

**Propuesta para la gestión de proyectos de generación de energía eléctrica, a partir de energía solar fotovoltaica en la ciudad de Medellín-Colombia aplicando los lineamientos del *PMBOK*®**

**Rafael Humberto Cabrales Navarro y Ronald Leonardo Osorio Molina**

**Trabajo de grado para optar el título de Magíster en Dirección y Gestión de Proyectos**

**Director**

**Alexander Anchicoque Calderón**

**Magíster en Gestión y Dirección de Proyectos**

**Universidad Santo Tomás, Bucaramanga**

**División de Ingeniería y Arquitectura**

**Maestría en Gestión y Dirección de Proyectos**

**2022**

### **Dedicatoria**

Dedicado principalmente a Dios, quien es el que nos da la vida, la salud y la fortaleza para superar todos los obstáculos que se nos presentan en la vida; a mi hermano Luis Alonso Osorio Molina y mis padres Luciela Molina y Alonso Osorio, ya que con su amor y cariño hacen que todo sea posible.

*Ronald Leonardo Osorio Molina*

Todo mi esfuerzo y dedicación es para mi hija Helena Cabrales, quien es motivo de mis alegrías y luchas para lograr todo lo que me propongo. Mi familia por ser apoyo incondicional a cada paso que doy y acompañarme siempre en el camino.

*Rafael Humberto Cabrales Navarro*

### **Agradecimientos**

Agradecimientos a Isabel Stella Euse Valencia, mis hermanos Luis Alonso Osorio Molina y Cristian Camilo Osorio Molina por toda su colaboración durante el transcurso de la maestría y el desarrollo de este trabajo final de maestría.

*Ronald Leonardo Osorio Molina*

Agradecimientos a mi compañero Ronald Osorio por su dedicación para sacar este proyecto adelante y a mi amiga Elaine Villa por su colaboración y disposición durante todo el desarrollo de la maestría.

*Rafael Humberto Cabrales Navarro*

## Contenido

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Introducción .....                                                                | 15 |
| 1. Aspectos contextuales.....                                                     | 18 |
| 1.1 Planteamiento del problema/caso de negocio .....                              | 18 |
| 1.2 Objetivos .....                                                               | 20 |
| 1.2.1 Objetivo general .....                                                      | 20 |
| 1.2.2 Objetivos específicos.....                                                  | 20 |
| 1.3 Descripción institucional.....                                                | 21 |
| 1.4 Revisión técnica de la propuesta .....                                        | 21 |
| 1.4.1 Materiales y/o materias primas.....                                         | 21 |
| 1.4.2 Diseño de la instalación.....                                               | 22 |
| 1.4.3 Implementación: ejecución de la obra.....                                   | 22 |
| 1.4.4 Mantenimiento.....                                                          | 22 |
| 2. Marco referencial .....                                                        | 23 |
| 2.1 Marco conceptual .....                                                        | 23 |
| 2.1.1 Energía Renovable.....                                                      | 23 |
| 2.2. Estado del arte .....                                                        | 44 |
| 2.2.1 Disponibilidad de la Energía Solar en Diferentes Regiones de Colombia ..... | 49 |
| 2.2.2. La gestión de proyectos a través de la Guía del PMBOK® .....               | 57 |
| 2.2.3 Grupos de proceso de la gestión de proyectos.....                           | 58 |
| 3. Áreas de conocimiento.....                                                     | 60 |
| 3.1 Gestión de la integración del proyecto.....                                   | 61 |
| 3.1.1. Acta de constitución del proyecto .....                                    | 61 |

|                                                                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2 Gestión del alcance del proyecto.....                                                                                                                            | 63 |
| 3.3 Gestión del cronograma del proyecto.....                                                                                                                         | 67 |
| 3.4 Gestión de los costos del proyecto .....                                                                                                                         | 69 |
| 3.5 Gestión de la calidad del proyecto .....                                                                                                                         | 71 |
| 3.6 Gestión de los recursos del proyecto.....                                                                                                                        | 72 |
| 3.7 Gestión de las comunicaciones del proyecto.....                                                                                                                  | 73 |
| 3.8 Gestión de los riesgos del proyecto.....                                                                                                                         | 74 |
| 3.8.1 Planificar los Riesgos .....                                                                                                                                   | 74 |
| 3.8.2 Planificación de respuesta a los riesgos.....                                                                                                                  | 76 |
| 3.9 Gestión de las adquisiciones del proyecto.....                                                                                                                   | 77 |
| 3.10 Gestión de los interesados del proyecto .....                                                                                                                   | 77 |
| 3.10.1 Planificación de respuesta a los interesados .....                                                                                                            | 79 |
| 4. Resultados.....                                                                                                                                                   | 79 |
| 4.1 Benchmarking de algunos perfiles de proyectos basados en la energía solar fotovoltaica como opción sustentable de suministro de energía Medellín – Colombia..... | 80 |
| 4.1.1 Alcance del análisis .....                                                                                                                                     | 80 |
| 4.1.2 Empresas participantes .....                                                                                                                                   | 81 |
| 4.1.3 Descripción de las fuentes de información.....                                                                                                                 | 82 |
| 4.1.4 Desarrollo del análisis .....                                                                                                                                  | 82 |
| 4.2 Identificar procedimientos para la evaluación de factibilidad ambiental, económica y social.<br>.....                                                            | 84 |
| 4.2.1 Pasos para crear un análisis PESTEL.....                                                                                                                       | 85 |

|                                                                                                                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.3 Procedimientos metodológicos basados en las buenas prácticas para proyectos de generación de energía a partir de energía solar fotovoltaica según el <i>PMBOK</i> ®. .... | 86  |
| 4.3.1 Gestionar la integración del proyecto.....                                                                                                                              | 86  |
| 4.3.2 Validación y control del alcance de la propuesta .....                                                                                                                  | 87  |
| 4.3.3 Gestión del cronograma.....                                                                                                                                             | 87  |
| 4.3.4 Plan para la gestión de costos .....                                                                                                                                    | 88  |
| 4.3.5 Gestión de la calidad de los proyectos.....                                                                                                                             | 89  |
| 4.3.6 Plan para la gestión de los recursos .....                                                                                                                              | 91  |
| 4.3.7 Gestión de las comunicaciones.....                                                                                                                                      | 93  |
| 4.3.8 Plan para la gestión de riesgos.....                                                                                                                                    | 94  |
| 4.3.9 Gestión de las adquisiciones.....                                                                                                                                       | 95  |
| 5. Discusión.....                                                                                                                                                             | 97  |
| 6. Conclusiones.....                                                                                                                                                          | 98  |
| Referencias.....                                                                                                                                                              | 100 |
| Apéndices.....                                                                                                                                                                | 106 |

**Lista de tablas**

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1.</b> <i>Ventajas y desventajas de las energías renovables</i> .....   | 24 |
| <b>Tabla 2.</b> <i>Tipos de energías renovables</i> .....                        | 25 |
| <b>Tabla 3.</b> <i>Análisis de datos recursos solares por ciudades.</i> .....    | 51 |
| <b>Tabla 4.</b> <i>Acta de constitución del proyecto</i> .....                   | 61 |
| <b>Tabla 5.</b> <i>Matriz de requisitos del proyecto</i> .....                   | 63 |
| <b>Tabla 6.</b> <i>Presupuesto del proyecto</i> .....                            | 70 |
| <b>Tabla 7.</b> <i>Presupuesto gestión del proyecto</i> .....                    | 70 |
| <b>Tabla 8.</b> <i>Tablero de gestión de calidad</i> .....                       | 71 |
| <b>Tabla 9.</b> <i>Recurso humano presupuestado</i> .....                        | 73 |
| <b>Tabla 10.</b> <i>Requerimientos de comunicación del proyecto</i> .....        | 73 |
| <b>Tabla 11.</b> <i>Matriz de identificación de riesgos</i> .....                | 75 |
| <b>Tabla 12.</b> <i>Lista de interesados del proyecto</i> .....                  | 78 |
| <b>Tabla 13.</b> <i>Relación de empresas participantes</i> .....                 | 81 |
| <b>Tabla 14.</b> <i>Tabla comparativa Benchmarking</i> .....                     | 83 |
| <b>Tabla 15.</b> <i>Tipo de reuniones</i> .....                                  | 93 |
| <b>Tabla 16.</b> <i>Matriz de gestión de comunicación</i> .....                  | 93 |
| <b>Tabla 17.</b> <i>Resumen de actividades para realizar la propuesta.</i> ..... | 96 |

**Lista de figuras**

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> <i>Costos de la cadena de valor</i> .....                        | 23 |
| <b>Figura 2.</b> <i>Esquema del efecto fotovoltaico en panel solar.</i> .....     | 28 |
| <b>Figura 3.</b> <i>Parque eólico de Waubra</i> .....                             | 31 |
| <b>Figura 4.</b> <i>Esquema de una central hidroeléctrica</i> .....               | 33 |
| <b>Figura 5.</b> <i>Esquema de funcionamiento de una central Geotérmica</i> ..... | 35 |
| <b>Figura 6.</b> <i>Líneas base para la gestión de proyectos</i> .....            | 56 |
| <b>Figura 7.</b> <i>Estructura de desglose de trabajo</i> .....                   | 66 |
| <b>Figura 8.</b> <i>Cronograma del proyecto</i> .....                             | 68 |
| <b>Figura 9.</b> <i>Diagrama de Gantt Cronograma del Proyecto</i> .....           | 69 |
| <b>Figura 10.</b> <i>Estructura de desglose de recursos</i> .....                 | 72 |
| <b>Figura 11.</b> <i>Matriz de probabilidad e impacto</i> .....                   | 76 |
| <b>Figura 12.</b> <i>Matriz de poder e influencia</i> .....                       | 79 |
| <b>Figura 13.</b> <i>Diagrama causa - efecto</i> .....                            | 90 |
| <b>Figura 14.</b> <i>Organigrama a utilizar</i> .....                             | 92 |
| <b>Figura 15.</b> <i>Estructura de desglose de riesgos</i> .....                  | 94 |



**Lista de apéndices**

|                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Apéndice A.</b> <i>Carta del proyecto .....</i>                                      | 106 |
| <b>Apéndice B.</b> <i>Acta de constitución del proyecto .....</i>                       | 107 |
| <b>Apéndice C.</b> <i>Presupuesto de proyectos de generación de energía solar .....</i> | 108 |
| <b>Apéndice D.</b> <i>Generalidades de las adquisiciones.....</i>                       | 108 |
| <b>Apéndice E.</b> <i>Formato de identificación de proveedores.....</i>                 | 109 |

### **Resumen**

Considerando el auge que actualmente tienen los proyectos basados en energía fotovoltaica en Colombia, se planteó la necesidad de formular una propuesta para mejorar la ejecución de estos, basados en los Lineamientos del PMBOK, como alternativa para mejorar los costos que estos requieren y de igual manera mejorar los resultados esperados en dichos proyectos. Como parte de la propuesta, se establecieron procedimientos metodológicos basados en buenas prácticas en gerencia de proyectos, que permitan la adecuada implementación de proyectos de energía solar fotovoltaica en Medellín, y que a su vez optimicen los resultados. Lo anterior se realizó basado en la descripción de los procesos de planificación que fueron utilizados para el diseño de la guía y el desarrollo de la metodología para la implementación de estos, teniendo en cuenta las características, las necesidades y los posibles interesados en los proyectos de energía fotovoltaica y el contexto en que pueden ser implementados. Para el desarrollo de esta propuesta, solo se consideraron las fases de inicio y planificación del proyecto; las actividades de ejecución y monitoreo no se llevaron a cabo ya que implicaría como tal la implementación de un estudio adicional para tener una visualización completa del impacto de estas actividades.

*Palabras clave:* energía, fotovoltaica, PMBOK, planificación

### **Abstract**

Considering the current boom that photovoltaic-based projects have in Colombia, a proposal was formulated based on the need to improve the execution of these projects following the Project Management Body of Knowledge (PMBOK). This was proposed as an alternative for cost improvement and at the same time to improve the results of these projects. As part of the proposal, methodological procedures that allow the proper implementation and optimization of the outcome of photovoltaic solar energy projects in Medellin were established, following project management good practices. This was carried out based on the description of the planning processes used for the design of the guide and to develop the methodology for their implementation, taking into account the characteristics, needs, and possible stakeholders for photovoltaic energy projects, as well as the context in which they can be implemented. Only the project start-up and planning activities were considered for the development of this proposal. Execution and monitoring activities were not conducted since it would imply the implementation of an additional study to have a throughout visualization of the impact these activities.

*Keywords:* energy, photovoltaic, PMBOK, planning

### **Glosario**

*Energía Solar fotovoltaica:* la energía solar fotovoltaica es aquella que se obtiene al convertir la luz solar en electricidad empleando una tecnología basada en el efecto fotoeléctrico. Se trata de un tipo de energía renovable, inagotable y no contaminante que puede producirse en instalaciones que van desde los pequeños generadores para autoconsumo hasta las grandes plantas fotovoltaicas.

*PMBOK:* documento creado por el PMI (Project Management Institute) que contiene procesos, prácticas recomendadas, terminologías y directrices para una gestión de proyectos exitosa.

*Panel solar:* plancha de vidrio, estaño y otros materiales, que se coloca en un lugar despejado y recoge la energía solar para conducirla a un transformador de energía eléctrica.

*Celda solar:* dispositivos capaces de convertir la radiación solar en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico. Las celdas solares se constituyen de materiales semiconductores, generalmente de silicio.

*Corriente alterna:* la corriente alterna (CA) 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.

*Inversor:* la corriente eléctrica continua que proporcionan los módulos fotovoltaicos se puede transformar en corriente alterna mediante un aparato electrónico llamado inversor, e inyectar en la red eléctrica (para venta de energía) o bien en la red interior (para autoconsumo).

*Sistema eléctrico:* se define como el conjunto de instalaciones, conductores y equipos necesarios para la generación, el transporte y la distribución de la energía eléctrica. Se divide en tres subsistemas principales: generación, transporte y distribución.

*Energía eólica:* es aquella que se obtiene a partir de la fuerza del viento. ¿Cómo? A través de un aerogenerador que transforma la energía cinética de las corrientes de aire en energía eléctrica.

*Energía geotérmica:* es la energía que puede obtenerse mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra. Energía almacenada en forma de calor en rocas, suelos y aguas subterráneas, cualquiera que sea su temperatura y profundidad.

*Biomasa:* la biomasa es el conjunto de la materia orgánica, de origen vegetal o animal, y los materiales que proceden de su transformación natural o artificial.

*Recursos renovables:* un recurso renovable es aquel que es susceptible de ser restaurado mediante procesos naturales con una rapidez superior a la del consumo de los seres humanos.

*Radiación solar:* es la energía emitida por el Sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. Esa energía es el motor que determina la dinámica de los procesos atmosféricos y el clima.

*Climatología:* es la ciencia que estudia los climas. Se basa en el estudio de las medidas registradas de los parámetros meteorológicos en el mayor número de lugares, y para cada lugar en el mayor número de años posible.

*Aerogeneradores:* es un dispositivo que convierte la energía cinética del viento en energía eléctrica.

*Avifauna:* conjunto de especies de aves que habitan una determinada región. En el mundo de la ornitología este concepto es utilizado con mucha frecuencia, puesto que son muchos los

aficionados que se desplazan a determinados lugares de la Tierra para observar unas especies de aves en concreto.

*Acuífero:* un acuífero se define como una formación geológica que está constituida por una o más capas de rocas, capaz de almacenar y ceder el agua. Se sitúa en el suelo en la zona denominada “zona saturada”.

*Fotones:* el fotón es la partícula de luz portadora la interacción electromagnética. Un fotón se caracteriza por su energía o, equivalentemente, por su frecuencia.

*Benchmarking:* consiste en un estudio profundizado sobre tus competidores para entender las estrategias y mejores prácticas utilizadas por ellos. Siendo así, este análisis permite que tu empresa reproduzca o adapte algunas de las acciones para atraer al público y reconquistarlo.

*Estructura de desglose de trabajo:* es la descomposición de un proyecto que está organizado en varios niveles. En otras palabras, es una forma más sencilla de ver los entregables que hay que hacer para poder procesarlas.

*Estructura de desglose de recursos:* es un instrumento de gestión de proyectos que se utiliza para desglosar jerárquicamente los recursos por categoría y tipo. Se utiliza para desglosar los recursos que costarán dinero, como el equipo, los recursos humanos y el material, la maquinaria, etc.

*Adquisiciones:* es el acto jurídico por virtud del cual se adquiere el dominio o propiedad de una cosa o un bien (mueble o inmueble) a título oneroso o gratuito, a título singular o universal; en la administración pública el concepto de adquisiciones es muy amplio, engloba todas las acciones para suministrar bienes y proporcionar servicios para realizar las funciones sustantivas.

## **Introducción**

Desde el inicio de la humanidad, la energía en sus diferentes manifestaciones ha jugado un papel fundamental en el desarrollo de las naciones y en los avances tecnológicos que mejoran cada día la calidad de vida de las personas, el hombre la ha necesitado para sobrevivir y avanzar. En la naturaleza está presente en diferentes manifestaciones y se rige por un principio fundamental: la energía no se crea ni se destruye solo se transforma, denominado la ley de la conservación de la energía. Una de esas fuentes es la conocida energía solar y que con los dispositivos adecuados es posible transformarla en energía eléctrica, recurso indispensable en la vida del ciudadano moderno.

En las distintas etapas de la historia de la humanidad, cada una de las civilizaciones ha mostrado un alto grado de desarrollo y sostenibilidad a lo largo del tiempo. Cada una de ellas se ha destacado gracias a los avances tecnológicos y el entendimiento de los fenómenos físicos que se ven reflejados mediante el desarrollo de la ciencia, aplicada en campos como la construcción, la astronomía, la física, entre otros. Cada civilización ha dejado plasmado en libros, murales (jeroglíficos) y hasta en sus propias construcciones, la memoria de los avances tecnológicos adquiridos hasta el momento; un ejemplo claro de estas civilizaciones son los Mayas, los egipcios y los Aztecas, que con sus mega construcciones (difíciles de replicar en esta época), nos dejaron en claro el alto avance tecnológico y científico que tuvieron durante su existencia.

Algunos pilares de esos avances están basados en los recursos naturales presentes alrededor del mundo y de los cuales el hombre ha sacado beneficio para generar progreso; descubrir y entender fenómenos naturales ha servido como agente facilitador para mejorar la calidad de vida. Sin embargo, la intervención del hombre en el descubrimiento de los diferentes fenómenos naturales como la electricidad, ha generado efectos contaminantes en la misma; un caso particular

radica en la utilización de carbón y petróleo para la generación de energía eléctrica, recurso básico para el desarrollo de las actividades diarias y productivas de la sociedad.

Normalmente, en los países se dispone de un esquema de generación centralizado a gran escala, ubicado lejos del sistema de distribución y por lo general se realiza con fuentes convencionales como la hidráulica. Así mismo, se cuenta con esquemas de generación distribuidos, en los cuales varias fuentes de generación aportan pequeñas porciones de energía eléctrica ( $< 10$  MW) que utilizan tecnologías limpias (fotovoltaica, eólica, geotérmica, biomasa, minihidráulica) y se encuentran ubicados cerca al Sistema de Distribución Local - SDL o conectadas en las instalaciones de los consumidores. A nivel mundial, se espera que para el 2040 las fuentes de energía renovables tengan una participación del 40% de la capacidad total (Gómez y Rendón, 2020).

En Colombia, existen zonas que no gozan del servicio de energía eléctrica, muchas veces por el difícil acceso para la instalación de toda la infraestructura de redes eléctricas.

La capacidad instalada de generación de energía solar fotovoltaica en el mundo para el año 2014 fue de 177 GW, en el año 2015 se incrementaron 50 GW respecto al año anterior, logrando un valor histórico de 227 GW y un crecimiento del 25% de esta fuente renovable. En el año 2015 las energías renovables representaron el 23,7% de la capacidad de generación de energía del mundo, dentro de estas, la fotovoltaica representaba el 1,2%; Los países líderes en generación eléctrica fotovoltaica son: China, Alemania, Japón, Estados Unidos, Italia, Reino Unido, Francia, España, India y Australia. Se estima que la energía solar fotovoltaica ha generado alrededor de 2.772 empleos en el mundo y su mercado se aproxima a los USD 300 millones anuales (Gómez-Ramírez, et ál., 2017).



En Colombia los proyectos de producción de energía eléctrica están tomando fuerza ya que se cuenta, en la mayoría del territorio nacional con buena presencia de este recurso natural; aunque a la fecha no tienen un rendimiento significativo a corto plazo que permita sustituir de manera definitiva el suministro de energía tradicional.

Teniendo en cuenta esto, surge el interrogante ¿De qué manera se pueden utilizar los estándares del PMI en la gestión y administración de proyectos de generación de energía eléctrica a partir de energía solar en niveles altamente considerables en la ciudad de Medellín?

Dentro de este proyecto se toma como referente la ciudad de Medellín para el desarrollo de este debido a la característica innovadora de la misma y más aún por mostrarse interesada en el cuidado del medio ambiente.

Tomando en cuenta que la energía solar fotovoltaica es de los recursos renovables más importantes en la actualidad debido a que no contamina, no necesita muchos procesos para su mantenimiento y aparte proporciona un ahorro en el consumo de energía; se entiende por qué es indispensable tener unos estándares que permitan la propuesta y puesta en marcha de este tipo de proyectos con el fin de lograr los objetivos planteados.

La planeación y posible puesta en marcha de este tipo de proyecto desde los estándares del PMBOK® permitirá a las industrias tener procesos amigables con el medio ambiente, reducir costos y de la misma manera a la comunidad en general, se podrá tener mayor control en el consumo de la energía; además de una manera más practica ya que la instalación de sistema de paneles solares es más simple que el proceso de suministro de energía tradicional, especialmente para los habitantes de zonas apartadas y de difícil acceso; a los cuales se podrá llegar gracias a la inversión en proyectos de este tipo desde el sector público y privado.

## **1. Aspectos contextuales**

Actualmente, tanto la obtención de energía como el desarrollo tecnológico junto con la innovación son los principales pilares del crecimiento económico de todos los países.

De acuerdo con la *Unidad de Planeación Minero-Energética* (UPME), la demanda de energía eléctrica en el año 2020 fue de 70.422 GWh (Díaz, 2018); lo que representa un aumento de energía, volviéndose necesario optar por nuevos sistemas tecnológicos innovadores que busquen la mejor forma de generación de energía eléctrica, sin afectar al medio ambiente y que ayude a solventar la demanda creciente.

Con base en lo anterior, la búsqueda de la viabilidad en la gestión de proyectos de generación de energía eléctrica a partir de sistemas fotovoltaicos (energía solar) toma una relevancia significativa; por tal motivo en esta sección se describen los aspectos más importantes a tener en cuenta en la gestión de proyectos de esta índole en la ciudad de Medellín-Colombia; cuyo entregable final será una propuesta, para la gestión de proyectos de generación de energía eléctrica a partir de sistemas fotovoltaicos que permita obtener energía de la manera más limpia.

### **1.1 Planteamiento del problema/caso de negocio**

Desde el inicio de la humanidad, la energía ha jugado un papel fundamental en el desarrollo de las naciones y en los avances tecnológicos que mejoran cada día la calidad de las personas ya que el hombre la ha necesitado para sobrevivir y avanzar como civilización. La energía se encuentra presente en la naturaleza en diferentes manifestaciones, una de ellas es la energía solar, la cual, con los dispositivos adecuados puede ser transformada en energía eléctrica; ya que la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma (Muñoz, 2016).

