces del campus de la Universidad El Bosque hasta la localización del proyecto Alejandría Real VIII en el municipio de Mosquera, Cundinamarca.

Figura 24. Equivalencias reducción emisiones CO₂ del proyecto



Fuente: Autores, (2019)

9. Conclusiones

- ✓ Se comprobó a partir de la información extraída de las bases de datos institucionales, y de la posterior realización de los elementos cartográficos de la zona de estudio (*Figura 4 y Figura 5*) que si se presentan los recursos ambientales necesarios para el abastecimiento del sistema energético propuesto.
- ✓ El abastecimiento energético representado por la implementación del sistema fotovoltaico, alcanza el 48,9% del requerimiento del conjunto, valor que supone un porcentaje de sustitución que se encuentra dentro de los estimados en las cotizaciones en donde se maneja un rango del 20% al 50%.
- ✓ Indistintamente del escenario que se maneje, bien sea partiendo de un capital inicial o recurriendo a un préstamo bancario, el proyecto será económicamente viable y podrá cubrir por sí solo la inversión realizada, y generar posteriormente rendimientos adicionales.

- ✓ El proyecto representa múltiples beneficios financieros y ambientales a pesar de que no se contemplan varios factores, como la exención del IVA del 19 %, reducción de la renta, la posibilidad de generar bonos de carbono, la disminución del precio por kWh generado, la valorización de los activos, aumento en los ingresos por el aumento del salario mínimo y tasas más bajas a las de la línea de libre inversión, que podrían aumentar aún más su utilidad.
- ✓ Ambientalmente el proyecto contribuye a la disminución de la huella de carbono del sector energético; y, por lo tanto, representar un aporte en la lucha contra el cambio climático en la que Colombia ha adquirido importantes compromisos al estar suscrita a tratados internacionales como el Protocolo de Kioto y las Convenciones Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)

10. Recomendaciones

Los datos recopilados ante las diferentes fuentes de información consultadas son interpolaciones de metadatos estadísticos de las estaciones meteorológicas puntuales adaptadas para la medición de los diferentes recursos ambientales, la meteorología y el microclima, los puntos se encuentran ubicados de manera estratégica en posiciones favorables a actividades de gran importancia para la zona de estudio como los aeropuertos, sin embargo, dichos puntos se encuentran dispersos en el territorio, por consiguiente la malla de datos para los mapas son proyecciones que carecen de valores puntuales en la zona del caso estudio, se recomienda corroborar los datos directamente en la zona para aumentar la confiabilidad de las mediciones y por ende, tener datos más precisos en cuanto a la generación energética del sistema propuesto.

Con respecto al cálculo de la reducción de emisiones de GEI es importante tener criterios claros en el momento de escoger el factor de emisión con el que se vaya a trabajar, ya que precisamente como lo advierte la metodología para la realización del Inventario de Gases de Efecto Invernadero, existen diversos factores dependiendo del tipo de proyecto que se va a desarrollar y el sector que se vaya a intervenir, encontrando también referentes internacionales que establecen valores distintos que podrían llegar a generar confusiones e incongruencias en los resultados.

Se recomienda evaluar los datos propuestos debido a que muchos de ellos cambian constantemente como el salario mínimo legal vigente, el DTF y el IPC, o algunos datos se que manejaron de manera general debido a el nivel de significancia que representan como las áreas de las cubiertas con formas irregulares, los apartamentos atípicos, la depreciación acelerada o los tiempos exactos de del flujo de caja.