Normalmente, en los países se dispone de un esquema de generación centralizado a gran escala, ubicado lejos del sistema de distribución y por lo general se realiza con fuentes convencionales como la hidráulica. Así mismo, se cuenta con esquemas de generación distribuidos, en los cuales varias fuentes de generación aportan pequeñas porciones de energía eléctrica ( $< 10$  MW) que utilizan tecnologías limpias (fotovoltaica, eólica, geotérmica, biomasa, minihidráulica) y se encuentran ubicados cerca al Sistema de Distribución Local - SDL o conectadas en las instalaciones de los consumidores. A nivel mundial, se espera que para el 2040 las fuentes de energía renovables tengan una participación del 40% de la capacidad total (Gómez y Rendón, 2020).

Las condiciones geográficas y climáticas son inherentemente importantes para las fuentes de energía renovables. Países cercanos al Ecuador, como Colombia, tienen una radiación solar promedio más alta que la mayoría de los países en Europa o Estados Unidos (López – Krumm, et ál., 2020) y existen mapas que pueden ser consultados en la UPME, donde se evidencia el potencial en materia de energía solar en Colombia. El mayor potencial en Colombia se encuentra en las regiones de la Costa Atlántica y Pacífica, la Orinoquía y la Región Central (Gómez-Murcia, et ál., 2017). Los resultados de radiación solar en Colombia muestran el potencial de esta tecnología, especialmente para ZNI (Zonas no Interconectadas) (Berrío y Zuluaga, 2014).

Con la tecnología actual, la energía generada en instalaciones con sistemas fotovoltaicos y estaciones aún es muy costosa resultando más económico el valor del KWh con las formas de generación tradicionales. Sin embargo, estas tecnologías están desarrollándose rápidamente, y el costo de producción de energía eléctrica por esta vía está disminuyendo, además permiten mayor independencia de redes de distribución por parte del cliente (Berrío y Zuluaga, 2014) y esto,

sumado al hecho de que los países quieren acelerar la transición de un modelo completamente centralizado a un modelo distribuido.

A pesar de que Colombia dispone del recurso solar gratuito con excelentes niveles de radiación en todo el territorio, durante la mayor parte del día y del año, la adopción de esta tecnología crece a unas proporciones muy bajas, de esta manera no se espera un aporte significativo en el corto plazo para reemplazar los sistemas de generación tradicionales a partir de recursos fósiles y el país seguirá dependiendo de la generación hidroeléctrica que ante fenómenos como “El Niño” pierde su eficiencia y capacidad de generar los valores nominales (Celsia, 2018). Con base a todo lo anterior vale la pena cuestionar ¿De qué manera se pueden utilizar los estándares del PMI en la gestión y administración de proyectos de generación de energía eléctrica a partir de energía solar en niveles altamente considerables en la ciudad de Medellín?

## **1.2 Objetivos**

### ***1.2.1 Objetivo general***

Desarrollar una propuesta para la gestión de proyectos de generación de energía eléctrica, a partir de energía solar fotovoltaica en la ciudad de Medellín-Colombia teniendo en cuenta los lineamientos del *PMBOK®*.

### ***1.2.2 Objetivos específicos***

- Realizar el análisis de algunos perfiles de proyectos basados en la energía solar fotovoltaica como opción sustentable de suministro de energía en alumbrados públicos, señalizaciones y demás en la ciudad de Medellín.

- Identificar procedimientos para la evaluación de factibilidad ambiental, económica y social de los proyectos de generación de energía eléctrica, a partir de energía solar fotovoltaica identificados en la ciudad de Medellín.
- Establecer procedimientos metodológicos basados en buenas prácticas, que permitan la adecuada implementación de proyectos de energía solar fotovoltaica en Medellín y que a su vez optimice los resultados en los mismos.

### **1.3 Descripción institucional**

Este proyecto se desarrollará en la ciudad de Medellín-Colombia, situada en el Valle de Aburrá. Con una población de 2569 millones de habitantes según el DANE, es conocida como la “Ciudad de la eterna primavera” y es la capital de la provincia montañosa de Antioquia en Colombia. Según (Informa, s.f.), Medellín cuenta con aproximadamente 79.215 empresas; estando ubicada como la segunda ciudad del país, con mayor número de empresas activas.

### **1.4 Revisión técnica de la propuesta**

La cadena de valor debe ser aplicada de forma adecuada. Para este estudio del proyecto, se debe iniciar desde su concepción hasta la parte final. De acuerdo con el análisis bibliográfico, primeramente, se deben conocer las partes fundamentales en las que este proyecto se divide:

#### ***1.4.1 Materiales y/o materias primas***

Generalmente, los materiales representan el 75% del costo total de la ejecución del proyecto; esto incluye los módulos fotovoltaicos, las estructuras, los inversores y demás materiales como cables, tornillería, dispositivos auxiliares etc.

#### ***1.4.2 Diseño de la instalación***

El diseño es la componente que menor valor económico tiene, en la cadena de valor de suministro de una instalación fotovoltaica; sin embargo, un mal diseño de la instalación puede provocar un mal funcionamiento en términos de producción de electricidad y rentabilidad económica.

#### ***1.4.3 Implementación: ejecución de la obra***

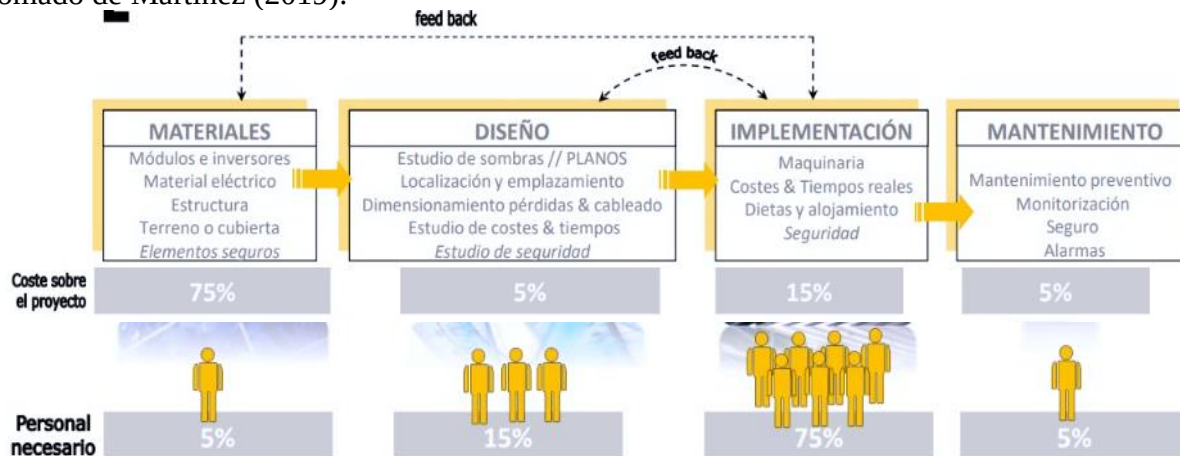
La construcción de una instalación solar fotovoltaica representa el 15% del valor total del proyecto y es la parte de la Cadena de Valor que mayor planificación exige de todas ellas, y la más susceptible a imprevistos y retardos.

#### ***1.4.4 Mantenimiento***

Esta parte no está incluida dentro del alcance del proyecto, sin embargo, se debe tener en cuenta que el mantenimiento preventivo y correctivo de una instalación fotovoltaica representa alrededor del 5% del costo total de la instalación solar.

**Figura 1.** Costos de la cadena de valor

Tomado de Martínez (2019).



## 2. Marco referencial

Dentro del proceso de conocimiento de la obtención de energía eléctrica mediante la energía solar fotovoltaica, es necesario la identificación y el conocimiento de los conceptos claves que definen a esta última para así poder demarcar la utilidad que podrían tener los proyectos que implementen la misma y estén enmarcados en la Guía del *PMBOK®*.

### 2.1 Marco conceptual

#### 2.1.1 Energía Renovable

La energía es renovable cuando su fuente de energía se basa en la utilización de recursos naturales inagotables, como el sol, el viento, el agua o la biomasa. Las energías renovables, (*renewable energy* en inglés), se caracterizan por no utilizar combustibles fósiles, sino recursos naturales capaces de renovarse ilimitadamente. Además de ser energías inagotables, no producen gases de efecto invernadero (GEI), causantes principales del cambio climático, así como otras emisiones contaminantes, por lo que tienen un impacto ambiental muy escaso. Las energías

renovables son fuentes de energía limpias. Una energía limpia y renovable se llama energía verde.

Pero es importante saber que no toda la energía limpia es renovable, como la energía nuclear.

La energía hidráulica, eólica, solar, biomasa y geotérmica son energías limpias e inagotables. Como energías renovables, juegan un papel fundamental en la transición energética. Por lo tanto, es esencial promover su desarrollo para combatir el cambio climático. En la tabla 1 se observan las ventajas y desventajas de las energías renovables:

**Tabla 1. Ventajas y desventajas de las energías renovables**

| Ventajas de las energías renovables                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Desventajas de las energías renovables                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Son ilimitadas: lo que permite utilizarlas de forma continuada y a largo plazo sin problemas de disponibilidad o escasez.</li> <li>2. Permiten la producción a pequeña escala o nivel de usuario.</li> <li>3. Favorecen la producción descentralizada, reduciendo pérdidas eléctricas en sistemas de transporte de energía.</li> <li>4. No generan gases de efecto invernadero.</li> <li>5. No generan residuos tóxicos o de difícil tratamiento.</li> <li>6. Generan puestos de trabajo a nivel local en los lugares donde se implementan.</li> <li>7. Favorecen la independencia energética de países no productores de combustibles fósiles.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. La inversión inicial supone un gran movimiento de dinero y la rentabilidad no suele llegar a corto plazo.</li> <li>2. Algunas fuentes de energía renovable son intermitentes, por lo que sólo producen energía en determinadas condiciones y necesitan otras fuentes de apoyo para garantizar una producción continua.</li> <li>3. No están disponibles en todas las ubicaciones, cada zona dispone de mejores recursos naturales de una fuente u otra para la obtención de energía.</li> <li>4. Algunas fuentes de energía renovable necesitan de grandes construcciones que afectan el ecosistema donde se ejecutan dichas instalaciones, no obstante, su impacto ambiental, es siempre menor, al producido por las centrales de generación eléctrica convencional.</li> <li>5. Dependiendo de la fuente de energía renovable, necesitan de un gran espacio para poder desarrollarse, o suponen disponer de un gran sistema para que surja algún efecto.</li> </ol> |

**2.1.1.1 Tipos de energías renovables.** Existen varios tipos de energías renovables: la energía solar, la energía eólica, la energía hidroeléctrica, la energía geotérmica y la bioenergía. En la tabla 2 se muestran los tipos de energías renovables, su fuente, las tecnologías y sus aplicaciones.



**Tabla 2.** *Tipos de energías renovables*

| <b>Energía renovable</b> | <b>Fuente</b> | <b>Tecnologías</b>                                       | <b>Aplicaciones</b>                                   |
|--------------------------|---------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Energía solar            | Sol           | Fotovoltaica, termo solar                                | Electricidad, calefacción, refrigeración              |
| Energía eólica           | Viento        | Turbinas eólicas                                         | Electricidad                                          |
| Energía hidroeléctrica   | Agua          | Centrales hidroeléctricas                                | Electricidad                                          |
| Energía geotérmica       | Tierra        | Sistemas geotérmicos superficiales y bombas de calor     | Electricidad, calefacción y refrigeración             |
| Bioenergía               | Biomasa       | Combustión de biomasa, plantas de biogás, biocarburantes | Electricidad, calefacción y refrigeración, transporte |

**2.1.1.1 Energía Solar.** Es la energía contenida en la radiación solar, este tipo de energía renovable se genera mediante reacciones de fusión nuclear en el Sol. La radiación viaja hacia la Tierra mediante la radiación electromagnética y posteriormente, puede ser aprovechada mediante la instalación de paneles solares y otros sistemas para obtener energía térmica o para la generación eléctrica (Espinoza, 2021). En la actualidad la energía solar se puede clasificar en dos tipos, energía solar pasiva y energía solar activa.

**2.1.1.1.1 Energía Solar Pasiva.** Es el método más antiguo de aprovechamiento de la radiación solar, el objetivo es aprovechar la luz del sol de forma directa sin el uso de dispositivos mecánicos ni eléctricos, la termodinámica juega un papel fundamental en este aspecto debido a que la transferencia de calor y temperatura son la base de este sistema. Esta técnica se realiza mediante un análisis preciso que permita la adecuada ubicación, diseño y orientación de los edificios aprovechando al máximo el clima local (Planas, 2022). Su premisa es emplear correctamente las propiedades de los materiales y los elementos arquitectónicos, además de saber gestionar el flujo de corrientes de aire dentro del edificio, para el cumplimiento de dos funciones:

Recolección, almacenamiento y distribución de energía solar en forma de calor en el invierno.

Disipar el exceso de calor solar en el verano. La energía solar pasiva utiliza componentes para controlar el calor generado por el Sol, por ejemplo: la construcción de paredes, suelos, techos, ventanas, elementos de construcción exterior y paisajismo (Planas, 2022).

**2.1.1.1.2 Energía Solar Activa.** La energía solar activa clasifica las tecnologías relacionadas con el aprovechamiento de la energía solar que utilizan equipamientos mecánicos o eléctricos para mejorar el rendimiento o para procesar la energía obtenida ya sea convirtiéndola en energía eléctrica o mecánica (Planas, 2017). Las aplicaciones de la energía solar activa se pueden clasificar de dos tipos, energía solar térmica y energía solar fotovoltaica.

Energía solar térmica: Es el método mediante el cual se transforma la radiación solar en energía térmica (Calor) a través del uso de colectores solares. Se basa en el aprovechamiento de las propiedades de la termodinámica para aumentar la temperatura de un fluido aumentando su energía calorífica y por lo tanto su entropía, en este tipo de aprovechamiento no se genera electricidad excepto en las centrales solares termoeléctricas (Planas, 2021). Los colectores solares también llamados captadores solares son un tipo de panel solar cuya función es convertir la radiación del Sol en calor, existen diferentes tipos de colectores dependiendo de la temperatura de trabajo, la mayoría de los colectores solares se colocan sobre soportes fijos con una orientación calculada para que puedan captar la mayor cantidad de radiación solar durante el día y durante el año, sin embargo existen captadores con sistemas de seguimiento del Sol, es decir su posición e inclinación va variando al largo del día para mantener una posición perpendicular a la radiación solar recibida (Planas, 2020). Existen tres tipos de energía solar térmica:

- a) Alta temperatura: Se maneja en las centrales termosolares para la generación de electricidad y trabaja con temperaturas por encima de los 500° C. Básicamente el funcionamiento consiste en concentrar la radiación solar mediante diferentes espejos que son capaces de direccionarla a un punto específico: una torre donde se encuentra ubicado un tanque con agua en la cima, gracias a que el agua se calienta se genera vapor, el cual es capaz de accionar una turbina que está conectada mecánicamente a un generador eléctrico.
- b) Media temperatura: utilizan dispositivos que concentran la radiación solar para obtener mayores temperaturas. Se utilizan principalmente para aplicaciones que demanden entre 125° C y 400° C.
- c) Baja temperatura: utiliza la energía térmica directamente y es capaz de proveer calor útil a temperaturas menores de 65° C, se utiliza para aplicaciones de uso doméstico (agua caliente y calefacción), calentamiento de piscinas y para usos industriales que requieren agua caliente con baja temperatura.

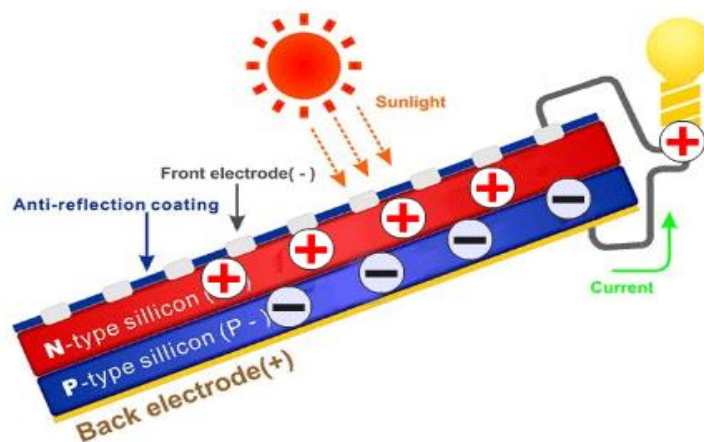
Energía solar fotovoltaica: también conocida como energía fotoeléctrica, es una energía renovable que a través del efecto fotovoltaico transforma la radiación solar en electricidad, para dicha transformación se utilizan paneles solares compuestos de células fotovoltaicas, dichas células están formadas por un material semiconductor que posee electrones sensibles a la radiación solar, el material más común es el Silicio (Planas, 2021). Los materiales semiconductores tienen la particularidad de presentar un comportamiento diferente ante la electricidad, ya que dependen de si una fuente energética externa tal como la radiación solar los estimula o no, esto se puede explicar mediante el llamado efecto fotovoltaico, el cual inicia en el momento en el que un fotón (Partícula de luz radiante) impacta con un electrón de la última órbita de un átomo del material semiconductor (Silicio), éste último electrón se llama electrón de valencia y recibe la energía con

la que viajaba el fotón, si la energía que adquiere el electrón supera la fuerza de atracción del núcleo del átomo (energía de valencia), el electrón saldrá de su órbita y quedara libre del átomo, seguidamente los electrones que se liberan van a otros átomos donde hay espacios libres (Planas, 2022).

El movimiento de estos electrones es lo que se conoce como corriente de carga, dicha corriente puede alcanzar los contactos y salir del material con el fin de realizar un trabajo útil, para que esto suceda de manera constante y regular, es necesario que exista la presencia de un campo eléctrico de polaridad constante, tal como lo muestra la figura 2. En las células solares el campo eléctrico se forma al combinar dos capas de material semiconductor, pero con cargas eléctricas opuestas (Planas, 2022).

Mientras más energía solar reciba una célula, mayor será la energía eléctrica que se generará ya que el número de electrones conductores que se crean serán más numerosos.

**Figura 2.** Esquema del efecto fotovoltaico en panel solar



Tomado de Yuste (2015).

La producción de energía fotovoltaica puede ser a gran o pequeña escala, además puede combinarse con otras fuentes de energía. Los principales usos de la energía solar fotovoltaica son los siguientes (Planas, 2021):

- a) Generar electricidad para la venta en la red eléctrica.
- b) Sistemas autónomos de iluminación.
- c) Señalización mediante energía fotovoltaica.
- d) Electrificación rural.
- e) Sistemas fotovoltaicos relacionados con las telecomunicaciones.
- f) Explotaciones agrícolas y ganaderas.

Las instalaciones fotovoltaicas pueden ser acopladas en el suelo, en azoteas, en techos o paredes, además pueden ser flotantes (dispuestas en agua). El soporte puede ser fijo o usar un seguidor solar para estar siempre orientados al Sol (Planas, 2021).

A pesar de que las características son distintas en instalaciones solares fotovoltaicas y en instalaciones solares térmicas, se tratarán las ventajas y desventajas de forma global, las principales son (Espinoza, 2021):

#### Ventajas:

- Es una energía renovable.
- Baja contaminación y respeto al medio ambiente.
- Favorable para sitios aislados.
- Costes en mantenimiento bajos.
- Se puede vender la sobreproducción de la energía solar fotovoltaica conectada a la red.

#### Desventajas:

- El rendimiento está en función de la climatología.

- Limitaciones en el horario solar que varía dependiendo de la época del año.
- La eficiencia energética es pobre comparada con otros tipos de energía.
- Limitaciones para almacenar la energía generada por las placas solares.
- Impacto ambiental en las grandes instalaciones solares.

**2.1.1.1.3 Potencia del Sol.** La potencia solar que recibe el planeta Tierra (fuera de la atmósfera) es cerca de  $173 \times 10^{12}$  kW o una energía de  $15 \times 10^{17}$  kWh por año. Al atravesar la atmósfera, cerca del 53% de esta radiación es reflejada y absorbida por el nitrógeno, oxígeno, ozono, dióxido de carbono, vapor de agua, polvo y las nubes. Por lo tanto, al pasar esta radiación por una distancia de 150 millones de km, se reduce esta cantidad y al final, el planeta recibe energía promedio a  $3 \times 10^{17}$  kWh al año, equivalente a 4000 veces el consumo del mundo entero en un año  $7 \times 10^{13}$  kWh/año, lo cual indica la enorme potencia del Sol. Además de aprovecharla de manera natural (vientos, evaporación de los mares para energía hidroeléctrica, fotosíntesis para la producción de biomásas, gradiente térmico de los mares, etc.), la energía solar se puede convertir en energía calórica y energía eléctrica, y por lo tanto puede usar para todos los usos donde se puede funcionar cualquier otra fuente convencional de energía.

**2.1.1.2 Energía Eólica.** Se define como una fuente de energía renovable que utiliza la fuerza del viento para generar electricidad y se obtiene mediante el uso de aerogeneradores (Molinos) que mueven una turbina transformando la energía cinética del viento en mecánica y después en energía eléctrica (Industria, 2019).

La cantidad de energía que se puede obtener está en función del tamaño y tipo de aerogenerador, lo cual suele variar dependiendo del uso de este, ya sea comercial o doméstico. A

mayor longitud de las aspas, se obtiene más potencia y por lo tanto más energía. La energía del viento está relacionada con el movimiento de las masas de aire desde zonas de alta presión atmosférica a zonas de menor presión. Estas zonas de distinta presión se deben al calentamiento desigual de la superficie terrestre producto de la radiación solar, por esta razón, el Sol es también responsable de la generación de energía Eólica (Industria, 2019).

El proceso de transformación a energía eléctrica según se pone en marcha cuando las aspas de los aerogeneradores son movidas por el viento, transmitiendo energía cinética al eje al que están ancladas, este eje a su vez se encuentra conectado al multiplicador, cuya función es aumentar hasta 60 veces más la velocidad del eje del rotor, seguidamente, este transmite su movimiento al generador que produce la electricidad que se llevara hasta el transformador, finalmente el transformador ajusta el voltaje para pasar la electricidad a la red eléctrica (Espinoza, 2021). En la figura 3 se puede observar un parque eólico australiano.

**Figura 3.** *Parque eólico de Waubra*



Tomado de Industria (2019).

El proceso de transformación a energía eléctrica según se pone en marcha cuando las aspas de los aerogeneradores son movidas por el viento, transmitiendo energía cinética al eje al que están ancladas, este eje a su vez se encuentra conectado al multiplicador, cuya función es aumentar hasta

60 veces más la velocidad del eje del rotor, seguidamente, este transmite su movimiento al generador que produce la electricidad que se lleva hasta el transformador, finalmente el transformador ajusta el voltaje para pasar la electricidad a la red eléctrica.

Con respecto a la instalación de los parques eólicos (Twenergy, 2019) expone que deben cumplirse los requisitos de mantener la lejanía con los núcleos urbanos para evitar la contaminación acústica que producen, evitar la interferencia con señales electromagnéticas del entorno (telefonía, radio o televisión) y preservar la avifauna del lugar.

**2.1.1.3 Energía Hidroeléctrica.** Es una fuente de energía renovable que surge del aprovechamiento del agua de los ríos y la gravedad. Se produce a través de un desnivel de cotas y un caudal, inicialmente se utiliza la fuerza de la gravedad para proporcionar aceleración al agua y liberar toda la energía potencial que almacena, para después convertirla en energía mecánica gracias a una turbina y luego transformarla en energía eléctrica mediante un generador eléctrico.

La energía hidroeléctrica tiene al Sol como origen. La radiación solar en forma de calor evapora el agua de los mares formando las nubes, que a su vez se transformarán en lluvia o en nieve, asegurando así la perennidad del ciclo del agua.

Las centrales hidroeléctricas cuentan con la ventaja de que no consumen el agua que utilizan para su funcionamiento, lo cual permite que la misma pueda ser utilizada con posterioridad a la generación eléctrica para el consumo doméstico e industrial, riego o navegación, además no son contaminantes, lo que las convierte en una opción atractiva para países con abundantes recursos hídricos, siempre que se gestionen adecuadamente los impactos y riesgos ambientales.

Existen diferentes tipos de central hidroeléctrica (Bolinaga, 1999), entre las cuales se encuentran:



- Centrales monolíticas con la toma: Son aquellas que forman un sólo cuerpo con la obra de captación correspondiente.
- Centrales separadas a pie de presa: Son centrales ubicadas en estructuras separadas de la presa u obra de derivación, pero situadas al pie de ellas.
- Centrales remotas: Similares a las centrales separadas a pie de presa, pero alejadas de la obra de captación. El proceso básico de funcionamiento de una central hidroeléctrica separada a pie de presa, ver figura 4, según (Power, 2021) comienza con contener la energía potencial del agua en un embalse, que normalmente se crea mediante una presa aguas arriba, luego un 24 conjunto de grandes tuberías es el encargado de permitir que el agua fluya aguas abajo, donde se encuentran las turbinas de la central eléctrica, gracias al desnivel creado por el recorrido de las tuberías, el agua aumenta progresivamente su energía y, una vez en la central, activa las turbinas que, conectadas mecánicamente a un generador, producen energía eléctrica, finalmente la electricidad pasa entonces a través de un transformador, que reduce la intensidad de la corriente y aumenta el voltaje para facilitar el vertido a la red eléctrica.

**Figura 4.** Esquema de una central hidroeléctrica



Tomado de Power (2021).

Según (Power, 2021) en cuanto a los beneficios e inconvenientes de este tipo de energía se tienen como los principales:

*Ventajas:*

- Es una energía renovable.
- El agua usada se devuelve al ambiente (río) a una cota inferior.
- Es autóctona, es decir evita importaciones del exterior.
- Genera puestos de trabajo en su construcción, mantenimiento y explotación.
- Genera experiencia y tecnología, exportables a otros países.

*Desventajas:*

- Altera el normal desenvolvimiento en la ecología del río.
- En centrales hidroeléctrica con embalse, los sedimentos se acumulan en el lago empobreciéndose de nutrientes el resto de río hasta la desembocadura.
- Altos costos de inversión inicial.
- Su construcción implica un impacto medioambiental.

**2.1.1.4 Energía Geotérmica.** La energía geotérmica es una energía renovable que aprovecha el calor natural irradiado por el núcleo de la Tierra y que se ha concentrado en el subsuelo en lugares conocidos como reservorios geotermales para producir calor o electricidad (Andes, 2020).

El magma, es uno de los principales elementos de un sistema geotermal, pero hacen falta dos más para generar un reservorio: un acuífero y un sello. El acuífero es una formación rocosa permeable, es decir, que permite que el agua u otros fluidos las traspasen y el sello es otra capa de

rocas, pero impermeable. Estos tres elementos deben ir superpuestos uno sobre el otro, la fuente de calor, encima de ella el acuífero y sobre ellos la capa de rocas impermeable.

Cuando llueve, el agua se desliza por la superficie terrestre y penetra hacia el subsuelo a través de las fallas y rocas fracturadas, luego el agua queda atrapada en los acuíferos, por donde va circulando y calentándose, pero no puede salir en su totalidad, porque está cubierta por una capa de roca impermeable que le impide su paso, cuando estas condiciones se dan, se está frente a un reservorio geotermal. En algunas ocasiones, no existen fuentes de agua natural (como lluvia o nieve) para generar este circuito, en ese caso, se puede inyectar el agua de forma artificial y el fenómeno que se producirá es el mismo (Andes, 2020).

El proceso básico de funcionamiento de una central geotérmica según (Greenteach, 2020) es similar al de las centrales termoeléctricas que se basan en turbinas y generadores: el calor de una fuente de energía (El interior de la Tierra en este caso) se utiliza para calentar agua u otro fluido, el cual hace girar una turbina conectada a un generador que transforma esa energía en electricidad, posteriormente el fluido se enfría y es reinyectado de nuevo en los reservorios geotermales, haciendo que el proceso sea parcialmente sostenible. Dicho proceso se visualiza en la Figura 5.

**Figura 5.** Esquema de funcionamiento de una central Geotérmica



Tomado de Greenteach (2020).

Se pueden distinguir tres tipos de centrales geotérmicas de generación de electricidad según (Greenteach, 2020):

- Centrales geotérmicas de vapor seco: Poseen el diseño más simple y antiguo. Utilizan directamente el vapor geotérmico que sale de las fracturas del suelo a 150° C o más, para mover las turbinas de vapor.
- Central geotérmica de ciclo binario: Son las centrales más recientes y pueden operar con temperaturas de solo 57°C y utilizan el ciclo Rankine y el ciclo de Kalina. El agua moderadamente caliente se hace pasar junto a otro fluido con un punto de ebullición muy inferior al del agua (Fluido de trabajo) el cual enseguida se vaporiza y se usa para accionar las turbinas.
- Central geotérmica de vapor de destello: Este tipo de central hace ascender agua caliente a alta presión a través de pozos y la introducen en depósitos de baja presión, al disminuir su presión, parte del agua se vaporiza, este vapor se separa del líquido y se utiliza para accionar una turbina. En cuanto a los beneficios e inconvenientes de este tipo de energía los más comunes son:

*Ventajas:*

- Es una energía renovable.
- Su producción es constante, es decir se puede obtener la misma energía a lo largo de las diferentes estaciones del año.
- Es independiente de las variaciones meteorológicas.
- Los residuos que produce son mínimos.
- Su coste de mantenimiento es bajo y tiene una larga vida útil.

*Desventajas:*

- La energía obtenida se debe consumir en el mismo territorio de su extracción.
- Posibles emisiones tóxicas, ya que en caso de accidente o fuga se puede liberar ácido sulfhídrico.
- Requiere de importantes inversiones en la fase inicial del proyecto.
- La energía geotérmica sólo está accesible en determinados lugares.
- Para poder explotar este tipo de energía es necesario perforar la superficie terrestre del yacimiento geotérmico con el consecuente deterioro del paisaje.

**2.1.1.5 Bioenergía.** La energía de biomasa o bioenergía es un tipo de energía renovable que proviene del aprovechamiento de la materia industrial y orgánica formada en algún proceso mecánico o biológico, generalmente es obtenida de los residuos de las sustancias que constituyen los seres vivos, o sus restos y residuos (Espinoza, 2021).

La energía de la biomasa proviene en última instancia del Sol. Los vegetales y los animales absorben y almacenan una parte de la energía solar que llega a la tierra en forma de alimento y energía, cuando esto ocurre, también se crean subproductos que no sirven para los seres vivos ni pueden ser utilizados para fabricar alimentos, pero sí para hacer energía de ellos.

Esta materia o subproductos son transformados en energía al aplicarle distintos procesos químicos, según (Endesa, 2019) los dos métodos más utilizados en la actualidad son:

- Métodos termoquímicos: Es la manera de utilizar el calor para transformar la biomasa. Los materiales que funcionan mejor son los de menor humedad (madera, paja, cáscaras, entre otros) y se utilizan para la Combustión, Pirolisis, Gasificación y Co-combustión

- Métodos bioquímicos: Se llevan a cabo utilizando diferentes microorganismos que degradan las moléculas. Se usan para biomasa de alto contenido en humedad, entre ellos están la Fermentación alcohólica y la Fermentación metánica.

La biomasa según es la única fuente de energía que aporta un balance de CO<sub>2</sub> favorable, siempre y cuando la obtención de la biomasa se realice de una forma renovable y sostenible, esto ocurre cuando el consumo del recurso se hace más lentamente que la capacidad de la Tierra para regenerarse, lo cual significa que se reduce el CO<sub>2</sub> que es enviado a la atmósfera porque parte del mismo se ha absorbido durante el crecimiento de la materia orgánica que se utilizó anteriormente para producirlo (Endesa, 2019).

La bioenergía según puede ser utilizada para diversas aplicaciones, entre las cuales están:

- Producción de energía eléctrica.
- Producción de energía térmica.
- Producción de biocombustibles: Son una alternativa a los combustibles tradicionales del transporte y tienen un grado de desarrollo desigual en diferentes países, entre ellos se encuentran: Bioetanol, Biodiésel y el Biogas.

La biomasa se puede clasificar en tres grandes grupos:

- Biomasa natural: Es la que se produce en la naturaleza sin la intervención humana.
- Biomasa residual: Son los residuos o subproductos orgánicos que provienen de las actividades humanas, por ejemplo: residuos sólidos urbanos (RSU), residuos agrícolas, residuos ganaderos, residuos de la industria agroalimentaria, residuos de la industria de la madera, así como residuos de depuradoras y el reciclado de aceites.
- Cultivos energéticos: Son campos de cultivo donde se produce un tipo de especie concreto con la única finalidad de su aprovechamiento energético.

El proceso de funcionamiento de una central de biomasa de generación eléctrica se centra en la quema de la biomasa en una caldera, dicha combustión calienta el agua que circula por las tuberías de las paredes de la caldera haciendo que se convierta en vapor, el cual se mueve a una turbina conectada a un generador eléctrico donde se produce la energía eléctrica que se transportará a través de las líneas correspondientes.

En cuanto a los beneficios e inconvenientes de este tipo de energía se tienen como los principales:

*Ventajas:*

- Es una energía renovable y limpia.
- Disminuye la dependencia de los combustibles fósiles.
- Ayuda a la limpieza de los montes y al uso de los residuos de las industrias.
- Existe un gran excedente de biomasa.

*Desventajas:*

- Los rendimientos de las calderas de biomasa son algo inferiores a los de las calderas que usan combustible fósil líquido o gaseoso.
- Requiere sistemas de almacenamiento mayores.
- Muchos de estos recursos tienen elevados contenidos de humedad, lo que hace que pueda ser necesario un proceso previo de secado.
- Existe derivación de recursos alimenticios para la producción de Biomasa ya que produce mayores ingresos a nivel económico.

**2.1.1.5 Efecto Fotovoltaico.** El efecto fotovoltaico consiste en la producción de corriente eléctrica a raíz del contacto de dos piezas de distinto material que se encuentran expuestas a una

radiación electromagnética. El efecto fotovoltaico se produce en los paneles solares ya que estos cuentan con células fotovoltaicas como las descritas gracias a las cuales es posible generar corriente eléctrica. Ahora bien ¿Cómo se genera el efecto fotovoltaico en paneles solares? ¿qué relación hay entre efecto fotoeléctrico y fotovoltaico? Te lo explicamos enseguida.

**2.1.1.5.1 ¿Cómo funciona el efecto fotovoltaico?** El efecto fotovoltaico en paneles solares se genera gracias al silicio del cual se componen las células fotovoltaicas. Este material semiconductor recibe la radiación solar que es absorbida por cada célula, provocando el salto de electrones de una capa a otra y generando la corriente eléctrica.

Lo que ocurre con el efecto fotovoltaico es que los fotones del sol alteran un electrón del material de la célula, momento en el cual comienza el efecto. Esta energía que les proporcionan los fotones hace que los electrones venzan la energía que les atrae a su núcleo o valencia. De esta manera, el electrón se libera del átomo, transportándose por el material conductor el silicio. Para conseguir este efecto es fundamental que la fuerza con la cual impacta la partícula de radiación sea de 1,2 eV. El proceso de la creación de la corriente eléctrica tiene lugar a partir de este momento.

Cuando el electrón se desprende y comienza a desplazarse por el material conductor su átomo se queda incompleto. Todo ello genera una carga eléctrica que es la que puede ser extraída de los paneles solares fotovoltaicos, aprovechando de esta forma una energía renovable e inagotable, la energía solar. Ahora bien, para que estas cargas puedan ser extraídas del panel solar es fundamental que las mismas se produzcan de manera ininterrumpida. Es decir, que los electrones circulen en la dirección contraria a los huecos que se generan en los átomos. Algo que se consigue simplemente con la creación de un campo eléctrico con polaridad persistente.



Como se hablaba al principio, la producción de corriente eléctrica se genera a raíz del contacto de dos piezas de distinto material y esto es exactamente lo que nos ayuda a crear ese campo eléctrico en el interior de las células del panel solar fotovoltaico. Estas tienen una carga positiva y una negativa con exceso de electrones. Cuando se libera el electrón se desliza de un lado a otro hasta llegar a los conductos de plata. Poniendo los contactos de metal en la parte superior e inferior de la celda fotovoltaica puede dibujarse la corriente que podemos usar de manera externa es lo que se conoce como semiconductores P y N unidos. Esta corriente, en conjunto con el voltaje de la celda, es la que define la potencia que puede entregarse.

La corriente eléctrica que se genera es canalizada y recolectada. Seguidamente, esta pasa por un inversor convirtiendo la corriente continua en corriente alterna. De esta manera, la energía puede ser utilizada para las instalaciones del hogar sin que estas se vean perjudicadas. El inversor solar es un componente esencial en la instalación, tanto si esta es aislada, si es en red, si es para una caravana o si es para una bomba de piscina.

**2.1.1.5.2 Diferencias entre el efecto fotoeléctrico y fotovoltaico.** Hemos hablado del efecto fotovoltaico, qué es y cómo funciona. Ahora bien ¿qué relación hay entre efecto fotoeléctrico y fotovoltaico? Cuando hablamos del efecto fotoeléctrico nos referimos a un proceso en el cual se liberan electrones de un material debido a la incidencia de la radiación electromagnética. Es decir, el efecto fotoeléctrico se encarga de la producción de electrones libres mientras que el efecto fotovoltaico produce la corriente eléctrica gracias a dichos electrones libres tal como hemos explicado en el punto anterior. Con el efecto fotoeléctrico y las celdas fotovoltaicas ocurre lo siguiente (SolarPlak, 2020). Los fotones llegan al material y su energía es absorbida por los

electrones de este. Ello hace que los electrones adquieran un nivel energético superior suficiente para poder abandonar el átomo.

Los conceptos de efecto fotoeléctrico, celdas y efecto fotovoltaicos no están siempre unidos. Las aplicaciones del efecto fotoeléctrico se utilizan en una infinidad de dispositivos, como las fotocopadoras, los fototransistores o los fotodiodos. A continuación, se da una breve descripción de cada uno de los ciclos que componen el proceso de generación de electricidad por medio de celdas fotovoltaicas (Garzón y Gallego, 2013).

Radiación generada por el sol: Fuente de energía en forma de luz la cual estimula los paneles solares. radiación generada por el sol captación de luz por paneles fotovoltaicos generación de electricidad corriente directa rectificación de la onda de corriente directa a corriente alterna sistema de medición de potencia activa consumo o carga final del sistema inyección sincronizada de potencia a la red 49 2.

Captación de luz por paneles fotovoltaicos: Los paneles se estimulan por la fuente de luz y empujan los electrones generando flujo de electricidad en corriente continua.

Generación de electricidad corriente directa: Se genera electricidad la cual se almacena en bancos de baterías.

Rectificación de la onda de corriente directa a corriente alterna: Se rectifica la onda de directa a alterna con lo cual se garantiza la correcta aplicación a las cargas del sistema.

Sistema de medición de potencia activa: El consumo que genera la carga es medido para determinar los índices de consumo y realizar las respectivas acciones de mantenimiento o controlar sobrecargas al sistema.

Consumo o carga final: La energía es utilizada para sistemas de iluminación, alimentación de equipos eléctricos, etc. Inyección sincronizada de potencia a la red: Cuando la energía no es

utilizada inmediatamente por la carga, esta puede ser inyectada a los sistemas generales de potencia.

En este apartado se ha realizado una exploración preliminar de los estándares más mencionados en la literatura, si bien es muy amplia, representan la estructura principal del cuerpo de conocimiento. Las directrices estudiadas son: *PMBOK*®, *APMBOK*®, BS 6079, ISO 21500 (orientados a proyectos), el ICB (orientado a personas), P2M y PRINCE2 (enfocado en las organizaciones). Al respecto, Ahlemann, Teuteberg y Vogelsang (2009), afirman que se pueden encontrar un amplio número de estándares para la gestión de proyectos, publicados por organizaciones, empresas de estandarización y asociaciones en todo el mundo, y debido a esa diversidad, la selección y aplicación de normas puede ser un problema complejo para las organizaciones. Desde esa perspectiva, la inexistencia de un cuerpo de conocimiento con carácter global puede dificultar la elección y aplicación de un único estándar, por parte de profesionales sin experiencia en esta temática. De hecho, varios investigadores en la década del 90 y luego en la década del 2000 han hecho esfuerzos por la unificación de un único documento, pero no se ha podido lograr un acuerdo generalizado (Lynn Crawford, 2004; Wirth y Tryloff, 1995). En tal sentido, la implementación de un estándar debe ser producto de un profundo análisis sobre el tipo, forma de proyecto, contexto geográfico-cultural, y la madurez de la organización en cuanto a conocimiento de la gestión de proyectos, entre otros. Se podría decir que todos los estándares han sido elaborados bajo la premisa de ser propuestas útiles para cualquier tipo de proyecto. Éstos son siempre aplicables en cualquier contexto y todos ellos reúnen información similar estructurada de diferentes formas y con interesantes variaciones. En referencia a las herramientas propuestas en los estándares, se observa como el *PMBOK*® es el que más técnicas distintas propone, siendo una de las virtudes que lo diferencian de los demás. Además de lo anterior, este es el más utilizado a

la hora de desarrollar metodologías, aspecto importante que será desarrollado en el siguiente apartado. En cuanto a la estructura, merece la pena destacar el estándar ICB, que está desarrollado a partir de un modelo de competencias, una visión muy diferente de la de los demás, que se estructuran a partir de áreas de conocimiento y grupos de procesos. El *PMBOK*® es el estándar más extendido a nivel teórico, y su gran difusión le hace ser la base más utilizada para la elaboración de metodologías y certificación. Por otra parte, se considera que el método propuesto en PRINCE2 resulta también bastante útil a nivel práctico, incluso se puede usar como metodología si necesidad de grandes modificaciones.

## **2.2. Estado del arte**

Según la Agencia Internacional de Energía (AIE), el 80% de la energía del mundo proviene del petróleo, por lo que, a pesar de todos los esfuerzos por promover las fuentes de energía renovable, el mundo continúa dependiendo significativamente del petróleo, lo cual ha causado incontables problemas ambientales: en Medellín, por ejemplo, murieron 7285 personas entre 2012 y 2016 debido a enfermedades respiratorias agudas causadas por la contaminación en el aire<sup>1</sup>. Debido a esto, es de suma importancia entender cuáles son las fuentes de energía renovable y qué medidas está tomando Medellín y toda el área metropolitana para incentivar su uso.

Para Medellín y el área Metropolitana del Valle de Aburrá, incentivar la producción de energía por fuentes renovables, amigables con el medio ambiente ha sido uno de sus retos principales. De la mano de Empresas Públicas de Medellín y el Metro de Medellín, así como Celsia y otras empresas, se han creado proyectos para reducir la dependencia de la ciudad de los combustibles fósiles. Desde 2004, EPM ha apostado por invertir en fuentes de energía renovable con proyectos que aprovechan la energía del viento, entre los que se encuentra la creación del

parque eólico Jepírachi en la Guajira en 2004. Adicionalmente, EPM también ha incursionado en energía solar, además de desarrollar proyectos piloto de alumbrado público en diferentes municipios del departamento de Antioquia, desde julio de 2019 EPM en conjunto con ERCO Energía, ofrece su Solución Solar Integral a pequeñas y medianas empresas y casas particulares. El plan que ofrece EPM incluye la instalación de paneles solares, medidor e inversor adaptados para las necesidades cada cliente. Para incentivar la inversión en energías renovables, EPM ofrece comprarles a los clientes el exceso de energía generada, como también planes de financiación para la adquisición de paneles solares través de los créditos del programa Somos EPM2.

Por otro lado, el Metro de Medellín anunció que para 2021 operará en su totalidad con energía renovable, como parte de plan de sostenibilidad diseñado para reducir la contaminación de la ciudad. Actualmente, el metro funciona en un 80% con energía hidráulica y eléctrica, y se estima que reduce la emisión de 670 mil toneladas de CO<sub>2</sub> al año en Medellín. Para cumplir con dicho objetivo, el Metro de Medellín busca invertir en energía eólica y solar, como parte de esta iniciativa, y ha comenzado a instalar paneles solares en algunas estaciones del metro y en sus sedes administrativas. Se estima que dichos paneles solares pueden proveer hasta el 20% de la energía eléctrica utilizada por las estaciones. En la primera fase de este proyecto se instalarán 346 paneles solares, cada uno con una potencia de 370 Wp.

En el sector privado, una de las empresas que más ha apostado por las fuentes de energía renovable es Celsia, la empresa Antioqueña es uno de los líderes a nivel nacional en energía solar y eólica. La empresa de energía del Grupo Argos, que ya cuenta con más 300.000 paneles solares y 100 MW de energía solar, anunció que busca alcanzar los 450 MW en los próximos 2 o 3 años en energía solar y para esto está dispuesto a invertir \$320 millones de dólares. En materia de energía eólica, Celsia está construyendo un nuevo parque eólico en la Guajira, el cual se estima

que tendrá una capacidad de 330 MW de generación. Con este tipo de proyectos, Celsia busca elevar su portafolio de generación de energía renovable, e incrementar su generación de energía renovable por 600 MW para el 2025.

El Gobierno Nacional, en armonía con los proyectos de inversión en fuentes de energía renovables en Medellín, emitió el Decreto 829 del 10 de junio de 2020, mediante el cual el gobierno facilita el acceso a los beneficios tributarios para las inversiones en proyectos de fuentes no convencionales de energía (FNCE). Este decreto le permite a las pequeñas empresas o personas que utilicen o generen energía renovable acceder a los beneficios tributarios de la Ley 1715 de 2014. Estos beneficios, en conjunto con las iniciativas regionales en Medellín, nos muestran que el gobierno está apostando seriamente por las fuentes de energía renovables. Aunque es claro que reemplazar a el petróleo por fuentes de energía renovable no será fácil, las iniciativas que se están llevando a cabo en Medellín nos permiten ser optimistas y aportar en los proyectos que se desarrollen para este fin (Arango, s.f.).

El auge de la energía solar en Medellín se ha acentuado en los últimos 20 años. Las empresas de energía solar impulsaron el uso de esta forma de energía en algunas poblaciones vulnerables del departamento y ahora es mayor el uso de paneles solares para el calentamiento de agua o cargadores de celular.

La historia de la energía solar empieza en Colombia en los años cincuenta en Santa Marta, con la instalación de calentadores solares para el agua. A mediados de los ochenta, esta energía llegó a Medellín con los calentadores colocados en la Villa Valle de Aburrá.

La Ley 1715 de 2014, que promueve el uso de energías renovables, permitió el crecimiento del sector con incentivos tributarios que promueven la investigación, inversión y desarrollo de tecnologías amigables con el medio ambiente.