11. Referencias Bibliográficas

- Abella, M., (2001). Sistemas fotovoltaicos. Escuela de la organización industrial. Madrid. Recuperado de: http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf
- Alcaldía de Mosquera. (2018). Ficha Básica Estadística 2018. Municipio de Mosquera, Cundinamarca. Recuperado de: https://mosqueracundinamarca.micolombiadigital.gov.co/sites/mosqueracundinamarca/content/files/000851/42535_ficha-estadistica-2018-3.pdf
- Alcaldía de Mosquera, (2016), Plan de desarrollo 2016 - 2019 “Mosquera tarea de todos” Acuerdo 7 de 2016, Colombia.
- Arias A. y Jiménez G., (2016). La industria energética y el recurso hídrico en Colombia. breve referencia al caso de la hidroeléctrica el quimbo. *Global iure*. 4. (1). 186
- Barberá D. (2011). Introducción a la Energía Fotovoltaica. Recuperado de: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70271/fichero/02+INTRODUCCI%C3%93N+A+LA+ENERG%C3%8DA+FOTOVOLTAICA%252FIntroducci%C3%B3n+a+la+Energ%C3%ADa+Fotovoltaica.pdf>
- Báez J., Forero R. (2018). Energía solar fotovoltaica, una alternativa sustentable para el futuro. Recuperado de: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/10713/2018Baezjose.pdf?sequence=1>
- Beltrán L. (2016). *Análisis de los diferentes tipos de energías alternativas y su implementación en Colombia*. (Tesis de especialización). Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá. Colombia.
- Carbon Pricing Leadership Coalition. (2018). COP24 Carbon Pricing Champion Award Winner. Recuperado de: <https://www.carbonpricingleadership.org/news/2018/12/17/cop24-carbon-pricing-champion-award-winner-carbon-pricing-leadership-coalition-secretariat>
- Castillo Y., Castrillón M., Vanegas M., Valencia G. y Villicaña E. (2015). Rol de las Fuentes No Convencionales de Energía en el sector eléctrico colombiano. *Prospect*. 13.(1). 40
- Celsia. (2018). *Normatividad sobre energía solar en Colombia, ¿Estimula la rentabilidad?*. Recuperado de: <https://blog.celsia.com/normatividad-energia-solar-empresas-colombia/>
- Comisión de Regulación de Energía y Gas (1999). Glosario. Sistemas interconectado nacional. Recuperado de: <http://www.creg.gov.co/index.php/es/component/glossary/Glossary-1/S/SISTEMA-INTERCONECTADO-NACIONAL-%28SIN%29-780/>
- Comisión de Regulación de Energía y Gas (2018). Resolución 030 de 2018. Recuperado de: <https://www.celsia.com/Portals/0/Documentos/conexion-generacion-distribuida/Resolucion-Creg030-2018.pdf?ver=2018-04-23-181818-593>

- Congreso de la República (2013). Ley 1665 de 2013. Estatuto de la Agencia Internacional de Energías Renovables. Recuperado de: http://www.nuevaleislacion.com/files/susc/cdj/conc/est_d332_16.pdf
- Congreso de la República (2001). Ley 697 de 2001. Fomento del uso racional y eficiente de la energía y promoción de la utilización de energías alternativas. Recuperado de: <https://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/upload/reglamentacion/ley-697-2001.pdf>
- Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare. (2015). *Proyecto Gramalote - Minería de Oro a Cielo Abierto*. Recuperado de: <http://www.cornare.gov.co/LA/Gramalote/documentos/I-2250-EIA-Cap06-R06-Evaluacion-Ambiental.pdf>
- Council of the European Union (2018). Preparations for the UNFCCC meetings in Katowice - Council conclusions. Recuperado de: <https://www.consilium.europa.eu/media/36619/st12901-en18.pdf>
- Cuadros L. y Ortega D. (2012). *Derivex: “Una herramienta para contratar la energía de consumo industrial”*. Colegio de estudios superiores de administración. Bogotá. Colombia.
- DANE, (2005), Boletín, Censo general 2005 Perfil Mosquera - Cundinamarca. Colombia.
- Deltavolt. (2019). *Paneles solares, tipos y eficiencias*. Recuperado de: <https://deltavolt.pe/energia-renovable/energia-solar/paneles-solares>
- Departamento Nacional de Planeación. (2019). Ficha de Caracterización del municipio de Mosquera. Recuperado de: https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Desarrollo%20Territorial/Fichas%20Caracterizacion%20Territorial/Cmarca_Mosquera%20ficha.pdf
- Diario La República. (2017). *Conozca cuál es la huella de CO2 al transportarse*. Recuperado de: <https://www.larepublica.co/responsabilidad-social/conozca-cual-es-la-huella-de-co2-que-genera-al-transportarse-2515451>
- Diario La República. (2019). *El nuevo censo poblacional del DANE consolida a las “ciudades dormitorio” del país*. Recuperado de: <https://www.larepublica.co/economia/el-nuevo-censo-poblacional-del-dane-consolida-a-las-ciudades-dormitorio-del-pais-2885537>
- Duque E., González J., Restrepo J. y Vélez L., (2016). Las pequeñas centrales hidroeléctricas como alternativa para el mecanismo de desarrollo limpio en Antioquia, Colombia. *Espacios*. 37. (11). 24.
- Empresa de Transporte de Colectivos Eldorado. (2018). *Niveles de contaminación del transporte en Bogotá*. Recuperado de: <https://www.eltiempo.com/bogota/niveles-de-contaminacion-de-buses-de-transmilenio-187036>
- Enel-Codensa. (2019). *Tarifario de Energía Eléctrica - Agosto 2019*. Recuperado de: <https://www.enel.com.co/content/dam/enel-co/espaa%20B1ol/personas/1-17-1/2019/Tarifario-agosto-2019.pdf>