En los últimos años, algunas compañías de energía solar de Medellín han producido electricidad para las áreas rurales del departamento de Antioquia, en especial para las escuelas. Otras empresas han instalado paneles solares en los techos de fábricas, para suplir el consumo del 15 % de la energía total que necesitan. También en los techos de algunas estaciones del Metro de Medellín, para reducir su huella de carbono. El cuidado de las poblaciones vulnerables y del ecosistema son ejemplos de los alcances de esta energía.

En Colombia, el uso de los paneles solares tiene mayores beneficios, debido a su ubicación en la línea ecuatorial, ya que la radiación llega en todas las épocas del año y los paneles pueden producir más energía eléctrica.

Actualmente, las empresas de energía solar en Medellín están enfocadas en promover el uso de paneles en las áreas urbanas. En el futuro se estima que estas empresas contribuirán a mejorar la planeación energética y así lograr que la ciudad sea sostenible a nivel ambiental (Galeano, s.f.).

Teniendo en cuenta el crecimiento poblacional en Colombia y el crecimiento urbano de las ciudades, se hace cada vez más necesario buscar alternativas que simplifiquen y aminoran costos para la adquisición y uso del servicio de energía eléctrica en los hogares y de la misma manera se obtenga una alternativa más amigable con el medio ambiente que pueda ser aplicada a los sectores productivos del país.

Actualmente existe un déficit energético en el país, alrededor del 32,0% del territorio nacional no hace parte del sistema interconectado nacional (SIN), representando un valor notorio.

Sin embargo, Colombia cuenta con un recurso solar (radiación) promedio uniforme durante el año para todo el territorio del orden de 4,5 kWh/m<sup>2</sup>, propicio para ser utilizado en generar y suplir las necesidades de energía eléctrica por medio de sistemas solares fotovoltaicos.

En el 2005 existían aproximadamente 145 sistemas fotovoltaicos, cuya capacidad instalada era 208,06 kW, en el año 2014 se tenía alrededor de 11,6 GW y en el 2015 se incrementó un 0,6 GW para un total aproximado de 12 GW. Con esto se ratifica que la generación de electricidad en el país a partir de fuentes renovables como la solar fotovoltaica es muy baja (Hernández y Ramírez, 2015).

En Latinoamérica el uso de energía eléctrica obtenida de energía solar fotovoltaica es cada vez más apetecido por los diversos sectores de la sociedad a tal punto de generar proyectos basados en las mismas similitudes, que sean aplicables y factibles independiente del contexto y a un precio accesible para distintos niveles poblacionales.

Partiendo de lo antes mencionado se hace necesario visibilizar el estado de la utilización de la energía solar fotovoltaica en el mundo y en Colombia.

La capacidad instalada de generación de energía solar fotovoltaica en el mundo para el año 2014 fue de 177 GW, en el año 2015 se incrementaron 50 GW respecto al año anterior, logrando un valor histórico de 227 GW y un crecimiento del 25% de esta fuente renovable.

En el año 2015 las energías renovables representaron el 23,7% de la capacidad de generación de energía del mundo, dentro de estas, la fotovoltaica representaba el 1,2%; Los países líderes en generación eléctrica fotovoltaica son: China, Alemania, Japón, Estados Unidos, Italia, Reino Unido, Francia, España, India y Australia. Se estima que la energía solar fotovoltaica ha generado alrededor de 2.772 empleos en el mundo y su mercado se aproxima a los USD 300 millones anuales (REN21, 2016).



### ***2.2.1 Disponibilidad de la Energía Solar en Diferentes Regiones de Colombia***

Colombia cuenta con un potencial positivo de energía solar fotovoltaica frente al resto del mundo; aunque se presentan variaciones, los datos evidencian que en todo el territorio el promedio de irradiación solar es alto (Eraso y Erazo, 2015).

El mayor potencial en Colombia se encuentra en las regiones de la Costa Atlántica y Pacífica, la Orinoquía y la Región Central.

Actualmente se encuentra el Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia, el cual busca mostrar e informar por medio de estaciones meteorológicas (información radiométrica) la disponibilidad de energía solar en el territorio nacional en cuanto a radiación solar global, insolación y brillo solar (Rodríguez, 2008).

Cuenta con 550 estaciones automáticas satelitales y convenciones localizadas en la extensión de país, de las cuales: 71 son directas, 383 se dedican a realizar medidas rutinarias de brillo solar y 96 se dedican a realizar mediciones de humedad relativa y temperatura. Variables que son correlacionadas con intensidad radiante sobre la superficie; En el caso de radiación solar global, se recolecta y estima información de todas las estaciones meteorológicas (550), en el caso de brillo solar, se toma información de 479 estaciones (UPME, IDEAM and MME, 2005). El atlas cuenta con 4 colecciones de 13 mapas sobre radiación y brillo solares, es generado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, juntamente con la Unidad de planeación Minero-Energética–UPME; estableciendo niveles de Radiación e Irradiancia promedio mensual y anual desde el año 1981, estos valores son expresados en kilovatios hora por metro cuadrado (UPME, IDEAM and MME, 2005).

Para referirse al potencial de la energía solar en Colombia, Erazo y Erazo, afirman que las condiciones naturales en Colombia para la generación de energía solar son favorables y que la

radiación presenta niveles constantes (Eraso y Erazo, 2015), al sostener que la ubicación geográfica de Colombia hace que tenga esta fuente de energía disponible durante todos los días del año, coincide en lo afirmado por los autores Erazo y Erazo (Meza-Escobar, et ál., 2019).

En la siguiente tabla, se muestra el recurso solar de algunas ciudades principales de Colombia, se nombra la estación meteorológica que reporta, el departamento al que pertenece cada municipio, valores de latitud, longitud y elevación (m.s.n.m.), el promedio anual por día, los años de información de cada estación y las fechas específicas desde cuando se recolecta la información, con el fin de proveer y suponer acerca de valores de radiación solar del pasado, presente y futuro. Se pueden observar ciudades con valores de radiación solar entre 3,6 kWh/m<sup>2</sup>/d y 5,9 kWh/m<sup>2</sup>/d. Determinando regiones propicias y potenciales en cuanto a recurso solar.

**Tabla 3.** *Análisis de datos recursos solares por ciudades.*

| Estación                      | Municipio         | Departamento                   | Latitud | Longitud | Elevación<br>(m.s.n.m.) | Promedio Anual<br>(kWh/m <sup>2</sup><br>por día) | Fecha<br>Inicio | FechaFinal |
|-------------------------------|-------------------|--------------------------------|---------|----------|-------------------------|---------------------------------------------------|-----------------|------------|
| Aeropuerto El dorado          | Bogotá            | Cundinamarca                   | 4,71    | -74,15   | 2541                    | 4,0377                                            | mar-81          | dic-04     |
| Aeropuerto Olaya Herrera      | Medellín          | Antioquia                      | 6,22    | -75,58   | 1490                    | 4,3351                                            | ene-85          | jun-97     |
| Las Flores                    | Barranquilla      | Atlántico                      | 11,04   | -74,82   | 2                       | 5,9512                                            | nov-09          | dic-14     |
| Aeropuerto Rafael Núñez       | Cartagena         | Bolívar                        | 10,43   | -75,5    | 2                       | 5,5525                                            | feb-90          | dic-00     |
| UPTC                          | Tunja             | Boyacá                         | 5,55    | -73,35   | 2690                    | 4,6574                                            | ene-96          | dic-01     |
| E.M.A. S                      | Manizales         | Caldas                         | 5,09    | -75,51   | 2207                    | 3,7672                                            | may-05          | dic-14     |
| Univ. Tecnológica deMagdalena | Santa Marta       | Magdalena                      | 11,22   | -74,19   | 7                       | 5,4054                                            | ago-07          | dic-14     |
| Aeropuerto Vanguardia         | Villavice<br>ncio | Meta                           | 4,15    | -73,62   | 423                     | 4,7507                                            | ene-90          | dic-14     |
| Botana                        | Pasto             | Nariño                         | 1,16    | -77,28   | 2820                    | 3,7428                                            | may-05          | abr-03     |
| Aeropuerto Camilo Daza        | Cúcuta            | Norte de<br>Santander          | 7,92    | -72,5    | 250                     | 4,4438                                            | sep-89          | nov-13     |
| Armenia                       | Armenia           | Quindío                        | 4,53    | -75,69   | 1458                    | 3,9338                                            | dic-05          | nov-96     |
| Aeropuerto Matecaña           | Pereira           | Risaralda                      | 4,8     | -75,73   | 1342                    | 4,2109                                            | oct-90          | oct-13     |
| Aeropuerto Sesquicentenario   | San<br>Andrés     | San Andrés<br>y<br>Providencia | 12,58   | -81,7    | 1                       | 4,8183                                            | ene-01          | dic-14     |
| Aeropuerto Perales            | Ibagué            | Tolima                         | 4,42    | -75,13   | 928                     | 4,6632                                            | nov-89          | dic-14     |
| Univalle                      | Cali              | Valle del<br>Cauca             | 3,38    | -76,53   | 992                     | 4,3326                                            | nov-06          | dic-14     |
| Macagual –Florencia           | Florencia         | Caquetá                        | 1,5     | -75,66   | 257                     | 3,6175                                            | jul-05          | dic-14     |
| Aeropuerto Almirante Padilla  | Riohacha          | La Guajira                     | 11,52   | -72,92   | 4                       | 5,6058                                            | sep-91          | mar-14     |

Tomado del IDEAM (s.f.).

Con el Acuerdo para el Cambio Climático de París en 2015 se estableció un marco global para evitar un cambio climático peligroso manteniendo el calentamiento global muy por debajo de los 2 °C y prosiguiendo esfuerzos para limitarlo a 1,5 °C. Con este acuerdo se aspiró a reforzar la capacidad de los países para hacer frente a los efectos del cambio climático y a apoyarles en sus esfuerzos para lograr dicho objetivo. Con este acuerdo se estableció también qué, uno de los caminos más eficientes para lograr los objetivos establecidos es centrar el desarrollo económico mundial a través de la generación de energía de a partir de energías renovables, para dejar atrás la generación a partir de combustibles fósiles, como el carbón, petróleo o gas natural.

Colombia, en el año 2015, en la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (COP21), se comprometió a aportar soluciones al fenómeno del cambio climático, reduciendo sus emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en un 20% a 30% y avanzar en la implementación de acciones de adaptación al cambio climático.

En el Foro Económico Mundial de 2020, se anunció que Colombia subió nueve posiciones en el Índice de Transición Energética, al pasar del puesto 34 al puesto 25, entre 115 países. En el año 2019, Colombia dio un salto histórico en la incorporación de fuentes renovables no convencionales de energía eléctrica al pasar de menos de 50 megavatios a más de 2500 megavatios de capacidad instalada en energía solar y eólica.

La alianza entre el Grupo Éxito y GreenYellow, una multinacional especializada en eficiencia energética y energía solar con presencia en Colombia, que inició en el 2013, ha permitido implementar proyectos solares en los centros comerciales Viva de Riohacha, Barranquilla, Tunja, Envigado y La Ceja, y el parque solar Bayunca, ubicado en la ciudad de Cartagena, convirtiéndose en un ejemplo para las demás organizaciones del país en cuanto al uso de energías renovables no convencionales para el suministro de energía de sus empresas (Revista Semana, 2020).

Otro de los ejemplos más destacado en el país y en la ciudad de Medellín es Empresas Públicas de Medellín (EPM). Según la revista Dinero, EPM) inició en agosto de 2020 la instalación de 1.044 paneles solares en el Edificio EPM, lo que evitará una emisión anual de 105 toneladas de CO<sub>2</sub>, equivalentes a la siembra de 5.600 árboles, informó la empresa antioqueña y agregó que esto corresponde a su propuesta en energías renovables a través de sistemas solares fotovoltaicos de autogeneración, que buscan la sustitución por energías limpias, economía y disminución en impactos ambientales.

En Colombia, según la Asociación Colombiana de Generadores de Energía Eléctrica (Acolgen), para el año 2020, el 30.7% de energía que se consume proviene de fuentes no renovables, que requieren del uso de combustibles fósiles, el 68.3% de fuentes hidráulicas, una fuente que requiere de la construcción de grandes obras que pueden tardar hasta 10 años, y sólo el 1,1% proviene de energías renovables no convencionales, entre las cuales se encuentra la energía solar, siendo ésta, proveniente de un recurso inagotable, a diferencia de las anteriormente mencionadas (Torres-Flórez, et ál., 2021).

Al revisar los valores anteriores se evidencia que Colombia posee un alto recurso solar el cual pese a depender de los cambios climáticos es significativo en comparación a otros países; ofreciendo esto una alternativa para concepción y evaluación de proyectos basados en energía renovables que permita disminuir la utilización y generación de energía eléctrica de otras partes que son menos amigables con el medio ambiente.

Algunas instituciones que le están apostando a esto son FINDETER, IDEAM, DANE, entre otras, discriminado como usos favorables de la energía eléctrica basada en energía solar fotovoltaica los siguientes:

- Servicios: Sector comercio, inmobiliario, salud, alimentación, educación, etc., buscando suplir la demanda de energía de dichos establecimientos, ya sea en electrodomésticos, equipos y maquinarias de consumo.
- Residencial (viviendas y edificaciones): En actividades relacionadas con viviendas privadas, iluminación, enfriamiento, calentamiento de agua, calefacción, entre otras; las mayores fuentes de demanda son los electrodomésticos y estas instalaciones son de conexión a la red.
- Electrificación de viviendas aisladas: Se puede ofrecer la alternativa de satisfacer el consumo de una vivienda sin conexión a la red o zonas con deficiencias de abastecimiento eléctrico.
- Industrial y telecomunicaciones: Abasteciendo cierta parte o el total de la demanda de las repetidoras, sistemas de comunicación, maquinaria o equipos de consumo industrial; reduciendo el consumo de energía proveniente de la red convencional (- \$) por medio de generación distribuida.
- Agropecuario (Sistemas agroganaderos y de agricultura): Supliendo necesidades de luz, refrigeración, cercas eléctricas, sistemas de riego por medio de bombeo fotovoltaico y equipos con diferentes fines.
- Transporte: Se puede implementar la energía eléctrica para generar movimiento mecánico, algunas aplicaciones pueden ser en los vehículos eléctricos, sistemas de transporte masivo, sistemas de señalización vial, otra muy buena solución es la implementación de sistemas fotovoltaicos en los semáforos de las ciudades.

De forma general, se puede considerar a la gestión de proyectos como una aproximación sistemática y estructurada para que las organizaciones gestionen sus actividades no recurrentes (Project Management Institute, 2017).

La teoría clásica según Fayol expuesta ampliamente en su libro: 'Administración Industrial y General' publicado por primera vez en 1916 se fundamentaba en definir la estructura de una organización para garantizar la eficiencia en todas las partes involucradas, la tarea administrativa no debe ser una carga para los altos mandos de una empresa, sino más bien una responsabilidad compartida con todos los empleados, Fayol crea escenarios propicios para la eficiencia administrativa y para la generación de utilidades para las empresas.

Estos escenarios están respaldados por un instrumento de investigación y aplicación de la práctica administrativa llamado proceso administrativo donde se busca organizar, dirigir, coordinar y controlar los procesos de las organizaciones (Fayol, 1916). Los principios administrativos realizan un estudio de las funciones de una empresa, el perfil idóneo de las personas, la relación con las funciones que desempeñan, y una filosofía completa de la práctica administrativa como ciencia.

El principal desafío de la gestión de proyectos es lograr todos los objetivos del proyecto en el tiempo asignado, también hay otros objetivos donde se busca optimizar la asignación y la integración de los recursos necesarios para cumplir las metas previamente definidas (Fayol, 1916).

Un proyecto es un esfuerzo temporal el cual es limitado por fechas, con un inicio y un fin definidos, también se limita por un presupuesto con el cual se requiere alcanzar las metas y los objetivos particulares, por lo general para producir un cambio beneficioso o valor añadido, también se requiere el desarrollo de distintas habilidades técnicas las cuales son adquiridas por los integrantes del proyecto. El Instituto de Gestión de Proyectos PMI define los fundamentos para la

dirección de proyectos *PMBOK*® como un término que describe los conocimientos de la profesión de dirección y gestión de proyectos, incluyen prácticas tradicionales, prácticas que han surgido y han sido comprobadas para aumentar la posibilidad de éxito en los proyectos, entregando los resultados y los valores del negocio esperados.

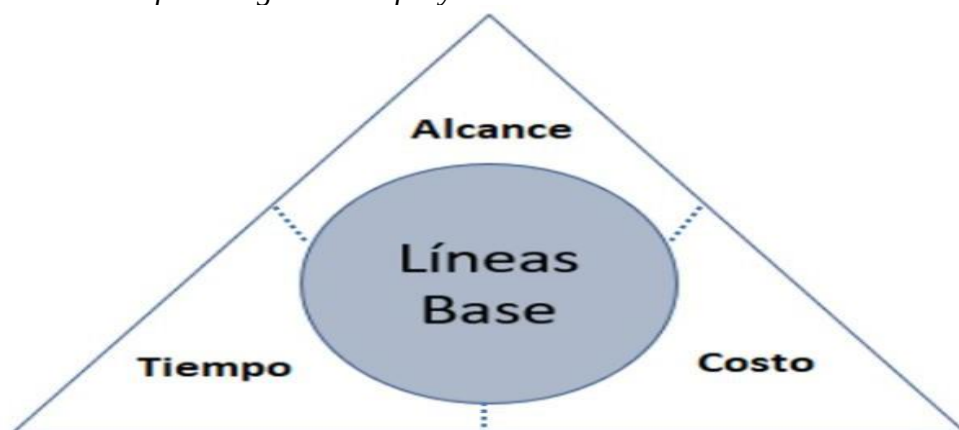
Está acción conduce a una solución en la forma de un producto o servicio el cual es puesto en una organización empresa una vez que es aceptado” (Murillo, 2021).

El Instituto de Gestión de Proyectos PMI es una organización estadounidense sin fines de lucro que asocia a profesionales relacionados con la gestión de proyectos, sus principales objetivos son: formular estándares profesionales en gestión de proyectos, generar conocimiento a través de la investigación y promover la gestión de proyectos como profesión a través de sus programas de certificación (Project Management Institute, 2017).

La gestión de proyectos tiene metodologías que permiten planificar y dirigir los procesos de un proyecto, se requiere realizar un trabajo en equipo, para conseguir los resultados que

beneficien a la organización. Para desarrollar un proyecto de manera eficaz, se requiere disminuir restricciones, para esto se debe tener presente las líneas base del proyecto.

**Figura 6.** Líneas base para la gestión de proyectos



Tomado de Murillo (2021).



Estas son las etapas fundamentales del proyecto. La estimación del tiempo proporciona una adecuada administración de las actividades que ayudan a la ejecución del proyecto; esto determina como el proyecto va mostrando los resultados, a medida como vayan culminando cada una de las actividades, una adecuada administración del tiempo disminuye el riesgo de aumentar los costos los cual hace que el proyecto no sea viable.

Los costos definen el presupuesto necesario para realizar las actividades, identificando desde el inicio, con qué recursos se cuentan y los límites que se deben de tener en cuenta para no desfasarse en el presupuesto y realizar todas las actividades que se han definido en el proyecto y que luego se usan para diseñar el cronograma y estimar el presupuesto de este. La descripción de los límites y definir los objetivos establecen el alcance que se desea cumplir para terminar de una forma exitosa un proyecto.

Los proyectos inician con unos periodos de tiempo concretos y con unos requisitos que son específicos, se debe gestionar y seleccionar información para planificar un plan de trabajo con el propósito de alcanzar los objetivos propuestos.

La gestión del proyecto debe ser adaptado para ajustarse a las necesidades del proyecto, la propuesta se basa en un estudio de caso e identifica los procesos que se consideran buenas prácticas en la mayoría de los proyectos (Murillo, 2021).

### ***2.2.2. La gestión de proyectos a través de la Guía del PMBOK®***

Una característica de los proyectos que acompaña a los conceptos de “esfuerzo temporal para crear un resultado único” es la elaboración gradual, que se basa en desarrollar a través de pasos e incrementos el alcance del proyecto.

El conjunto de actividades del proyecto son denominadas fases y se relacionan en forma lógica, las fases pueden ser secuenciales, iterativas o superpuestas, culminan con la finalización de los entregables y pueden describirse mediante diversos atributos los cuales pueden ser medibles (Project Management Institute, 2017).

El ciclo de vida de un proyecto son las fases de un proyecto desde su inicio hasta su finalización y se gestiona mediante la ejecución de actividades conocidas como procesos de la dirección de proyectos. Cada proceso produce una o más salidas a partir de una o más entradas mediante el uso de herramientas y técnicas adecuadas. La salida puede ser un entregable o un resultado. Los resultados son una consecuencia final de unos procesos.

Los procesos de la dirección de proyectos se agrupan en los siguientes cinco grupos. Los proyectos cambian de tamaño y de nivel de complejidad, un proyecto puede crearse dentro de la siguiente estructura de ciclo de vida del proyecto:

- Inicio del proyecto.
- Organización y preparación.
- Ejecución del trabajo.
- Monitoreo y control.
- Cierre del proyecto.

### ***2.2.3 Grupos de proceso de la gestión de proyectos***

Los procesos de la dirección de proyectos basados en la Guía del *PMBOK*® se agrupan en cinco grupos, los cuales se emplean para cumplir con los objetivos del proyecto.

Los procesos individuales se repiten antes de concluir una fase o un proyecto y las interacciones de los procesos cambian dependiendo de las necesidades del proyecto. A continuación, se describe los procesos de la dirección de proyecto.

Estos cinco grupos de procesos son independientes de las áreas de aplicación como servicios, mercadeo y del enfoque de las industrias como construcción, telecomunicaciones.

Los procesos individuales se pueden repetir antes de concluir una fase o un proyecto. El número de iteraciones de los procesos e interacciones entre los procesos varía según las necesidades del proyecto.

El grupo de procesos de inicio está conformado por los procesos que están hechos para definir un nuevo proyecto o una nueva fase de un proyecto existente, el propósito del grupo de procesos de Inicio es ordenar las expectativas de los interesados y el propósito del proyecto, informar sobre el alcance y los objetivos, y analizar la participación de los interesados en el proyecto.

En el proceso de Inicio, se define el alcance inicial y se comprometen los recursos financieros iniciales, se identifican los interesados que van a interactuar y ejercer alguna influencia sobre el resultado general del proyecto y se designa al director del proyecto si no ha sido nombrado (Project Management Institute, 2017).

Cuando es aprobada el acta de constitución se autoriza oficialmente y el director del proyecto puede aplicar recursos de la organización a las actividades del proyecto, está involucrado en el desarrollo del caso de negocio, la definición de los beneficios y generalmente ayuda a escribir el acta de constitución.

Al revisar los usos que se le puede dar a la energía eléctrica basada en energía solar fotovoltaica, los altos costos del servicio tradicional de suministro de energía en nuestro país, la

existencia de muchas zonas no interconectadas ( ZNI) dentro del mismo y en el afán de proponer que las industrias contribuyan con el cuidado del medio ambiental al utilizar este tipo de energía renovables; se hace necesario el planteamiento de buenas prácticas en la ejecución de proyectos de este tipo bajo unos estándares que permitan la factibilidad y viabilidad de los mismos teniendo en cuenta el factor económico, humano y la sostenibilidad en el tiempo de estos, ya que al final del tiempo serán productores a menor escala de energía eléctrica.