Escallón C. (2011). La vivienda de interés social en Colombia, principios y retos. *Revista de Ingeniería* (35), 55-60. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-49932011000300011

Escuela de Administración, Finanzas e Instituto Tecnológico. (2017). *Evaluación Financiera de Proyectos*. Recuperado de: <http://www.eafit.edu.co/escuelas/administracion/departamentos/departamento-contaduria-publica/planta-docente/Documents/Nota%20de%20clase%2066%20evaluacion%20financiera%20de%20proyectos.pdf>

European Photovoltaic Industry Association (2012). Photovoltaic Energy. Electricity from the sun. Recuperado de: https://www.motiva.fi/files/9179/Photovoltaic_Energy_Electricity_from_the_Sun_EPIA.pdf

European Photovoltaic Industry Association (2018). Solar Power Europe Campaign. Recuperado de: <http://www.solarpowereurope.org/european-photovoltaic-industry-association-rebrands-solarpower-europe-the-new-epia/>

Garrigos J., (2011). Introducción a la electricidad. Recuperado de: http://platea.pntic.mec.es/~jgarrigo/SAP/archivos/1eva/Introduccion_a_la_electricidad.pdf

Gobierno Provincia de Mendoza. (2017). Suplemento sobre el uso consciente de la energía. Recuperado de: <http://www.mendoza.gov.ar/wp-content/uploads/sites/14/2017/02/Fasciculo-Nro2-Energia.pdf>

Gómez E., Ríos L. y Peña J., (2012). Madera, un Potencial Material Lignocelulósico para la Producción de Biocombustibles en Colombia. *Información Tecnológica*. 23(6), 73-86

Gómez J., Murcia J., y Cabeza I. (2018). *La energía solar fotovoltaica en Colombia: Potenciales, antecedentes y perspectivas*. Recuperado de: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/10312/G%C3%B3mez2018.pdf?sequence=1>

Government of Canada. (2019). *Basics of Environmental Assessment*. Recuperado de: <https://www.canada.ca/en/impact-assessment-agency/services/environmental-assessments/basics-environmental-assessment.html#gen01>

GreenFacts., (2019). Glosario. Unión Europea. Recuperado de: http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/opinions_layman/es/campos-electromagneticos/glosario/abc/corriente-alterna.htm

Grupo Bancolombia. (2019). *¿Qué está haciendo Colombia frente al cambio climático?*. Recuperado de: <https://www.grupobancolombia.com/wps/portal/negocios-pymes/actualizate/sostenibilidad/que-esta-haciendo-colombia-frente-al-cambio-climatico>

Grupo de Investigación Orión (2013). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Recuperado de: <http://grupoorion.unex.es:8001/rid=1LDD295FR-23978Q1-282G/Presentacion%20fotovoltaica.pdf>

- Hernández C. (2011). *Análisis ambiental de las grandes centrales hidroeléctricas de Colombia aplicando metodología multiobjetivo*. Universidad de la Salle. Recuperado de: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14037/T41.11H430a.pdf?sequence=2>
- Herrera L. y Ochoa Y. (2016). *La contabilidad nacional verde en Colombia y su contribución con el desarrollo de indicadores ambientales económicos y políticas del sector minero*. (Proyecto de investigación). Universidad de pedagógica y tecnológica de Colombia. Bogotá. Colombia.
- Hoyos, F. (2018). *Los incentivos de la Ley 1715 de 2014*. Recuperado de : <https://www.asuntoslegales.com.co/analisis/felipe-hoyos-vargas-509900/los-incentivos-de-la-ley-1715-de-2014-2604529>
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. (2015). *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de Colombia. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático de Colombia*. Bogotá, Colombia. Recuperado de: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023421/cartilla_INGEI.pdf
- Ihobe. (2012). *Guía metodológica para la aplicación de la norma UNE-ISO 14064-1:2006 para el desarrollo de inventarios de Gases de Efecto Invernadero en organizaciones*. País Vasco, España, Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca Gobierno Vasco. Recuperado de : https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/uneiso14064/es_def/adjuntos/PUB-2012-019-f-C-001.pdf
- India GHG Program. (2015). *Green House Gas Protocol*. Recuperado de: <https://www.indiaghgp.org/green-house-gas-protocol>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2017). Atlas de radiación solar de Colombia. Recuperado de: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014). Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Recuperado de: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023421/cartilla_INGEI.pdf
- La Guía Solar. (2019). ¿Qué es el sistema interconectado nacional?. Recuperado de: <http://www.laguiasolar.com/que-es-el-sistema-interconectado-nacional/>
- Manotas D., Oliveros D., Taborda H., Vidal C., Lozano C., (2013). Optimización del abastecimiento energético para usuarios no regulados en Colombia. *Ingeniería y competitividad*. 16 (1). 97-108.
- McGraw Hill Colombia. (2016). *Componentes de una instalación solar fotovoltaica*. Recuperado de: <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>
- Mete M. (2014). Valor actual neto y tasa de retorno: su utilidad como herramienta para el análisis y evaluación de proyectos de inversión. *Rides et ratio*. 7. 67-85. Recuperado de: http://www.scielo.org.bo/pdf/rfer/v7n7/v7n7_a06.pdf
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2014). Plan Nacional de Negocios Verdes. Recuperado de:

http://www.minambiente.gov.co/images/NegociosVerdesysostenible/pdf/plan_de_negocios_verdes/Plan_Nacional_de_Negocios_Verdes.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2019). *Historia de Colombia frente al cambio climático*. Recuperado de: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/460-plantilla-cambio-climatico-16>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2009). *Definición Vivienda de Interés Social*. Recuperado de: <http://www.minvivienda.gov.co/ConceptosJuridicos/Concepto%20101503%20del%2010%20de%20septiembre%20de%202009%20-%20Definici%C3%B3n%20de%20inter%C3%A9s%20social.pdf>

Ministerio del Medio Ambiente de Chile (2017). *Huella de Carbono*. Recuperado de: <https://mma.gob.cl/cambio-climatico/cc-02-7-huella-de-carbono/>

Ministerio de Minas y Energía. (2012). *Energía*. Recuperado de: <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/615654/5-CapituloEnergia.pdf/d870abb7-3eeb-4659-8241-1e57ce20ccdb>

Ministerio de Minas y Energía & Unidad de Planeación Minero Energética. (2005). *Atlas de Radiación Solar de Colombia*. Recuperado de: <https://biblioteca.minminas.gov.co/pdf/Atlas%20de%20radiaci%C3%B3n%20solar%20Colombia.pdf>

Ministerio de Minas y Energía. (2014). *Memorias del congreso de la república – Energía eléctrica*. Bogotá. Colombia. 156.

Ojeda C., Candelo J. y Ortega J., (2017). *Perspectivas de Comunidades Indígenas de La Guajira Frente al Desarrollo Sostenible y el Abastecimiento Energético*. Universidad de la Costa. Colombia.

Organización de las Naciones Unidas. (2019). *Cambio climático*. Recuperado de: <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/climate-change/index.html>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015). *Introducción al Análisis Económico Financiero y Fiscal*. Recuperado de: <http://www.fao.org/in-action/herramienta-administracion-tierras/modulo-5/guia-practica-evaluacion/introduccion-abc/es/>

PV Magazine Latam. (2018). *Límite de eficiencia teórica de los paneles solares aumenta en un 33%*. Recuperado de: <https://www.pv-magazine-latam.com/2018/10/18/el-limite-de-eficiencia-teorica-de-los-paneles-solares-aumenta-en-un-33/>

Ramírez, J., Parra-Peña, R. (2013). *Metrópolis de Colombia: aglomeraciones y desarrollo*. Santiago, Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Naciones Unidas.