### **3. Áreas de conocimiento**

Con el fin de generar herramientas óptimas en la implementación de proyectos de utilización de energía fotovoltaica para la generación de energía eléctrica en Colombia, y que estos a su vez permitan no solo mejorar las condiciones de vida de comunidades sino además impulsen el desarrollo de la industria de pequeñas y grandes empresas con el aprovechamiento de energías renovables que faciliten los procesos de las mismas; el alcance de este proyecto esta direccionado al diseño y planificación de procedimientos para la evaluación de factibilidad ambiental, económica y social basado en la utilización de la *Guía del PMBOK®* .

Se realizará la descripción de los procesos de planificación que serán utilizados para el diseño de la propuesta y la metodología para la implementación de estos teniendo en cuenta las características, las necesidades y los posibles interesados propias de los proyectos de energía fotovoltaica y el contexto en que pueden ser implementados.

Debido a los plazos establecidos para la ejecución de este documento solo se realizará actividades de inicio y planificación, las actividades de ejecución y monitoreo no serán realizadas ya que implicaría como tal la implementación de un proyecto como tal para tener una visualización de este.

### 3.1 Gestión de la integración del proyecto

En esta área del conocimiento, se involucran los procesos y las actividades para identificar, definir, combinar, unificar y coordinar los diversos procedimientos y tareas de la dirección del proyecto dentro de los Grupos de Procesos, mediante el desarrollo del acta de constitución del proyecto: “Propuesta para la gestión de proyectos de generación de energía eléctrica, a partir de energía solar fotovoltaica en la ciudad de Medellín-Colombia aplicando los lineamientos del *PMBOK®*”. La principal entrada para la elaboración del acta de constitución del proyecto fue la ficha de inscripción del trabajo final de la maestría TFM, en la que se describen las necesidades, los objetivos, los entregables de manera general, las restricciones, los supuestos y con la que se formaliza el inicio del proyecto. A partir del acta de constitución del proyecto, aplicando un análisis de los interesados se identifica la influencia de cada uno de ellos.

#### 3.1.1. Acta de constitución del proyecto

A continuación, se presenta el acta de constitución del proyecto, mediante la explicación de los diferentes ítems que la conforman.

**Tabla 4.** *Acta de constitución del proyecto*

|                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Título del Proyecto</b>      | Propuesta para la gestión de proyectos de generación de energía eléctrica, a partir de energía solar fotovoltaica en la ciudad de Medellín-Colombia aplicando los lineamientos del <i>PMBOK®</i> .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Descripción del Proyecto</b> | <p>Este proyecto se desarrollará a lo largo del tercer y cuarto semestre de la Maestría en Gestión y Dirección de Proyectos; durante los módulos de Seminario I, Seminario II y Trabajo de Grado. Está dividido en contenidos teóricos los cuales estarán basados en métodos y buenas prácticas sobre gestión de proyectos de generación de energía eléctrica, a partir de energía solar fotovoltaica en la ciudad de Medellín-Colombia aplicando los lineamientos del <i>PMBOK®</i>.</p> <p>Se irá ampliando secuencialmente el conocimiento necesario sobre planificación y gestión de proyectos de generación de energía eléctrica a partir de energía solar. Los contenidos teóricos del proyecto se abordarán mediante antecedentes enmarcados en empresas que ya han ejecutado este tipo de proyectos, como las descritas en el numeral anterior.</p> |

|                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Título del Proyecto</b>            | Propuesta para la gestión de proyectos de generación de energía eléctrica, a partir de energía solar fotovoltaica en la ciudad de Medellín-Colombia aplicando los lineamientos del <i>PMBOK®</i> .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Planteamiento del Problema</b>     | <p>Desde el inicio de la humanidad, la energía ha jugado un papel fundamental en el desarrollo de las naciones y en los avances tecnológicos que mejoran cada día la calidad de las personas ya que el hombre la ha necesitado para sobrevivir y avanzar como civilización. La energía se encuentra presente en la naturaleza en diferentes manifestaciones, una de ellas es la energía solar, la cual, con los dispositivos adecuados puede ser transformada en energía eléctrica; ya que la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma (Muñoz, 2016).</p> <p>Con la tecnología actual, la energía generada en instalaciones con sistemas fotovoltaicos y estaciones aún es muy costosa resultando más económico el valor del KWh con las formas de generación tradicionales. Sin embargo, estas tecnologías están desarrollándose rápidamente, y el costo de producción de energía eléctrica por esta vía está disminuyendo, además permiten mayor independencia de redes de distribución por parte del cliente (Berrío y Zuluaga, 2014) y esto, sumado al hecho de que los países quieren acelerar la transición de un modelo completamente centralizado a un modelo distribuido.</p> <p>A pesar de que Colombia dispone del recurso solar gratuito con excelentes niveles de radiación en todo el territorio, durante la mayor parte del día y del año, la adopción de esta tecnología crece a unas proporciones muy bajas, de esta manera no se espera un aporte significativo en el corto plazo para reemplazar los sistemas de generación tradicionales a partir de recursos fósiles y el país seguirá dependiendo de la generación hidroeléctrica que ante fenómenos como “El Niño” pierde su eficiencia y capacidad de generar los valores nominales (Celsia, 2018). Con base a todo lo anterior vale la pena cuestionar ¿De qué manera se pueden utilizar los estándares del PMI en la gestión y administración de proyectos de generación de energía eléctrica a partir de energía solar en niveles altamente considerables en la ciudad de Medellín?</p> |
| <b>Recursos Preasignados</b>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 estudiantes Maestría en Dirección y Gestión de Proyectos.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Interesados</b>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Director del proyecto.</li> <li>• Equipo investigador del proyecto. (Ronald Leonardo Osorio Molina – Rafael Humberto Cabrales Navarro.</li> <li>• Empresas interesadas en la ejecución de proyectos de generación de energía eléctrica por medio de sistemas fotovoltaicos.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Descripción de los entregables</b> | <p><b>Benchmarking</b><br/> <b>Descripción:</b> Análisis de perfiles de proyectos mediante la construcción de un cuadro comparativo, basados en la energía solar fotovoltaica como opción sustentable de suministro de energía en la ciudad de Medellín.</p> <p><b>Diseño de procedimientos</b><br/> <b>Descripción:</b> Elaboración de procedimientos para la evaluación de factibilidad ambiental, económica y social de este tipo de proyectos, utilizando la guía del <i>PMBOK®</i>.</p> <p><b>Descripción:</b> Realizar procedimientos metodológicos basados en buenas prácticas que permitan la adecuada implementación de este tipo de proyectos de energía en Medellín mediante la optimización de resultados.</p> <p><b>Propuesta metodológica</b><br/> <b>Descripción:</b> El entregable principal del proyecto será la propuesta metodológica a utilizar en el ciclo de vida de los proyectos de generación de energía eléctrica a partir de energía solar fotovoltaica en Medellín-Colombia de acuerdo a los lineamientos del <i>PMBOK®</i>.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

|                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Título del Proyecto</b>           | Propuesta para la gestión de proyectos de generación de energía eléctrica, a partir de energía solar fotovoltaica en la ciudad de Medellín-Colombia aplicando los lineamientos del <i>PMBOK®</i> .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Supuestos</b>                     | <p>Se deberán aprobar los análisis y los procedimientos que se propongan en el proyecto por el director del Trabajo Final de Maestría y los Jurados asignados por el Comité de Trabajos de Grado; para medir el nivel de consecución de los objetivos, mediante la revisión y mejora continua de los documentos generados.</p> <p>Para validar los entregables será necesario aportar la información solicitada en las actividades de control y seguimiento aprobadas en el Plan de Trabajo del Proyecto (incluye aceptación de cambios) y entregas en las fechas indicadas.</p> |
| <b>Restricciones</b>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de información de algunos tipos de proyectos de generación de energía eléctrica a partir de energía solar fotovoltaica en Medellín-Colombia.</li> <li>• Poco interés de las empresas para realizar este tipo de proyectos de generación de energía eléctrica a partir de energía solar fotovoltaica en Medellín-Colombia.</li> </ul>                                                                                                                                                                                              |
| <b>Objetivo medible del proyecto</b> | Desarrollar una propuesta para la gestión de proyectos de generación de energía eléctrica, a partir de energía solar fotovoltaica en la ciudad de Medellín-Colombia teniendo en cuenta los lineamientos del <i>PMBOK®</i> .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Patrocinador</b>                  | Universidad Santo Tomás Bucaramanga.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

### 3.2 Gestión del alcance del proyecto

Para cumplir con los procesos de planificación del alcance de la propuesta para la gestión de proyectos de generación de energía eléctrica, a partir de energía solar fotovoltaica en la ciudad de Medellín-Colombia aplicando los lineamientos del *PMBOK®*, se realizará la recopilación de requisitos, así como la estructura de desglose de trabajo EDT.

Los requisitos identificados para el proyecto se relacionan en la matriz de requisitos mostrada en la tabla 5.

**Tabla 5.** Matriz de requisitos del proyecto

| Interesado            | Descripción del requerimiento                                                                                                                       | Prioridad |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Director del proyecto | Utilizar el estándar del <i>PMBOK®</i> como marco base para la revisión del trabajo de grado.                                                       | Alta      |
| Director del proyecto | Verificar los entregables del proyecto y aprobarlos de acuerdo con el nivel de rigurosidad de cada uno de ellos y al cumplimiento de los objetivos. | Alta      |

| Interesado            | Descripción del requerimiento                                                                                                                                                                                                | Prioridad |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Director del proyecto | Velar por el cumplimiento del plan de trabajo presentado para el desarrollo del proyecto.                                                                                                                                    | Alta      |
| Colaboradores         | Realizar el análisis de varios perfiles de proyectos relacionados con la generación de energía eléctrica, por medio de energía solar fotovoltaica como opción sustentable de suministro de energía en la ciudad de Medellín. | Alta      |
| Colaboradores         | Elaboración de procedimientos para la evaluación de factibilidad ambiental, económica y social de este tipo de proyectos, utilizando la guía del PMBOK®.                                                                     | Alta      |
| Colaboradores         | Elaboración de procedimientos metodológicos basados en buenas prácticas que permitan la adecuada implementación de este tipo de proyectos de energía en Medellín mediante la optimización de resultados.                     | Alta      |
| Empresas del Sector   | Implementación de la propuesta metodológica, para la ejecución de proyectos de generación de energía eléctrica a partir de energía solar fotovoltaica en Medellín-Colombia de acuerdo con los lineamientos del PMBOK®.       | Media     |

Teniendo en cuenta el alcance y la definición de los requisitos del proyecto, procedemos a realizar la estructura de desglose de trabajo EDT en la que se describe cada una de las actividades según sus fases.

*Fase 1. Recopilación de la Información:* recopilación de la información de los perfiles de los proyectos actualmente implementados, en energía solar fotovoltaica a nivel nacional e internacional para revisar factores de tiempo, costo y sectores económicos de consumo (doméstico y empresarial).

*Fase 2. Desarrollo de los análisis y los procedimientos:* realizar el análisis de algunos proyectos de energía solar fotovoltaica, su viabilidad y opción sustentable como suministro de energía eléctrica.

Realizar los procedimientos de acuerdo con la información analizada de proyectos nacionales e internacionales basados en los estudios de factibilidad ambiental, económica y social; con el fin de que puedan ser implementados en la ciudad de Medellín para el ahorro de energía en

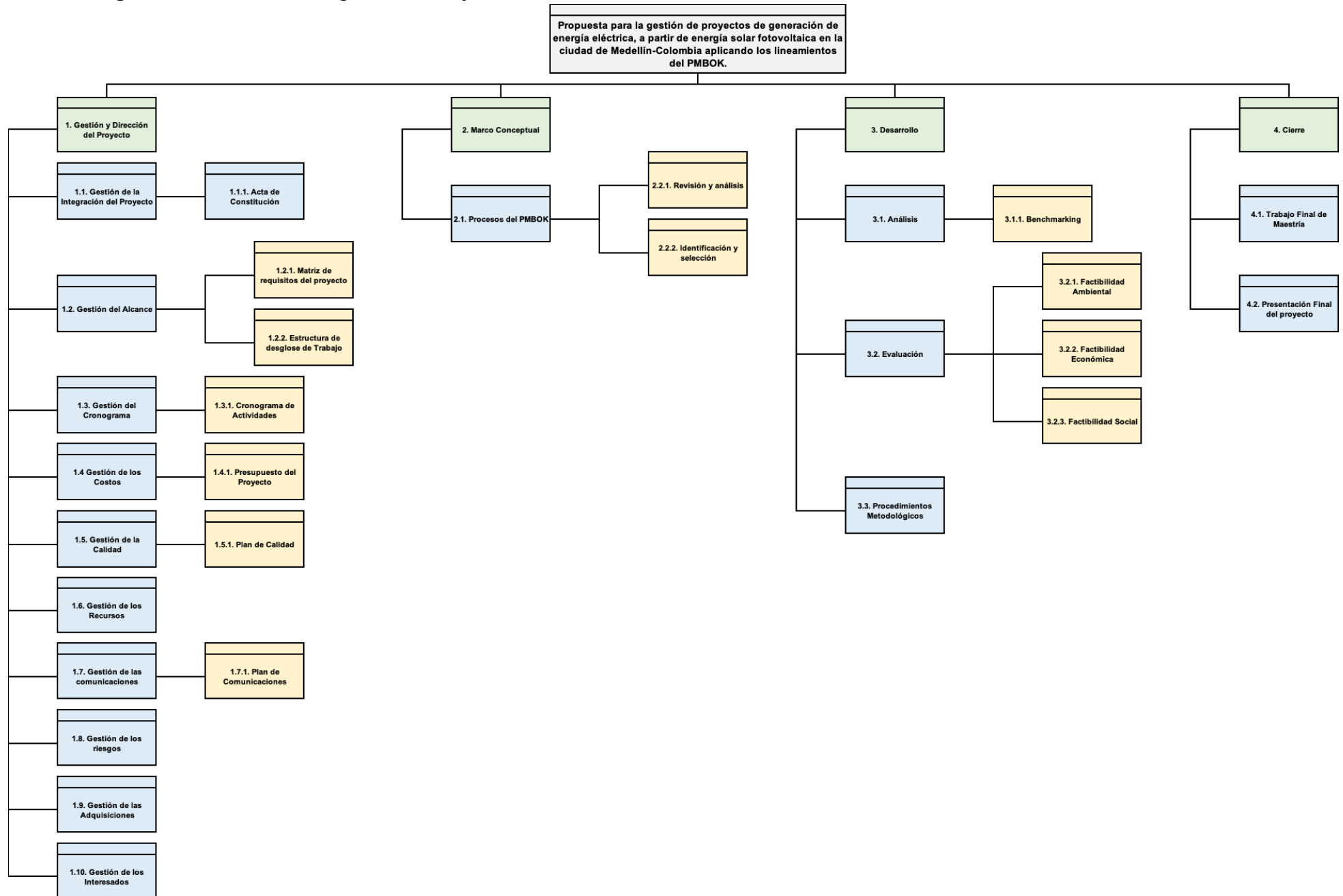


alumbrados públicos, señalizaciones, factibilidad ambiental y demás; a partir de energía solar fotovoltaica.

*Fase 3.* Presentación del análisis y los procedimientos: se presentará el análisis y los procedimientos descritos en los objetivos del proyecto.

*Fase 4.* Entrega: se procederá a realizar entrega de la propuesta para la gestión de proyectos de generación de energía eléctrica, a partir de energía solar fotovoltaica en la ciudad de Medellín-Colombia aplicando los lineamientos del *PMBOK®*.

En la figura 7 se muestra la Estructura de Desglose de Trabajo EDT para el desarrollo del trabajo final de maestría

**Figura 7.** Estructura de desglose de trabajo

### 3.3 Gestión del cronograma del proyecto

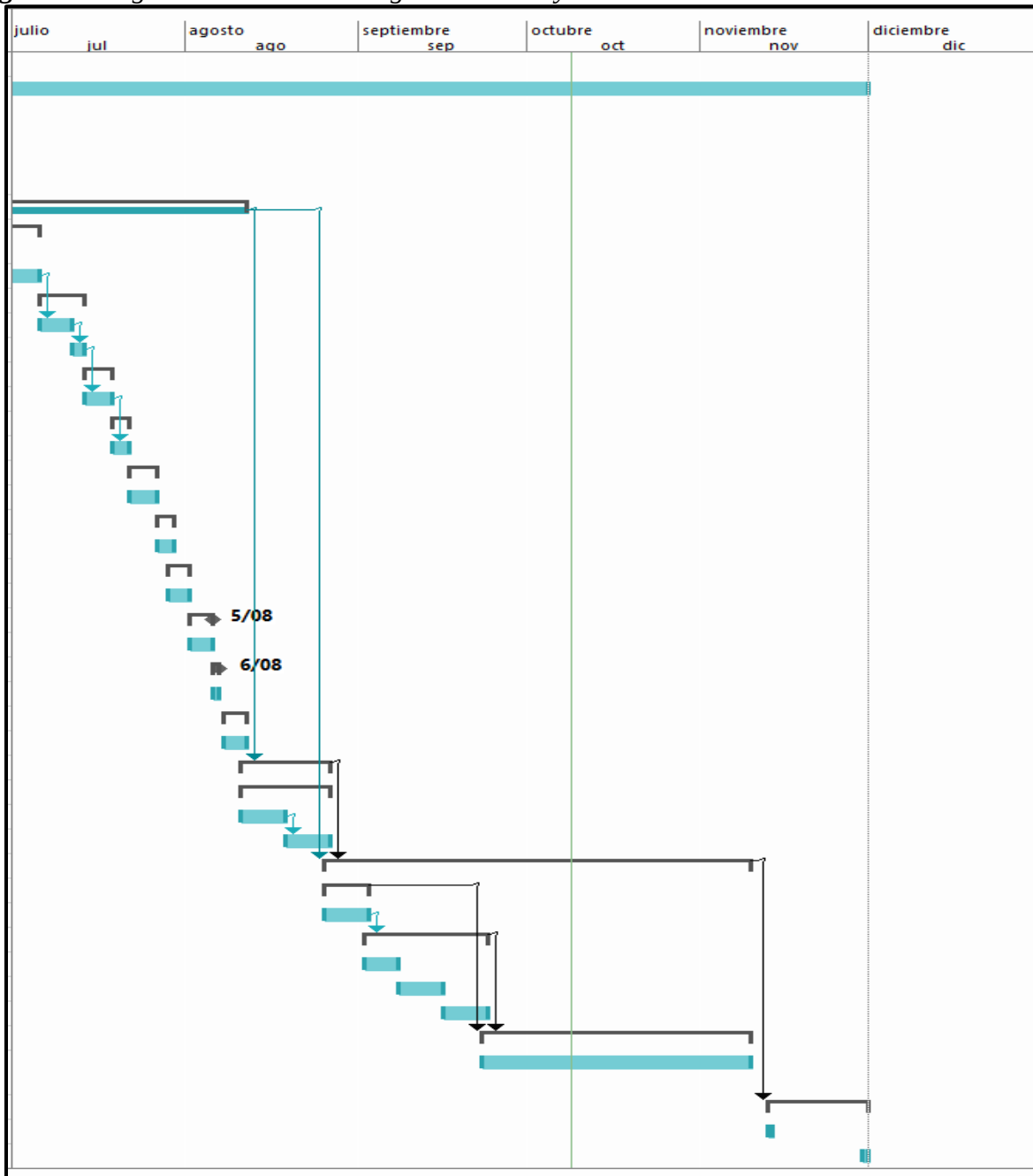
En esta área del conocimiento se realiza la planificación de la gestión del cronograma del proyecto; el cual establece las políticas, los procedimientos y la documentación para planificar, desarrollar, gestionar, ejecutar y controlar el cronograma del proyecto.

Al tener la estructura de desglose de trabajo (EDT) definida, y la línea base definida para cada alternativa; se procede a realizar la duración de las actividades enmarcadas para cada línea base. La duración de las actividades se realizó por medio de juicio de expertos, teniendo como referencia proyectos similares que se han desarrollado a nivel nacional e internacional. A partir de esto se estableció la duración y secuencia de las actividades. En la figura 8 se muestra el cronograma del proyecto y en la figura 9 el diagrama de Gantt correspondiente.

El tiempo disponible para realizar la propuesta para la gestión de proyectos de generación de energía eléctrica, a partir de energía solar fotovoltaica en la ciudad de Medellín-Colombia aplicando los lineamientos del *PMBOK®*, será de 21 semanas comprendidas entre julio y noviembre de 2022.

Figura 8. Cronograma del proyecto

| EDT    | Propuesta para la gestión de proyectos de generación de energía eléctrica, a partir de energía solar fotovoltaica en la ciudad de Medellín-Colombia aplicando los lineamientos del PMBOK®. | Duración | Comienzo     | Fin          | Predecesoras |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------|--------------|--------------|
|        |                                                                                                                                                                                            | 109 días | vie 1/07/22  | mié 30/11/22 |              |
| 1.     | <b>Gestión y dirección del proyecto</b>                                                                                                                                                    | 30 días  | vie 1/07/22  | jue 11/08/22 |              |
| 1.1    | <b>Gestión de la integración del proyecto</b>                                                                                                                                              | 3 días   | vie 1/07/22  | mar 5/07/22  |              |
| 1.1.1  | Acta de constitución                                                                                                                                                                       | 3 días   | vie 1/07/22  | mar 5/07/22  |              |
| 1.2    | <b>Gestión del alcance</b>                                                                                                                                                                 | 6 días   | mié 6/07/22  | mié 13/07/22 |              |
| 1.2.1  | Matriz de requisitos                                                                                                                                                                       | 4 días   | mié 6/07/22  | lun 11/07/22 | 1.1.1        |
| 1.2.2  | Estructura de desglose de trabajo                                                                                                                                                          | 2 días   | mar 12/07/22 | mié 13/07/22 | 1.2.1        |
| 1.3    | <b>Gestión del cronograma</b>                                                                                                                                                              | 3 días   | jue 14/07/22 | lun 18/07/22 |              |
| 1.3.1  | Cronograma de actividades                                                                                                                                                                  | 3 días   | jue 14/07/22 | lun 18/07/22 | 1.2.2        |
| 1.4    | <b>Gestión de los costos</b>                                                                                                                                                               | 3 días   | mar 19/07/22 | jue 21/07/22 |              |
| 1.4.1  | Presupuesto del proyecto                                                                                                                                                                   | 3 días   | mar 19/07/22 | jue 21/07/22 | 1.3.1        |
| 1.5    | <b>Gestión de la calidad</b>                                                                                                                                                               | 3 días   | vie 22/07/22 | mar 26/07/22 |              |
| 1.5.1  | Plan de calidad                                                                                                                                                                            | 3 días   | vie 22/07/22 | mar 26/07/22 |              |
| 1.6    | <b>Gestión de los recursos</b>                                                                                                                                                             | 3 días   | mié 27/07/22 | vie 29/07/22 |              |
| 1.6.1  | Desglose de los recursos                                                                                                                                                                   | 3 días   | mié 27/07/22 | vie 29/07/22 | 1.4.1        |
| 1.7    | <b>Gestión de las comunicaciones</b>                                                                                                                                                       | 2 días   | vie 29/07/22 | lun 1/08/22  |              |
| 1.7.1  | Plan de comunicaciones                                                                                                                                                                     | 2 días   | vie 29/07/22 | lun 1/08/22  |              |
| 1.8    | <b>Gestión de los riesgos</b>                                                                                                                                                              | 4 días   | vie 30/09/22 | vie 30/09/22 |              |
| 1.8.1  | Plan de riesgos                                                                                                                                                                            | 4 días   | mar 2/08/22  | vie 5/08/22  |              |
| 1.9    | <b>Gestión de adquisiciones</b>                                                                                                                                                            | 1 días   | sáb 6/08/22  | sáb 6/08/22  |              |
| 1.9.1  | Plan de gestión adquisiciones                                                                                                                                                              | 1 día    | sáb 6/08/22  | sáb 6/08/22  |              |
| 1.10   | <b>Gestión de los interesados</b>                                                                                                                                                          | 4 días   | lun 8/08/22  | jue 11/08/22 |              |
| 1.10.1 | Interesados del proyecto                                                                                                                                                                   | 4 días   | lun 8/08/22  | jue 11/08/22 |              |
| 2.     | <b>Marco conceptual</b>                                                                                                                                                                    | 12 días  | jue 11/08/22 | vie 26/08/22 |              |
| 2.1    | <b>Procesos del PMBOK®</b>                                                                                                                                                                 | 12 días  | jue 11/08/22 | vie 26/08/22 |              |
| 2.1.1  | Revisión y análisis                                                                                                                                                                        | 6 días   | jue 11/08/22 | jue 18/08/22 |              |
| 2.1.2  | Identificación y selección                                                                                                                                                                 | 6 días   | vie 19/08/22 | vie 26/08/22 |              |
| 3.     | <b>Desarrollo</b>                                                                                                                                                                          | 54 días  | vie 26/08/22 | mié 9/11/22  |              |
| 3.1    | <b>Análisis</b>                                                                                                                                                                            | 6 días   | vie 26/08/22 | vie 2/09/22  |              |
| 3.1.1  | Benchmarking                                                                                                                                                                               | 6 días   | vie 26/08/22 | vie 2/09/22  | 2.1.1        |
| 3.2    | <b>Evaluación</b>                                                                                                                                                                          | 16 días  | vie 2/09/22  | vie 23/09/22 |              |
| 3.2.1  | Factibilidad ambiental                                                                                                                                                                     | 4 días   | vie 2/09/22  | mié 7/09/22  | 3.1.1        |
| 3.2.2  | Factibilidad económica                                                                                                                                                                     | 6 días   | jue 8/09/22  | jue 15/09/22 | 3.1.1        |
| 3.2.3  | Factibilidad social                                                                                                                                                                        | 6 días   | vie 16/09/22 | vie 23/09/22 | 3.1.1        |
| 3.3    | <b>Procedimientos metodológicos</b>                                                                                                                                                        | 34 días  | vie 23/09/22 | mié 9/11/22  |              |
| 3.3.1  | Desarrollo procedimientos metodológicos                                                                                                                                                    | 34 días  | vie 23/09/22 | mié 9/11/22  | 3.2          |
| 4.     | <b>Cierre</b>                                                                                                                                                                              | 13 días  | dom 13/11/22 | mié 30/11/22 |              |
| 4.1    | Trabajo final maestría                                                                                                                                                                     | 1 día    | dom 13/11/22 | dom 13/11/22 | 3.3.1        |
| 4.2    | Presentación final                                                                                                                                                                         | 1 día    | mié 30/11/22 | mié 30/11/22 | 4.1          |

**Figura 9.** *Diagrama de Gantt Cronograma del Proyecto*

### 3.4 Gestión de los costos del proyecto

El costo total estimado, medido en número de horas será de 126 por cada integrante que realiza este proyecto. Las horas están distribuidas entre análisis de los perfiles (60 horas) y

elaboración de procedimientos (66 horas); a este costo se le debe añadir otros costos como el desplazamiento a las empresas, como mínimo dos visitas para la recopilación de la información, equipos de cómputo y otros gastos que surgen en el desarrollo del proyecto. Para determinar el valor total se realiza la tabla del presupuesto del proyecto que se relaciona a continuación.

**Tabla 6. Presupuesto del proyecto**

| <b>Recurso</b>                     | <b>Unidad</b> | <b>Valor (COP)</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Total (COP)</b>   |
|------------------------------------|---------------|--------------------|-----------------|----------------------|
| Director del proyecto              | Hora          | \$ 35.500          | 42              | \$ 1.491.000         |
| Colaboradores                      | Hora          | \$ 21.500          | 252             | \$ 5.418.000         |
| Equipos de computo                 | Mes           | \$ 250.000         | 10              | \$ 2.500.000         |
| Comunicaciones (Internet, celular) | Mes           | \$ 80.000          | 10              | \$ 800.000           |
| Transporte a empresas              | Und           | \$ 2.150.000       | 2               | \$ 4.300.000         |
| <b>Total - A</b>                   |               |                    |                 | <b>\$ 14.509.000</b> |

**Tabla 7. Presupuesto gestión del proyecto**

| <b>Recurso</b>                                | <b>Unidad</b> | <b>Valor (COP)</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Total (COP)</b>   |
|-----------------------------------------------|---------------|--------------------|-----------------|----------------------|
| Gestión de la Integración                     | Hora          | \$42.200           | 24              | \$ 1.012.800         |
| Gestión del alcance                           | Hora          | \$85.300           | 30              | \$ 2.559.000         |
| Gestión del Cronograma                        | Hora          | \$67.900           | 30              | \$ 2.037.000         |
| Gestión de los Costos                         | Hora          | \$48.100           | 20              | \$ 962.000           |
| Gestión de la calidad                         | Hora          | \$63.200           | 18              | \$ 1.137.600         |
| Gestión de los recursos                       | Hora          | \$75.000           | 15              | \$ 1.125.000         |
| Gestión de las comunicaciones                 | Hora          | \$60.800           | 12              | \$ 729.600           |
| Gestión de los Riesgos                        | Hora          | \$43.200           | 29              | \$ 1.252.800         |
| Gestión de las adquisiciones                  | Hora          | \$35.500           | 0               | \$ 0                 |
| Gestión de los interesados                    | Hora          | \$58.000           | 12              | \$ 696.000           |
| <b>Total - B</b>                              |               |                    |                 | <b>\$ 11.511.800</b> |
| <b>Total, A+B</b>                             |               |                    |                 | <b>\$ 26.020.800</b> |
| <b>Imprevistos generales del proyecto 10%</b> |               |                    |                 | <b>\$ 2.602.080</b>  |
| <b>Valor total del proyecto</b>               |               |                    |                 | <b>\$ 28.622.880</b> |

### 3.5 Gestión de la calidad del proyecto

Se aportarán los entregables según los estándares y contenidos enmarcados por el *PMBOK®* para obtener la máxima satisfacción posible del director del Trabajo Final de Maestría y los Jurados del Comité.

Este plan de trabajo puede ser desarrollado de manera formal o informal, donde se debe plasmar los detalles del proyecto. Se recomienda que se realice una revisión de dicho plan de trabajo para detectar falencias y corregir la información, donde se pueden ver datos reales de tiempos de entrega; o por el contrario si no se está cumpliendo con el cronograma de actividades según su programación debido a los diferentes factores que pueden impactar de una manera significativa los recursos del proyecto.

Dentro del plan de calidad se debe dejar claro el alcance, los objetivos del proyecto y así mismo las diferentes responsabilidades de los involucrados. A continuación, se presenta el tablero de gestión de calidad para el proyecto.

**Tabla 8.** *Tablero de gestión de calidad*

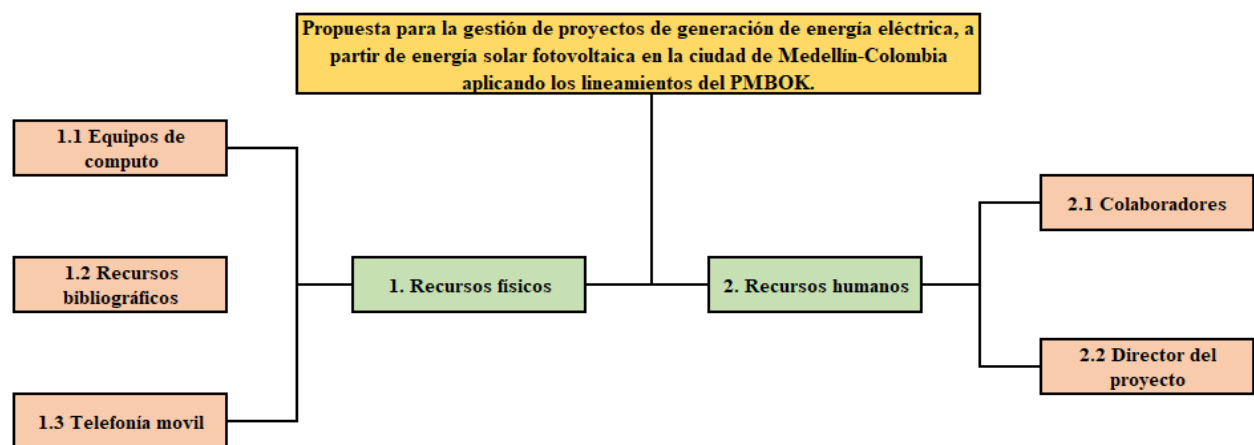
| Objetivo de calidad                                                                                              | Indicador                  | Fórmula                                                                             | Responsable | Frecuencia evaluación | Meta        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------|-------------|
| Cumplir con los entregables según los tiempos y objetivos propuestos del proyecto                                | % de entregables cumplidos | $\frac{\text{(entregas realizadas / totalidad entregadas)}}{1} \times 100\%$        | Colaborador | mensual               | 100%        |
|                                                                                                                  | % de objetivos alcanzados  | $\frac{\text{(objetivos alcanzados / totalidad objetivos)}}{1} \times 100\%$        | Colaborador | bimensual             | 100%        |
| Cumplir con las observaciones generadas en cada una de las fases del proyecto según recomendaciones del director | % observaciones cumplidas  | $\frac{\text{(observaciones cumplidas / totalidad observaciones)}}{1} \times 100\%$ | Colaborador | mensual               | $\geq 90\%$ |

| Objetivo de calidad                                                                    | Indicador            | Fórmula                                                                 | Responsable           | Frecuencia evaluación | Meta |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|------|
| Realizar la totalidad de entregas a satisfacción y aprobación del director de proyecto | % entregas aprobadas | $(\text{entregas aprobadas} / \text{entregas realizadas}) \times 100\%$ | Colaborador, director | bimensual             | 100% |

### 3.6 Gestión de los recursos del proyecto

Dentro de la planificación de la gestión y estimación de los recursos para sus respectivas actividades, se debe contar con los recursos físicos y humanos necesarios para lograr los objetivos planteados en la propuesta para la gestión de proyectos de generación de energía eléctrica, a partir de energía solar fotovoltaica en la ciudad de Medellín-Colombia aplicando los lineamientos del *PMBOK®*, en la figura 9, se relaciona la estructura de desglose de recursos necesaria para cada paquete de trabajo en la planificación del proyecto.

**Figura 10.** Estructura de desglose de recursos



En la siguiente tabla se puede observar el recurso humano con el que se cuenta para el desarrollo del proyecto, así como el tiempo que se tiene estimado para el desarrollo de este.



**Tabla 9.** *Recurso humano presupuestado*

| Recurso humano        | Cantidad | Tiempo                                        |
|-----------------------|----------|-----------------------------------------------|
| Director del proyecto | 1        | Dos horas a la semana - 5 meses (21 semanas)  |
| Colaborador 1         | 1        | Seis horas a la semana - 5 meses (21 semanas) |
| Colaborador 2         | 1        | Seis horas a la semana - 5 meses (21 semanas) |

### 3.7 Gestión de las comunicaciones del proyecto

Para desarrollar el plan de comunicaciones dentro del proceso de planificación en la “Propuesta para la gestión de proyectos de generación de energía eléctrica, a partir de energía solar fotovoltaica en la ciudad de Medellín-Colombia aplicando los lineamientos del PMBOK®”. Se realiza la tabla de requerimientos de comunicaciones donde se identifica el tipo de interacción que se tendrá con cada uno de los interesados del proyecto, el objetivo, el método y la frecuencia para que exista fluidez entre las partes, así como su respectivo plazo y responsables.

**Tabla 10.** *Requerimientos de comunicación del proyecto*

| Comunicación                                     | Objetivo                                                                                     | Contenido   | Formato          | Método o Tecnología | Frecuencia                        | Plazo para confirmar recepción | Responsable | Audiencia / receptores                              |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------|---------------------|-----------------------------------|--------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------|
| Información preliminar de proyectos relacionados | Analizar proyectos similares a nivel nacional e internacional                                | Analítico   | Microsoft Word   | Medio magnético     | Al inicio del proyecto            | 7 días                         | Colaborador | Director del proyecto                               |
| Reunión virtual                                  | Presentar avances, inquietudes que surgen en el desarrollo del proyecto                      | Descriptivo | Microsoft Word   | Medio magnético     | Según lo acordado con el director | 30 días                        | Colaborador | Director del proyecto                               |
| Documentación final                              | Dar a conocer el resultado final del proyecto con todos sus anexos documentados para cumplir | Descriptivo | Microsoft Office | Medio magnético     | Al final del proyecto             | 7 días                         | Colaborador | Director del proyecto - Jurado de proyecto de grado |

| Comunicación | Objetivo          | Contenido | Formato | Método o Tecnología | Frecuencia | Plazo para confirmar recepción | Responsable | Audiencia / receptores |
|--------------|-------------------|-----------|---------|---------------------|------------|--------------------------------|-------------|------------------------|
|              | con los objetivos |           |         |                     |            |                                |             |                        |

### 3.8 Gestión de los riesgos del proyecto

En la gestión de los riesgos se busca planificar, identificar, cuantificar y responder a los riesgos que se puedan presentar, con el fin de minimizar la probabilidad de que ocurran y así mismo bajar el impacto negativo que puedan tener. Se inicia con el análisis de la planificación de los riesgos, luego se procede con la identificación de estos y así mismo el plan de respuesta a esos riesgos ya identificados.

#### 3.8.1 Planificar los riesgos

Para este caso se realizarán reuniones de planificación diarias con el objetivo de revisar los avances y la información recolectada para el análisis de los perfiles de proyectos y la realización de los procedimientos basados en energía solar fotovoltaica, como una opción sustentable y amigable con el medio ambiente. El equipo está conformado por los dos estudiantes de la Maestría en Gestión y Dirección de Proyectos; quienes son los responsables del riesgo de no recolectar la información necesaria para la realización de la propuesta y así mismo de un análisis inadecuado a los perfiles de proyectos basados en energía solar fotovoltaica, como una opción sustentable y amigable con el medio ambiente.

En la tabla 11, se muestra la matriz de identificación de riesgos utilizada para realizar el análisis cualitativo de los riesgos.

**Tabla 11.** *Matriz de identificación de riesgos*

| ID | Riesgo                                                                                  | Descripción                                                                                                                                                                                                                                             | Tipo    | Categoría     | Nivel | Tratamiento                                                                                                                                                                                    |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------------|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Falta de información relacionada con proyectos de generación de energía eléctrica.      | La información requerida para el desarrollo del Proyecto no se encuentra disponible, debido a la baja ejecución de este tipo de proyectos a nivel nacional e internacional.                                                                             | Amenaza | Documentación | Alto  | Para la información que no esté disponible, se buscarán fuentes alternas para suplir lo requerido.                                                                                             |
| 2  | Desconocimiento de Proyectos de Generación de Energía Solar Fotovoltaica.               | El desconocimiento de los proyectos de generación de energía eléctrica a partir de energía solar fotovoltaica podría acarrear un análisis inadecuado a los perfiles de proyectos impactando negativamente uno de los objetivos específicos de este TFM. | Amenaza | Documentación | Medio | Revisión detallada del estado del arte y la documentación recopilada; con el fin de conocer más a fondo de este tipo de proyectos para su correcta implementación aplicando la guía del PMBOK. |
| 3  | No abordar el proyecto con el tiempo suficiente para conseguir los objetivos propuestos | Subestimación del esfuerzo y recursos requeridos para el desarrollo de las actividades del proyecto desviándose de lo proyectado en el plan de trabajo                                                                                                  | Amenaza | Ejecución     | Medio | Revisión semanal del cumplimiento del plan de trabajo.<br><br>Establecer estrategias y planes de choque para recuperar el tiempo perdido en caso de ser necesario                              |
| 4  | Cambio de director del proyecto                                                         | Durante el desarrollo del trabajo final de la maestría se presenta cambio de director del Proyecto por decisiones personales, profesionales, o administrativas.                                                                                         | Amenaza | Recursos      | Bajo  | Aprobación documentada de los entregables del Proyecto en cabeza del director asignado y del comité de Proyectos en la medida que se logran los objetivos                                      |

| ID | Riesgo | Descripción | Tipo | Categoría | Nivel | Tratamiento                                                                                                             |
|----|--------|-------------|------|-----------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |        |             |      |           |       | planteados                                                                                                              |
|    |        |             |      |           |       | Disponer por parte de la Universidad la asignación de un nuevo director de Proyecto para el trabajo finales de maestría |

En la figura 11 se observa la matriz de probabilidad e impacto.

**Figura 11.** *Matriz de probabilidad e impacto*

|         |          | PROBABILIDAD |      |       |      |          |
|---------|----------|--------------|------|-------|------|----------|
|         |          | Reducida     | Baja | Media | Alta | Muy Alta |
| IMPACTO | Muy Alto |              |      |       |      |          |
|         | Alto     |              | 2    | 4     |      |          |
|         | Moderado |              | 3    | 1     |      |          |
|         | Bajo     |              |      |       |      |          |
|         | Reducido |              |      |       |      |          |



Muy Alta



Alta



Media



Baja

### 3.8.2 Planificación de respuesta a los riesgos

Teniendo en cuenta los riesgos identificados para la planificación de proyectos basados en la generación de energía eléctrica basada en energía solar fotovoltaica; se realiza la siguiente lista para el manejo de estos.

- Para el primer y segundo riesgo identificado y su respectivo plan de respuesta se requiere mitigar el desconocimiento sobre el tema en mención abordando de manera oportuna las fuentes informativas donde se suministre material de apoyo para la ejecución de este.

- En el tercer y cuarto riesgo identificado y su respectivo plan de respuesta se requiere evitar la proyección de actividades en tiempo no contractuales, y de igual manera mantener el personal de gerencia del proyecto desde el inicio teniendo en cuenta que este maneja la información desde el inicio del proyecto.

### **3.9 Gestión de las adquisiciones del proyecto**

El proceso de gestión de las adquisiciones se basa en la planificación para adquirir los bienes tangibles y servicios necesarios para poder lograr los objetivos que se plantean dentro del proyecto. Cabe mencionar que en la *“Propuesta para la gestión de proyectos de generación de energía eléctrica, a partir de energía solar fotovoltaica en la ciudad de Medellín-Colombia aplicando los lineamientos del PMBOK®”*, no se tiene planificado desarrollar el proceso de gestión de adquisiciones, ya que la base fundamental de esta trabajo consiste en una propuesta para gestionar proyectos de energía solar basados en los lineamientos del *PMBOK®* y dentro del alcance no se contempla la ejecución de ningún proyecto, de manera que no es requerido adquirir bienes y la contratación de servicios, solamente se hace necesario el alquiler de manera mensual de dos equipos de cómputo utilizados para su realización durante los cinco meses.

### **3.10 Gestión de los interesados del proyecto**

A continuación, en la tabla 12 se puede analizar el involucramiento de los interesados del proyecto dentro del proceso de planificación, en este se enuncian los interesados identificando su rol, nivel de involucramiento, potencial de influencia, requerimientos y expectativas para el desarrollo del proyecto.

**Tabla 12.** *Lista de interesados del proyecto*

| Nombre                                                                                                                    | Descripción                  | Rol           | Clasificación       |                                | Requerimientos                                                                                                                              | Expectativas                                                                                                                                                              | Influencia/<br>Poder |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|---------------|---------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
|                                                                                                                           |                              |               | Interno/<br>Externo | Apoyo/<br>Neutral/<br>Opositor |                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                           |                      |
| Ministerio de minas y energía.                                                                                            | Entidad del estado.          | Beneficiario  | Externo             | Apoyo                          | Apoyar proyectos basados en generación de energía eléctrica mediante beneficios a las empresas ejecutoras.                                  | Alta. Alta, debido que mediante los beneficios que ofrece las empresas estarán muy interesadas.                                                                           | Alta/Alta            |
| Ministerio de medio ambiente.                                                                                             | Entidad del estado.          | Beneficiario  | Externo             | Apoyo                          | Apoyar proyectos basados en generación de energía eléctrica mediante beneficios a las empresas ejecutoras.                                  | Alta. Alta, debido que mediante los beneficios que ofrece las empresas estarán muy interesadas.                                                                           | Alta/Alta            |
| Empresas interesadas en la ejecución de proyectos de generación de energía eléctrica por medio de sistemas fotovoltaicos. | Empresas públicas y privadas | Beneficiarios | Externo             | Neutral                        | Ejecutar proyectos de generación de energía eléctrica a partir de energía solar fotovoltaica aplicando los lineamientos del <i>PMBOK®</i> . | Alta, debido a que es viable ejecutar algún proyecto de generación de energía, a partir de energía solar fotovoltaica aplicando los procesos establecidos en el proyecto. | Alta/Bajo            |
| Alcaldías de municipios de difícil acceso                                                                                 | Entidad del estado           | Beneficiarios | Externo             | Neutral                        | Invertir en proyectos de generación de energía solar fotovoltaica en municipios, corregimientos y/o veredas de difícil acceso.              | Media, ya que no disponen de los recursos suficientes para el desarrollo de estos proyectos.                                                                              | Bajo/Alto            |

En base a la tabla 12 lista de interesados del proyecto, se muestra a continuación la figura 12, Matriz de poder e influencia.

**Figura 12. Matriz de poder e influencia**

|            |      | PODER                                            |                                          |
|------------|------|--------------------------------------------------|------------------------------------------|
|            |      | BAJO                                             | ALTO                                     |
| INFLUENCIA | ALTO | Trabajar con ellos                               | Trabajar para él                         |
|            | BAJO | Mantenerlos informados con un mínimo de esfuerzo | Mantenerlos informados y nunca ignorados |

### 3.10.1 Planificación de respuesta a los interesados

- Para los ministerios de energía y medio ambiente se tiene una influencia poder Alta/Alta, ya que contratan y hacen seguimiento a los proyectos mediante licitaciones públicas.
- En las empresas de capital privado se tiene una influencia poder Alta/Bajo, debido que si desean implementar la propuesta se planea trabajar en compañía con ellos.
- En las alcaldías debido a que algunas no poseen los recursos necesarios para la implementación de proyecto de energía solar fotovoltaica se tiene una influencia poder Bajo/Alta.

## 4. Resultados

El desarrollo del trabajo se basó en el proceso de planificación de proyecto según las buenas prácticas del *PMBOK®*, cuyos resultados estuvieron directamente relacionados con el desarrollo de cada uno de los objetivos que lo conforman, permitiendo así el cumplimiento de estos. Con la

ejecución de las áreas del conocimiento y cada uno de los objetivos específicos se logra el cumplimiento del objetivo general, demostrando que los lineamientos del *PMBOK®* son una excelente alternativa para proyectos de generación de energía eléctrica a partir de energía solar fotovoltaica. De acuerdo con la ejecución de los objetivos específicos del proyecto se muestra a continuación el detalle de cada uno de estos.