- Ramírez J., Paz J., Castro C. y Salazar J. (2019). *Evaluación financiera de un proyecto de reconversión energética en un conjunto residencial en Mosquera, Cundinamarca*. Recuperado de: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23539/1/TRABAJO%20DE%20SINTESIS%2027062019.pdf>
- Rodríguez D. (2017). *Energía solar en el departamento de Cundinamarca*. Recuperado de: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/6361/6/ENERGIA%20SOLAR%20EN%20EL%20DEPARTAMENTO%20DE%20CUNDINAMARCA..pdf>
- Rodríguez A. & Gutiérrez F., (2017). Reducción de la huella de carbono por medio de la implementación de un sistema fotovoltaico en el sector hotelero. Caso de estudio: Anaira Hostel (Leticia-Amazonas - Colombia). *Revista de tecnología. Universidad El Bosque*. (16)pp 169 - 182
- Romero J. (2015). Análisis del funcionamiento de paneles fotovoltaicos y su utilización en las regiones de la costa y la sierra del Ecuador. Caso de estudio: Biblioteca Pompeu Fabra de Mataró. Universitat Politècnica de Catalunya. Recuperado de: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/26396/memoria.pdf>
- Saufer Smart Energy. (2019). *Energía Fotovoltaica y Eficiencia Energética*. Recuperado de: <https://www.saufer.com.co/energia-solar/>
- Sevil, R. (2001). *Proyecto de Aprovechamiento de la Energía Solar para la producción de electricidad en el nuevo edificio de la E.T.S.E.* Recuperado de: <http://deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/103pub.pdf>
- Sistema de Información Ambiental de Colombia. (2015). *Emisiones de gases de efecto invernadero- Participación por principales categorías IPCC*. Recuperado de: <http://181.225.72.78/Portal-SIAC-web/faces/Dashboard/cambioClimatico/emisiones/emisionGasesEfectoInvernadero.xhtml>
- Torres M., Caballero J. y Awud G. (2016). Hidroeléctricas e impactos socio ambientales caso de estudio: Hidroituango. *Iberoamerican journal of project management*. 7.(1)
- Umbarila, L., Alfonso, F. & Rivera, J. (2017). La importancia de las energías renovables en la seguridad energética y su relación con el crecimiento económico. Recuperado de: <http://oaji.net/articles/2017/5565-1508902666.pdf>
- Unidad de Planeación Minero Energética. (2014). *Guía práctica para la aplicación de los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014*. Recuperado de: http://www1.upme.gov.co/Documents/Cartilla_IGE_Incentivos_Tributarios_Ley1715.pdf
- Unidad de Planeación Minero Energética. (2017). *Informe de rendición de cuentas UPME 2017*. Bogotá. Colombia. 22.
- Unidad de Planeación Minero Energética. (2015). *Hidroenergía*. Recuperado de: http://www1.upme.gov.co/Energia_electrica/Atlas/Atlas_p25-36.pdf
- Unidad de Planeación Minero Energética (2015). Resolución 281 de 2015. Límite máximo de potencia de autogeneración a pequeña escala. Recuperado de: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/col146970.pdf>

Universidad Complutense de Madrid. (2016). *Los Recursos Naturales*. Recuperado de: <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-104576/Suelos.pdf>

Unidad de Planeación Minero Energética. (2018). *Boletín estadístico de Minas y Energía*. Bogotá, Colombia. 9-11. Recuperado de: http://www1.upme.gov.co/PromocionSector/SeccionesInteres/Documents/Boletines/Boletin_Estadistico_2018.pdf

Urbansa S.A. (2018). Nuestra historia. Recuperado de: <https://www.urbansa.co/nuestra-historia>

12. Glosario de términos

- Autogeneración: Actividad realizada por cualquier persona natural o jurídica que produce energía eléctrica principalmente, para suplir sus propias necesidades (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2018)
- Corriente alterna: Es un tipo de corriente eléctrica, en la que la dirección del flujo de electrones va y viene a intervalos regulares o en ciclos. La corriente que fluye por las líneas eléctricas y la electricidad disponible normalmente en las casas procedente de los enchufes de la pared es corriente alterna (GreenFacts., 2019)
- Corriente continua: La corriente continua es aquella cuyos valores instantáneos a lo largo del tiempo son de la misma magnitud; Una de las características fundamentales de la corriente continua es que tiene polaridad (Garrigos, 2011).
- Inversor: Los sistemas fotovoltaicos o el generador, generan energía continua la cual no se puede usar directamente, a partir de eso se usa un inversor que convierta la energía continua en energía alterna, la cual se pueda usar en los equipos normalmente usados, el inversor convierte la potencia de entrada a una de salida con la máxima eficiencia posible (Abella, 2001).
- Panel fotovoltaico: Son colectores solares fotovoltaicos, también llamados paneles solares, que están formados por un conjunto de celdas que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos. (Barberá, 2011)
- Placa fotovoltaica monocristalina: Están compuestas por secciones de un único cristal de silicio, generalmente, tienen forma octagonal. (Barberá, 2011)
- Radiación solar difusa: Se refiere a la radiación emitida por la bóveda celeste diurna gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmósfera, las nubes y los demás elementos atmosféricos y terrestres. (Barberá, 2011)
- Radiación solar directa: Se refiere a la radiación que llega directamente al foco solar de la celda, sin interferencia alguna. (Barberá, 2011)
- Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE): Aprovechamiento óptimo de la energía en todas y cada una de las cadenas energéticas desde la selección de la fuente energética, su producción, transformación, transporte, distribución, y consumo incluyendo su reutilización cuando sea posible, buscando en todas y cada una de las actividades, de la cadena el desarrollo sostenible. (Congreso de la República, 2001)