#### **4.1 Benchmarking de algunos perfiles de proyectos basados en la energía solar fotovoltaica como opción sustentable de suministro de energía Medellín – Colombia**

##### ***4.1.1 Alcance del análisis***

Debido al gran auge del Programa Energía Solar fotovoltaica a nivel mundial, se hace necesario realizar un levantamiento de aspectos técnicos y operacionales, específicamente enfocado en diferentes tipos de proyectos de plantas solares fotovoltaicas en Medellín - Colombia, esto lleva a la realización de un estudio de Benchmarking que permita identificar los principales usos que actualmente se le da a este tipo de energía como opción sustentable de suministro de energía en alumbrados público, señales entre muchos otros usos que se le puede dar, ejecutados por las principales empresas con las que actualmente cuenta el mercado. Para una correcta representatividad en el estudio se consideró una muestra de empresas participantes que por lo menos debía abarcar un 20% de la capacidad instalada fotovoltaica de la ciudad de Medellín a octubre de 2022 (Capacidad Instalada Solar según diferentes fuentes). Sin embargo, se logró una muestra que considera el 30% de la potencia total, con plantas solares encuestadas que suman un total de 2.776 MWp (Megavatios pico) instalados. La muestra, a su vez, debía considerar plantas solares con más de dos años de antigüedad desde su puesta en marcha, pero para que esta lograra



ser más representativa se decidió considerar también plantas solares con sólo un año de ejecución para entender si estas tienen mayor crecimiento a más temprana edad en relación con los competidores del mercado. El desarrollo del análisis nos describe brevemente los resultados obtenidos a partir de un suministro de información consultada vía web mediante páginas de las empresas y artículos tomados de internet con cada una de las empresas participantes.

#### 4.1.2 Empresas participantes

En la siguiente tabla se relacionan las empresas con sus respectivos proyectos de generación de energía solar fotovoltaica en la zona metropolitana de Medellín – Antioquia, a las cuales se realizará su debido análisis en relación con su funcionalidad.

**Tabla 13. Relación de empresas participantes**

| <b>Cubierta edificio EPM</b>                                          |                                        |
|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Propietario                                                           | EPM                                    |
| Ubicación                                                             | Medellín - Antioquia                   |
| Potencia nominal informada                                            | 0,418 MVp (Megavatios pico)            |
| Puesta en servicio                                                    | 01 de septiembre 2021                  |
| <b>Empresa del sector metalúrgico</b>                                 |                                        |
| Propietario                                                           | firmas Groupe SEB Andean y GreenYellow |
| Ubicación                                                             | Rionegro - Antioquia                   |
| Potencia nominal informada                                            | 1,4 MVp (Megavatios pico)              |
| Puesta en servicio                                                    | 1 de noviembre de 2020                 |
| <b>Convenio entre el fondo de energías no convencionales y fenoge</b> |                                        |
| Propietario                                                           | Universidad nacional sede Medellín     |
| Ubicación                                                             | Medellín - Antioquia                   |
| Potencia nominal informada                                            | 0,77 MVp (Megavatios pico)             |
| Puesta en servicio                                                    | 1 de diciembre de 2021                 |
| <b>Edificio miguel de Aguinaga (Contraloría)</b>                      |                                        |
| Propietario                                                           | EPM – Erco ingeniería                  |
| Ubicación                                                             | Medellín - Antioquia                   |
| Potencia nominal informada                                            | 0,188 MVp (Megavatios pico)            |
| Puesta en servicio                                                    | 22 de julio de 2022                    |

#### ***4.1.3 Descripción de las fuentes de información***

La recopilación de información se realiza mediante páginas electrónicas vía web de las empresas participantes, así como diferentes artículos y escritos que actualmente se encuentran en la red. Una revisión bien estructurada de forma magnética sobre los distintos usos que le dan las empresas en el mercado a la energía solar fotovoltaica en Medellín - Colombia, con el objetivo de completar la recolección de toda la información necesaria para su respectivo análisis. Para esto, se buscaron las principales empresas líderes en el mercado en toda el área metropolitana de Medellín y sus alrededores. Las primeras búsquedas se realizaron específicamente en empresas de la ciudad mencionada a principios del mes de octubre de 2022 y el segundo grupo en su área metropolitana que la conforman varios municipios a mediados del mes de octubre del presente año. En esta etapa es necesario mantener comunicación constante con los participantes vía web, ya que pueden surgir consultas posteriores para lograr el análisis planteado.

#### ***4.1.4 Desarrollo del análisis***

En la tabla 14 se puede observar el análisis comparativo de como diferentes organizaciones están respondiendo a los mismos desafíos del mercado de energía solar fotovoltaica en la ciudad de Medellín – Colombia y su área metropolitana. En esta se relaciona toda la información de los proyectos como lo son potencia nominal, ubicación y fecha de puesta en marcha, número de paneles solares utilizados y sus respectivos usos que se le da en las zonas intervenidas.

**Tabla 14.** *Tabla comparativa Benchmarking*

| Proyecto                                                       | Nombre de la empresa                 | Potencia nominal informada  | Puesta en marcha (Meses) | Ubicación             | # de paneles solares | Toneladas de CO2 que se evitan al año | Equivalente en siembra de árboles | Uso del aprovechamiento de la energía solar                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cubierta edificio EPM                                          | Empresas públicas de Medellín - EPM  | 0,418 MVp (Megavatios pico) | 14                       | Medellín - Antioquia  | 1044                 | 123                                   | 927                               | Con el uso de esta energía solar se puede llegar abastecer hasta 4 pisos mensualmente de la energía que consume toda la planta de la empresa                                                                                       |
| Empresa del sector metalúrgico                                 | Groupe SEB Andean y GreenYellow      | 1,4 MVp (Megavatios pico)   | 24                       | Rio negro - Antioquia | 4000                 | 738                                   | 3549                              | El principal uso que le da esta empresa del sector privado es una parte para abastecer un porcentaje del consumo mensual de sus instalaciones y la otra parte para uso de la comunidad en la zona aledaña a sus instalaciones      |
| Convenio entre el fondo de energías no convencionales y fenoge | Universidad nacional sede - Medellín | 0,77 MVp (Megavatios pico)  | 11                       | Medellín - Antioquia  | 1923                 | 227                                   | 1709                              | Su uso es para las instalaciones de la universidad del cual se benefician los estudiantes, ya que con este ahorro de energía se creó un programa para generar becas que aprovechan los universitarios de bajos recursos económicos |
| Edificio miguel de Aguinaga (Contraloría)                      | EPM – Erco ingeniería                | 0,188 MVp (Megavatios pico) | 3                        | Medellín - Antioquia  | 40                   | 3,18                                  | 170                               | Su principal uso es para dar suministro a las redes eléctricas de una parte del edificio que es de uso público ya que funciona la contraloría en la mitad de este.                                                                 |

Se puede observar que en la actualidad empresas privadas como públicas en la ciudad de Medellín y sus alrededores ejecutan proyectos de energía solar fotovoltaica, obteniendo alivios económicos debido a los descuentos tributarios que ofrece el gobierno. Una de las empresas líderes en el mercado es Empresas Públicas de Medellín – EPM ya que impulsa diferentes proyectos en toda el área metropolitana con un gran crecimiento en los dos últimos años. Por otra parte, podemos ver que con el auge de estos proyectos se reducen altamente los niveles de emisión de CO<sub>2</sub> causando un gran impacto ambiental favorable en la atmósfera.

En concordancia a lo anterior y con el crecimiento tan elevado con que se vienen ejecutando proyectos de generación de energía a partir de energía solar fotovoltaica a nivel mundial se ve una gran oportunidad para buscar diferentes formas de ejecutar los mismos, viendo en los lineamientos del *PMBOK®*.

#### **4.2 Identificar procedimientos para la evaluación de factibilidad ambiental, económica y social.**

Partiendo del hecho de que los proyectos basados en energía fotovoltaica se consideran amigables con el medio ambiente, aportantes en la mejora de la calidad de vida de personas habitantes de zonas de difícil acceso y de la misma manera son punto de referencia del uso de nuevas tecnologías que dan un vuelco a la economía actual, se hace necesaria la identificación de herramientas o procedimientos que permitan categorizar y describir los impactos sociales, ambientales, económicos y hasta legales que se producen con la ejecución de los mismos.

Se resalta que dichos impactos se mediaran desde las actividades primarias como el uso de materiales o extracción de estos hasta la instalación y puesta en marcha de los sistemas de energía eléctrica basados en energía fotovoltaica; tomando como referentes costos, implicaciones

ambientales, posibles afectaciones y/o beneficios sociales y uso y respeto el marco legal de lo mismos.

Para la evaluación de factibilidad de este tipo de proyectos se realizará un análisis de PESTEL, el cual es un instrumento de planificación estratégica que se utiliza para el análisis e identificación de las fuerzas que, a nivel macroeconómico, pueden influir sobre una empresa y/o proyecto. Este análisis lo que sugiere es identificar las variables externas a la empresa, estudiar a fondo los factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ecológicos y legales que afectan su estrategia (Delgado, s.f.).

#### ***4.2.1 Pasos para crear un análisis PESTEL***

- El primer paso es detectar cuáles son las variables que tienen influencia en el desarrollo de su negocio y clasificarlas teniendo en cuenta los seis factores sugeridos por la metodología: político, económico, social, tecnológico, ecológico y legal. Cada una de estas variables las vamos a definir más adelante con ejemplos y preguntas que pueden ser de utilidad al lector para su mayor comprensión (Delgado, s.f.).
- Una vez recopilados los factores que pueden influir en el negocio, es momento de identificar las oportunidades que estas variables pueden traerle a la empresa (Delgado, s.f.).
- Así como se han identificado las oportunidades, también es importante encontrar las amenazas y todo lo que puede poner en riesgo el éxito de los objetivos del negocio. Identificar las amenazas hace posible prevenir futuros problemas y minimizar su efecto negativo antes de que sea demasiado tarde (Delgado, s.f.).

- Una vez conscientes de las oportunidades que pueden aprovecharse y de las amenazas que pueden traer riesgo para el buen desarrollo empresarial es necesario crear un plan estratégico (Delgado, s.f.).

### **4.3 Procedimientos metodológicos basados en las buenas prácticas para proyectos de generación de energía a partir de energía solar fotovoltaica según el *PMBOK*®.**

Actualmente con el gran auge de los proyectos de generación de energía solar fotovoltaica a nivel mundial, se hace necesario establecer estándares y procedimientos basados en las buenas prácticas *PMBOK*® para llevar a cabo la gestión de cualquier tipo de proyecto de esta índole. Por tal motivo sugerimos esta alternativa para la gestión según cada una de las áreas del conocimiento.

#### **4.3.1 Gestionar la integración del proyecto**

El plan de gestión de la integración se debe desarrollar con la coordinación del gerente de proyectos, quien con su experiencia identificará y coordinará las actividades necesarias que se llevaran a cabo durante el desarrollo del proyecto. También es el responsable de transmitir la información de los interesados, cumplir los entregables establecidos y controlar de inicio a cierre el proyecto.

**4.3.1.1 Desarrollar la carta del proyecto.** En esta se autoriza el proyecto, indicando los requerimientos iniciales, necesidades y expectativas de los involucrados. Permite la designación del gerente y darle autonomía para utilizar los recursos disponibles de la organización. Ver apéndice A, formato de carta del proyecto recomendado para este tipo de proyectos.

**4.3.1.2 Desarrollo del acta de constitución del proyecto.** Para lograr cualquier proyecto de generación de energía eléctrica a partir de energía solar fotovoltaica, la entidad interesada debe hacer una reunión con el gerente de proyectos para dar a conocer su necesidad de negocio. Se debe elaborar un documento que formalice la existencia del proyecto, por tal motivo se sugiere utilizar el formato anexo en el apéndice B para su constitución.

#### ***4.3.2 Validación y control del alcance de la propuesta***

Se realiza la verificación del alcance del proyecto establecido en el numeral 3.2, desde la planificación de este. Cumplió con el alcance propuesto.

#### ***4.3.3 Gestión del cronograma***

Para la ejecución de proyectos de este tipo se recomienda hacer reuniones quincenales de seguimiento al cronograma establecido para realizar revisiones de desempeño y control de indicadores, los cuales se analizarán durante la reunión establecida anteriormente. Una vez revisado el cronograma ejecutado vs el programado se deben tomar acciones correctivas para mitigar los respectivos retrasos si se llegase a presentar. Para determinar el cronograma del proyecto deben realizar las siguientes actividades.

##### **4.3.3.1 Objetivos de la gestión del cronograma.**

- Desarrollar todo el proyecto en el tiempo establecido.
- Determinar la ruta crítica.

**4.3.3.2 Actividades y entregables.** Las actividades y entregables claves para el desarrollo de proyectos de generación de energía eléctrica a partir de energía solar fotovoltaica se distribuyen en las siguientes fases:

- Planificación
- Compra de insumos
- Localización del proyecto
- Instalación eléctrica
- Cierre

**4.3.3.3 Secuenciar y duración de las actividades.** Se debe comenzar a secuenciar todas las actividades del proyecto según la relación que tenga cada una de ella por tal motivo debe tener predecesores y sucesores, para realizar esto se recomienda utilizar la aplicación de Microsoft Project. Para determinar la duración de cada una de las actividades, se debe el periodo de trabajo necesario en relación de los recursos y personal designado para la realización de estas.

**4.3.3.4 Cronograma del proyecto.** Una vez realizado todos los procedimientos anteriores se establece el cronograma del proyecto (Ver figura 8, capítulo 3.3) con cada una de sus actividades, tiempos y encargados de ejecutarlo para su seguimiento y control de este.

#### **4.3.4 Plan para la gestión de costos**

Para determinar el presupuesto de los proyectos, se deben sumar todos los costos establecidos en cada uno de los componentes de trabajo. El desempeño de los costos se medirá de acuerdo con el presupuesto autorizado. Por otra parte, se recomienda utilizar herramientas de valor



ganado, ya que es de vital importancia para mitigar sobre costos dentro de las actividades ejecutadas para poder así controlar desviaciones que se presentan en cada una de estas.

Se recomienda utilizar el formato establecido. Ver apéndice C, para proyectos de generación de energía eléctrica a partir de energía solar fotovoltaica.

#### ***4.3.5 Gestión de la calidad de los proyectos***

Todo proyecto de esta índole debe implementar un plan de calidad para llevar a cabo su respectivo control y así poder alcanzar los resultados esperados por la empresa que ejecuta el proyecto.

##### **4.3.5.1 Objetivos de la calidad.**

- Establecer un plan de calidad al cual se le realizará auditoría.
- Lograr que las partes involucradas aplique en plan de calidad.
- Documentar como se realizará la verificación de los requisitos establecidos.

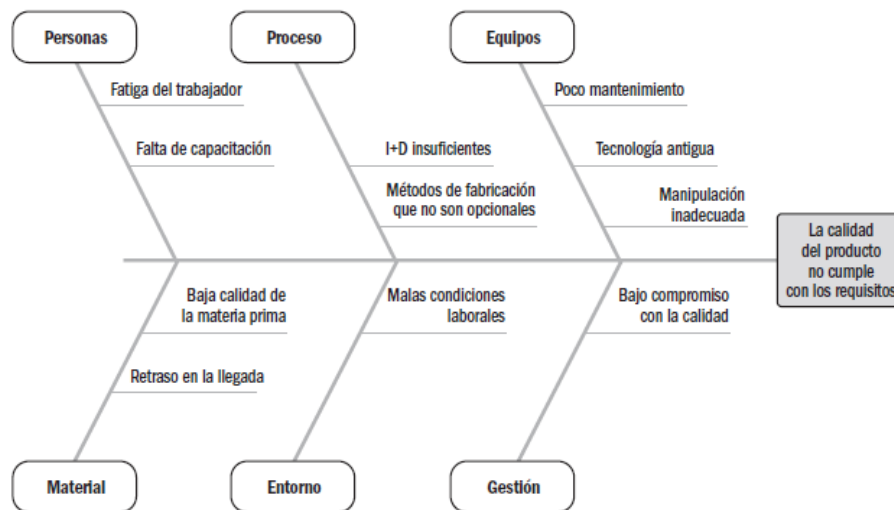
**4.3.5.2 Gestionar la calidad.** Se debe aplicar el plan de calidad establecido por la organización para determinar cuáles actividades no son óptimas, por tal motivo es de suma importancia el aseguramiento de estas ya que todas las labores realizadas deben estar acorde con el plan antes mencionado.

Según la guía del *PMBOK®* hay establecidas diferentes herramientas para su implementación por lo que se sugiere ejecutar las siguientes:

**4.3.5.2.1 Análisis de procesos.** El análisis de procesos identifica oportunidades para mejoras en los procesos. Este análisis también examina los problemas, restricciones y actividades que no son de valor añadido que se producen durante un proceso (Project Management Institute, 2017).

**4.3.5.2.2 Diagrama causa – efecto.** Identifica las posibles causas que generan entre integrantes de un área que ejecutan una actividad específica para buscar sus respectivas soluciones.

**Figura 13.** Diagrama causa - efecto



Tomado de Project Management Institute (2017).

**4.3.5.3 Control de la calidad.** Según lo establecen las buenas prácticas del PMBOK®, existen diferentes herramientas para el respectivo control y monitoreo que se pueden aplicar en proyectos de generación de energía eléctrica a partir de energía solar fotovoltaica, por lo cual se sugiere lo siguiente:

**4.3.5.3.1 Listas y hoja de verificación.** Cada vez que se inicie un proyecto se debe crear esta lista para verificar los diferentes estándares de calidad en cada uno de su componente, en esta lista se debe incluir una hoja de verificación que lleve el seguimiento de las verificaciones en campo diariamente.

**4.3.5.3.2 Diagramas de control.** Los diagramas de control se utilizan para determinar si un proceso es estable o tiene un comportamiento predecible. Los límites de las especificaciones superior e inferior se basan en los requisitos, y reflejan los valores máximos y mínimos permitidos. Los límites de control superior e inferior son diferentes de los límites de las especificaciones. Los límites de control se determinan mediante la utilización de cálculos y principios estadísticos estándar para establecer la capacidad natural de obtener un proceso estable. El director del proyecto, junto con los interesados adecuados, puede utilizar los límites de control calculados estadísticamente para identificar los puntos en que se aplicaran medidas correctivas para prevenir un desempeño que quede por fuera de los límites de control. (Project Management Institute, 2017).

#### **4.3.6 Plan para la gestión de los recursos**

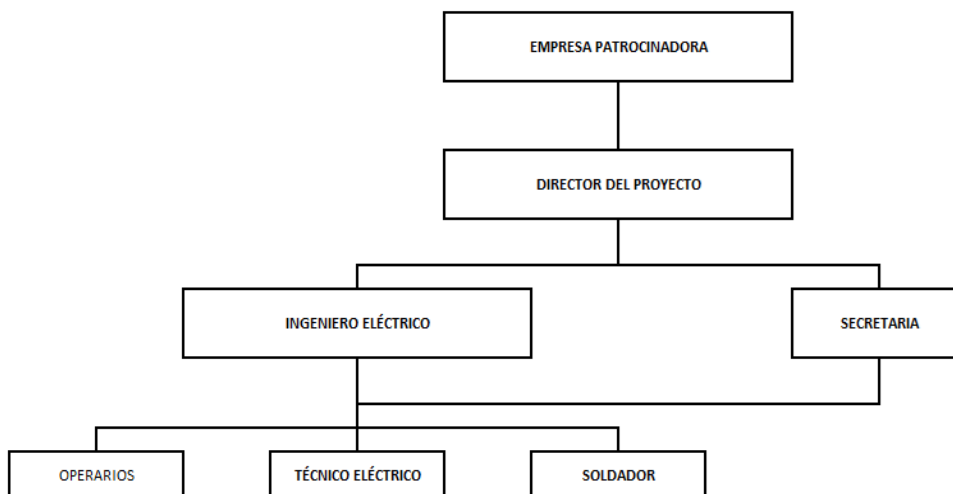
En base a todas las actividades necesarias para la ejecución de los proyectos, se hace necesario gestionar los recursos humanos necesarios para la elaboración de estos.

**4.3.6.1 Definición de roles y responsabilidades.** Para el desarrollo de proyectos de generación de energía a partir de energía solar fotovoltaica se establecen los siguientes roles y responsabilidades dentro del equipo de trabajo.

- Empresa patrocinadora: Es la empresa encargada de la liquidez económica del proyecto, tiene como objetivo realizar el control de informes y dinero invertido.
- Ingeniero eléctrico: Designado por el director del proyecto, es el encargado de que todo se haga como lo establecen las especificaciones técnicas.
- Director del proyecto: Es responsable de dirigir todo el equipo que conforma el proyecto, así mismo como sus estándares de tiempo, calidad, costos entre otros.
- SST: Persona encargada de supervisar la seguridad y salud en el trabajo.
- Soldador: Encargado de la instalación de los soportes donde se instalan los paneles solares.
- Operarios: Tiene como función colaborar las funciones básicas de montaje que involucren esfuerzo físico.

#### 4.3.6.2 Organigrama.

**Figura 14.** Organigrama por utilizar



#### 4.3.7 Gestión de las comunicaciones

Para toda empresa es indispensable la comunicación de tal forma que su equipo de trabajo pueda desarrollar este hábito para transmitir información relacionada del proyecto con sus superiores. Las reuniones quedarán establecidas como se muestra en la tabla 15.

**Tabla 15.** *Tipo de reuniones*

| <b>Tipo de reunión</b> | <b>Objetivo</b>                                  |
|------------------------|--------------------------------------------------|
| Interesados            | Se realiza un reporte de iniciación del proyecto |
| Técnicas               | Revisión de los anexos técnicos                  |
| coordinación           | Revisión del cronograma de obra                  |
| Colaborativas          | Solución algún tipo de problema en la ejecución  |
| Formativas             | Capacitación a los colaboradores                 |

Se recomienda aplicar la matriz de gestión de comunicación para proyectos de generación de energía eléctrica a partir de energía solar fotovoltaica como se puede ver en la tabla 16.

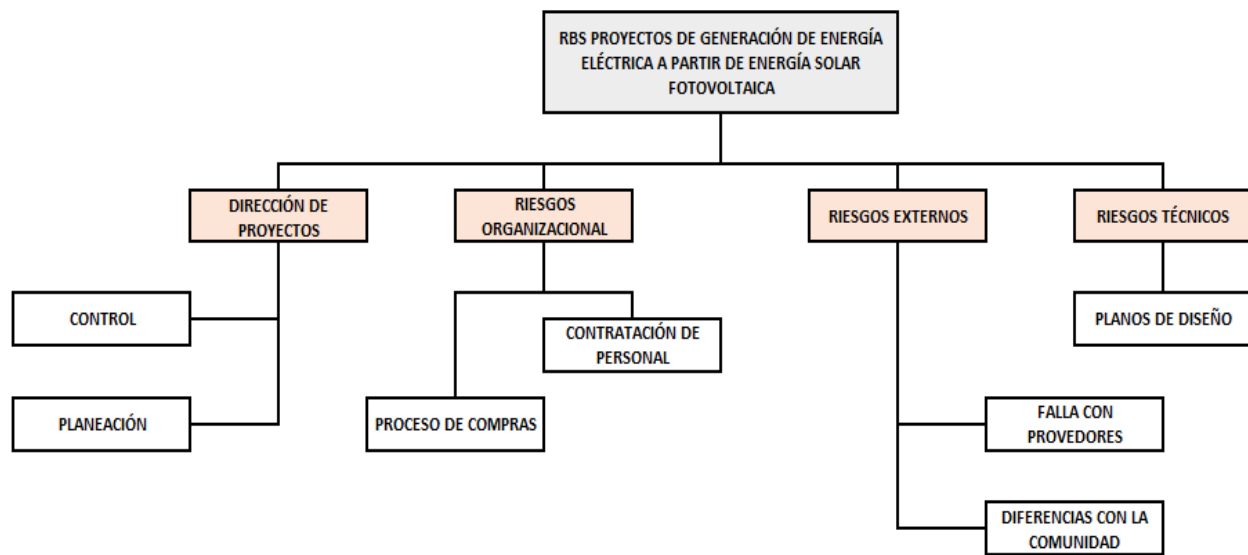
**Tabla 16.** *Matriz de gestión de comunicación*

| <b>Mensaje</b>                 | <b>Interesado</b>                 | <b>Método</b>       | <b>Frecuencia</b>  | <b>EMISOR</b>                    |
|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------|--------------------|----------------------------------|
| Inicio                         | Patrocinador                      | Digital, impresa    | Una vez            | Director                         |
| Plan del proyecto              | Director del proyecto             | Impresa             | Una vez            | Director                         |
| Cronograma                     | Equipo de trabajo                 | Impresa             | Quincenal          | Director                         |
| Informe de avance              | Equipo de dirección, patrocinador | Impresa             | Mensual            | Director                         |
| Solicitud de compra de insumos | Director del proyecto             | Digital, impresa    | Mensual            | Equipo de dirección del proyecto |
| Reportes de accidente          | Director del proyecto             | Digital, telefónica | Cuando se requiera | Equipo de dirección del proyecto |
| Documentos de cierre           | Equipo de dirección del proyecto  | Impresa             | Una vez            | Director                         |

#### 4.3.8 Plan para la gestión de riesgos

Para estructurar el plan de gestión de riesgos de proyectos de generación de energía eléctrica a partir de energía solar fotovoltaica se sugiere aplicar la siguiente estructura de desglose de riesgos RBS, ver Figura 15.

**Figura 15.** Estructura de desglose de riesgos



**4.3.8.1 Análisis cualitativo de riesgos.** Se recomienda ejecutar una valoración de impacto vs probabilidad, primero se asigna una valoración cualitativa, seguido de una evaluación numérica equivalente al impacto y la probabilidad de ocurrencia a cada uno de los riesgos identificados previamente. El resultado del análisis cualitativo de probabilidad e impacto se obtiene mediante la ejecución de la tabla 11, capítulo 3.8 Gestión de los riesgos del proyecto.

**4.3.8.2 Planificación a respuestas y seguimiento y control de riesgos.** El plan que se recomienda para las respuestas a los riesgos negativos en proyectos de generación de energía

eléctrica a partir de energía solar fotovoltaica en base a su ejecución puede generar cambios contractuales por lo que se plantea:

- Transferencia de riesgos: Pasar a empresas aseguradoras.
- Mitigar: Reducir el impacto.
- Evitar: Se plantea cambiar el plan de trabajo.

Para el seguimiento y control se recomienda realizar lo siguiente:

- Realizar la ejecución a respuestas de estos.
- Identificar los riesgos.
- Analizar y planificar riesgos.

Para identificar nuevos riesgos se recomienda realizar comités de obra con el fin de analizar que puede afectar el proyecto y sus posibles soluciones a corto plazo.

#### ***4.3.9 Gestión de las adquisiciones***

Para todo proyecto que se desee ejecutar es necesario contar con un plan de adquisiciones para la compra de lo relacionado con los insumos necesarios para la ejecución de este. Se recomienda ejecutar el formato propuesto. Ver apéndice D, Generalidades del plan de gestión de adquisición.

***4.3.9.1 Identificación y clasificación de proveedores.*** Se recomienda desarrollar una especificación a cada proveedor del proyecto, por tal motivo se plantea realizar el formato de identificación de proveedores planteado (ver apéndice E).

**4.3.9.2 Negociación de las adquisiciones.** Es de suma importancia negociar con el proveedor el menor precio posible dentro de un rango justo, manteniendo los criterios de la calidad que se ajustan a las especificaciones técnicas de la empresa.

**4.3.9.3 Control de las adquisiciones.** Para realizar el control de las adquisiciones del proyecto es de vital importancia realizar revisiones de desempeño y auditoría de estas. Por lo que se sugiere realizar la ponderación de cada uno de los proveedores para determinar su desempeño.

**Tabla 17.** Resumen de actividades para realizar la propuesta.

| Actividad                                  | Propuesta para la gestión de energía eléctrica a partir de energía solar fotovoltaica aplicando los lineamientos del PMBOK. |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Benchmarking                               | Alcance del análisis<br>Empresas participantes<br>Fuentes de información<br>Desarrollo                                      |
| Factibilidad ambiental, económica y social | Análisis PESTEL                                                                                                             |
| <b>Áreas de conocimiento</b>               |                                                                                                                             |
| Integración                                | Acta de constitución del proyecto                                                                                           |
| Validación y control del alcance           | Matriz de requisitos<br>Estructura de desglose de trabajo                                                                   |
| Cronograma                                 | Objetivos del cronograma<br>Actividades y entregables<br>Secuenciar actividades<br>Cronograma                               |
| Costos                                     | Formato de presupuesto de proyectos de generación de energía solar                                                          |
| Calidad                                    | Objetivos de la calidad<br>Gestionar la calidad<br>Análisis de la calidad<br>Diagrama causa-efecto<br>Control de la calidad |
| Recursos                                   | Estructura de desglose de recursos<br>Definición de roles y responsabilidades<br>Organigrama                                |
| Comunicaciones                             | Tabla tipo de reuniones<br>Matriz de gestión de comunicaciones                                                              |



| Actividad     | Propuesta para la gestión de energía eléctrica a partir de energía solar fotovoltaica aplicando los lineamientos del PMBOK. |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Riesgos       | Estructura de desglose de riesgos<br>Análisis cualitativo de riesgos<br>Planificación y control de riesgos                  |
| Adquisiciones | Identificación y clasificación de proveedores<br>Negociación de las adquisiciones<br>Control de adquisiciones               |

## 5. Discusión

En este capítulo se procede interpretar los resultados que tuvo el desarrollo del trabajo final de maestría, como fue elaborada su gestión desde la planeación para su posterior validación por medio de los objetivos que se relacionan a continuación.

En el desarrollo de una propuesta para proyectos de generación de energía eléctrica a partir de energía solar fotovoltaica en la ciudad de Medellín, Colombia, bajo los lineamientos del *PMBOK®*, e puede observar que, si una empresa utiliza la propuesta según los estándares de las diferentes áreas del conocimiento, poder optimizar sus resultados tanto en recursos, tiempos de ejecución, calidad entre otros factores. Analizando los diferentes proyectos en la ciudad de Medellín y su área metropolitana, se evidencia que no hay ninguna metodología estándar para la ejecución de estos, por tal motivo la propuesta puede llegar a ser de gran interés tanto para las empresas líderes en el mercado, como para pequeñas empresas que tienen proyección de ejecutar a corto plazo.

El desarrollo de este proyecto final de maestría nos permitió una mejor implementación de los conocimientos sobre la gestión de proyectos basándonos en las buenas prácticas del *PMBOK®*, ejecutando sus diferentes áreas del conocimiento y sus respectivos grupos de procesos para la dirección de estos, por lo que es recomendable para proyectos con grado de madurez pequeño e ir avanzando paso a paso según cada uno de los estándares establecidos.

Se recomienda a las empresas la contratación del personal idóneo, que tengan claro el desarrollo de las buenas prácticas de la guía de los fundamentos para la dirección de proyectos, la cual establece el desarrollo paso a paso desde su planeación hasta el cierre final del proyecto que se esté ejecutando, de ser así se proyecta un buen resultado final optimizando los menores recursos posibles.

## **6. Conclusiones**

Basados en el punto de investigación, y teniendo en cuenta los objetivos planteados en la formulación de este proyecto; se realizó una propuesta metodológica partiendo de los lineamientos del *PMBOK®*, analizando las áreas de conocimiento que serían factibles aplicar a los proyectos de energía fotovoltaica en la ciudad de Medellín, Colombia, teniendo en cuenta tanto el contexto sociocultural, accesibilidad, ubicación geográfica y costos de estos.

Se lograron establecer los puntos clave a implementar proyectos de generación de energía eléctrica a partir de energía solar fotovoltaica aplicando las buenas prácticas del *PMBOK®*, resaltando la planificación como eje central de los mismos.

Realizado el análisis comparativo (*Benchmarking*) de diferentes proyectos de energía solar fotovoltaica en la Ciudad de Medellín, Colombia, se puede observar el gran crecimiento que tiene este tipo de energías limpias, tanto en el ámbito local como internacional, lo cual hace necesario establecer procedimientos para una buena adecuada ejecución de estos proyectos optimizando los recursos y tiempos de ejecución.

Se lograron establecer estándares de factibilidad económica y socioambiental previos a la ejecución de proyectos de generación de energía solar fotovoltaica, ya que estos tres componentes

son el eje central para una posterior ejecución de cualquier tipo de proyecto que tenga beneficio para la comunidad y propio de la empresa que lo ejecuta.

Actualmente los lineamientos de la guía de los fundamentos para la dirección de proyectos *PMBOK®*, es una excelente opción para llevar a cabo cualquier tipo de proyecto desde su planificación, ejecución, control y cierre, es por tal motivo que estas buenas prácticas se usan para el desarrollo de diferentes proyectos de generación de energía eléctrica a partir de energía solar fotovoltaica en Colombia.

### Referencias

- Andes, C. d. (2020). *Información sobre Geotermia*. CEGA-UCHILE.CL. <http://www.cega-uchile.cl/>: <http://www.cega-uchile.cl/#informacion-sobre-geotermia>
- Arango, F. (s.f.). *la energía renovable en Medellín*. <https://www.gomezpinzon.com>.
- Berrío, L. H., y Zuluaga, C. (2014). *Smart Grid y la energía solar fotovoltaica para la generación distribuida: una revisión en el contexto energético mundial*. Barranquilla: Ingeniería y Desarrollo.
- Bolinaga, J. J. (1999). *Proyectos de Ingeniería Hidráulica*. Caracas: Fundación Polar.
- Celsia. (2018, 31 de mayo). *Energía solar en Colombia: así es el panorama en cifras*. <https://blog.celsia.com/new/energia-solar-en-colombia-panorama-en-cifras/>
- Cisterna Arellano, L. A. (2020). *Proyectos Fotovoltaicos en Generación Distribuida ¿Rentabilidad Privada o Sustentabilidad Ambiental?*
- Delgado, L. (s.f.). *Análisis PESTEL, qué es, cuándo y cómo hacerlo*. Gestión pensemos. <https://gestion.pensemos.com/analisis-pestel-que-es-cuando-como-ejecutarlo>
- Díaz, J. F. (2018). *Desarrollo de un Sistema de Iluminación Solar para el ahorro de energía eléctrica en el alumbrado público de México*. Tarragona y Puebla. Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla.
- Endesa, F. (2019). *Centrales de biomasa y sus tipos*. Fundación ENDESA. <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/centrales-renovables/central-de-biomasa>
- Eraso Checa, F., y Erazo de la Cruz, O. (2015). *Potencial Natural para el Desarrollo Fotovoltaico en Colombia*.

- Espinoza, A. G. (2021). *Estudio de alternativas para alumbrado con luminarias LED y sistemas de alimentación eléctrica fotovoltaica en áreas exteriores*. Caracas: Universidad Católica Andrés Bello.
- Fayol, H. (1916). *Teoría Clásica de la Administración*. París.
- Galeano, M. (s.f.). *Energía solar en Medellín: la energía del presente y del futuro*. Ziklosolar. <https://www.ziklosolar.com/blog-post/energia-solar-en-medellin-la-energia-del-presente-y-del-futuro>
- Garzón, J. S., y Gallego, R. G. (2013). *Proyecto para la implementación de un sistema de generación solar fotovoltaica para la población Wayuu en Nazareth Corregimiento del Municipio de Uribe*. Guajira. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.
- Gomez Tapias, J., Sandoval, C. L., y Coronel Sánchez, J. J. (2018). *Análisis de prospectiva del sector energético de Colombia, para la integración de fuentes fotovoltaica en los sistemas de distribución de energía eléctrica aplicando una revisión en bases de datos científicas*. Bucaramanga.
- Gómez, M. C. y Rendón, J. J. (Diciembre de 2020). Análisis de los incentivos económicos en la capacidad instalada de energía solar fotovoltaica en Colombia. *Revistas UDEA*. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/lecturasdeeconomia/article/view/338727>
- Gómez-Ramírez, J., Murcia-Murcia, J. D. y Cabeza-Rojas, I. (2017). *La energía solar fotovoltaica en Colombia: potenciales, antecedentes y perspectivas*. Bogotá.
- Greentech. (15 de Agosto de 2020). *Energía geotérmica y geotermia*. Greentech. <https://www.greentech.es/energia-geotermica/>

- Hernández Rueda, N. E. y Ramírez Contreras, A. X. (2015). *Estudio Sobre la Sustitución por Energías Renovables (Solar Fotovoltaica) en las Instituciones Educativas de Básica Primaria y Secundaria en Colombia: Análisis y Posibilidades*. Bucaramanga.
- IDEAM. (s.f.). *Promedios Mensuales de Irradiancia Global Media Recibida en Superficie para las Principales Ciudades del País*. Atlas IDEAM. <http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Anexo-Promedios-mensuales-de-Irradiacion-Global-Media.pdf>
- Industria, A. (13 de Septiembre de 2019). *Conoce las ventajas y desventajas de la energía eólica*. ANTALA. <https://www.antala.es/ventajas-y-desventajas-energia-eolica/#:~:text=sus%20principales%20beneficios%3A-,1>
- Informa. (s.f.). *Directorio de empresas de Colombia*. Informa Colombia. <https://directorio-empresas.einforma.co/departamento/antioquia/>
- Leones, V. W. (2020). Estudio Tecnológico, Viabilidad Energética y Económico para la Generación Eléctrica Sostenible a través de la Energía Solar, con Aporte al Medio Ambiente. *Revista Técnica "energía"*.
- López, A. R., Krumm, A., Schattenhofer, L., Burandt, T., Montoya, F. C., Oberlander, N., y Oei, P.-Y. (Abril de 2020). Sciencih<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148119315575?via%3Dihub>
- Martínez, E. T. (2019). *Estructuras-Bloque IV: La Estructura en la Cadena de Valor del Proyecto Fotovoltaico*. España: Universidad de Alicante.
- Mercado, A. (9 de Septiembre de 2021). *Los beneficios que trae la energía solar a las empresas de Antioquia*. El Tiempo. [www.eltiempo.com](http://www.eltiempo.com):

<https://www.eltiempo.com/colombia/medellin/empresas-de-antioquia-le-apuestan-a-la-energia-solar-617028>

Meza, J., Escobar Mejia, A., y Hincapie Isaza, R. (2019). *Descripción y Análisis del Efecto Fotovoltaico en la Región*.

Muñoz, D. E. (22 de 04 de 2016). *El Universal*. El Universal Queretaro:  
<https://www.eluniversalqueretaro.mx/content/la-energia-no-se-crea-ni-se-destruye-solo-se-transforma>

Murillo Duque, J. J. (2021). *Guía metodológica para gestión de proyectos aplicando el PMBOK : caso proyecto de energías renovables en la I.U. Pascual Bravo*. Medellín.

Planas, O. (20 de Abril de 2017). *Energía solar activa*. Solar-energía. <https://solar-energia.net/>:  
<https://solar-energia.net/que-es-energia-solar/energia-solar-activa>

Planas, O. (30 de Octubre de 2020). *Energía solar térmica*. Solar-energía. <https://solar-energia.net/>:  
<https://solar-energia.net/energia-solar-termica>

Planas, O. (18 de Enero de 2021). *Energía Solar*. Solar-energía. <https://solar-energia.net/>:  
<https://solar-energia.net>

Planas, O. (30 de Junio de 2021). *Energía Solar Fotovoltaica*. Solar-energía. <https://solar-energia.net/>:  
<https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica>

Planas, O. (9 de Junio de 2022). *Efecto Fotovoltaico*. Solar-energía. <https://solar-energia.net/>:  
<https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/efecto-fotovoltaico>

Power, E. G. (18 de Enero de 2021). *La energía hidroeléctrica*. Enelgreenpower.  
<https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-hidroelectrica>

Project Management Institute. (2017). *La guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. Newtown Square, Pennsylvania, EE.UU: PMI.

REN21. (2016). Steering Committee, Renewables 2016 global status report. *Revista Semana*. (2020).

Rodríguez Murcia, H. (2008). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. *Revista de Ingeniería*, 83-89.

Salesforce. (20 de 8 de 2021). *Benchmarking ¿qué es? y ¿cómo aplicarlo?*  
[https://www.salesforce.com/mx/blog/2021/08/que-es-benchmarking-y-como-aplicarlo.html#:~:text=El%20benchmarking%20\(en%20espa%C3%B1ol%20punto,a traer%20al%20p%C3%ABlico%20y%20reconquistarlo.](https://www.salesforce.com/mx/blog/2021/08/que-es-benchmarking-y-como-aplicarlo.html#:~:text=El%20benchmarking%20(en%20espa%C3%B1ol%20punto,a traer%20al%20p%C3%ABlico%20y%20reconquistarlo.)

*Significados.* (2022). *Energía solar.* <https://www.significados.com/energia-solar/>

SolarPlak. (2020). *Qué es el efecto fotovoltaico y cómo se consigue.* <https://solarplak.es/energia/que-es-el-efecto-fotovoltaico-y-como-se-consigue/>

Torres Arrubla, P., Floréz Velilla, M., & Escobar, S. (2021). Estudio de factibilidad para la creación de una empresa dedicada a la instalación de paneles solares fotovoltaicos a nivel residencial para estratos socioeconómicos 4, 5 y 6 en la ciudad de Medellín, Colombia.

Twenergy. (20 de Noviembre de 2019). *¿Qué es la energía undimotriz?*  
<https://twenergy.com/energia/energia-hidraulica/energia-undimotriz/>

UPME, IDEAM and MME. (2005). *Atlas de Radiación Solar en Colombia*. Bogotá: 13-22.

Yuste, P. S. (12 de Mayo de 2015). *Energía solar y sus beneficios ¿Qué es el efecto fotovoltaico?*  
 Certificados energéticos. [https://www.certificadosenergeticos.com/energia-127 solar-beneficios-que-efecto-](https://www.certificadosenergeticos.com/energia-127-solar-beneficios-que-efecto-)



fotovoltaico#:~:text=La%20transformaci%C3%B3n%20de%20energ%C3%ADa%20solar,a%20trav%C3%A9s%20de%20un%20medio.&text=Un%20conductor%20externo%2C%20permite%20el,produciendo%20as%

## Apéndices

### Apéndice A. Carta del proyecto

|                             |  |           |  |           |
|-----------------------------|--|-----------|--|-----------|
| <b>CARTA DEL PROYECTO</b>   |  |           |  |           |
| <b>NOMBRE DEL PROYECTO:</b> |  |           |  |           |
| <b>REALIZADO POR:</b>       |  |           |  |           |
| <b>FECHA DE INICIO:</b>     |  |           |  |           |
| <b>DESCRIPCIÓN</b>          |  |           |  |           |
|                             |  |           |  |           |
| <b>NECESIDAD DE NEGOCIO</b> |  |           |  |           |
|                             |  |           |  |           |
| <b>ENTREGABLES</b>          |  |           |  |           |
|                             |  |           |  |           |
| <b>RECURSOS</b>             |  |           |  |           |
|                             |  |           |  |           |
| <b>COMUNICACIÓN</b>         |  |           |  |           |
|                             |  |           |  |           |
| <b>ACEPTACIÓN</b>           |  | <b>SI</b> |  | <b>NO</b> |
| <b>FIRMA DE APROBACIÓN</b>  |  |           |  |           |
|                             |  |           |  |           |

**Apéndice B. Acta de constitución del proyecto**

|                                                                                    |  |              |                    |  |  |
|------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------|--------------------|--|--|
| <b>ACTA DE CONSTITUCIÓN DEL PROYECTO</b>                                           |  |              |                    |  |  |
| <b>CÓDIGO</b>                                                                      |  |              |                    |  |  |
| <b>PROYECTO</b>                                                                    |  |              |                    |  |  |
| <b>PREPARADO POR:</b>                                                              |  | <b>FECHA</b> |                    |  |  |
| <b>REVISADO POR:</b>                                                               |  | <b>FECHA</b> |                    |  |  |
| <b>APROBADO POR:</b>                                                               |  | <b>FECHA</b> |                    |  |  |
|                                                                                    |  |              |                    |  |  |
| <b>DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO O SERVICIO DEL PROYECTO</b>                            |  |              |                    |  |  |
|                                                                                    |  |              |                    |  |  |
| <b>OBJETIVOS DEL PROYECTO</b>                                                      |  |              |                    |  |  |
| <b>FASES DEL PROYECTO</b>                                                          |  |              | <b>ENTREGABLES</b> |  |  |
|                                                                                    |  |              |                    |  |  |
| <b>BENEFICIARIOS DEL PROYECTO</b>                                                  |  |              |                    |  |  |
|                                                                                    |  |              |                    |  |  |
| <b>RECURSOS</b>                                                                    |  |              |                    |  |  |
|                                                                                    |  |              |                    |  |  |
| <b>INTERESADOS</b>                                                                 |  |              |                    |  |  |
|                                                                                    |  |              |                    |  |  |
| <b>PRESUPUESTO DEL PROYECTO</b>                                                    |  |              |                    |  |  |
|                                                                                    |  |              |                    |  |  |
| <b>REQUERIMIENTOS DE APROBACIÓN DEL PROYECTO</b>                                   |  |              |                    |  |  |
| (Quién evalúa resultados, decide el éxito del proyecto y quien cierra el proyecto) |  |              |                    |  |  |
|                                                                                    |  |              |                    |  |  |

Firma de aprobación del patrocinador

\_\_\_\_\_

Firma del gerente de proyecto

\_\_\_\_\_

**Apéndice C. Presupuesto de proyectos de generación de energía solar**

| Descripción            | Unidad | Cantidad | Valor unitario \$ | Valor total \$ |
|------------------------|--------|----------|-------------------|----------------|
| <b>Personal</b>        |        |          |                   |                |
| Ingeniero eléctrico    |        |          |                   |                |
| SST                    |        |          |                   |                |
| Director               |        |          |                   |                |
| Secretaria             |        |          |                   |                |
| Soldador               |        |          |                   |                |
| Conductor              |        |          |                   |                |
| Operarios              |        |          |                   |                |
| <b>Equipos</b>         |        |          |                   |                |
| Camioneta (Transporte) | UND    |          |                   |                |
| Inversores             | UND    |          |                   |                |
| Baterías               | UND    |          |                   |                |
| Cableado               | MTS    |          |                   |                |
| Bases de paneles       | UND    |          |                   |                |
| Conectores de cables   | UND    |          |                   |                |
| Controlador de carga   | UND    |          |                   |                |
| Zapatas                | M3     |          |                   |                |
| <b>Imprevistos</b>     |        |          |                   |                |
| <b>Total</b>           | \$     |          |                   |                |

**Apéndice D. Generalidades de las adquisiciones**

| HITO              | FASES DEL PROYECTO   | DESCRIPCIÓN DE FASE DEL PROYECTO | REQUERIMIENTO DE INSUMOS | PROVEDOR |
|-------------------|----------------------|----------------------------------|--------------------------|----------|
| COMPRA DE EQUIPOS | PANEL SOLAR          |                                  |                          |          |
|                   | CONTROLADOR DE CARGA |                                  |                          |          |
|                   | INVERSOR             |                                  |                          |          |
|                   | BATERIAS             |                                  |                          |          |

