



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE UNA IPS
POR MEDIO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA**

James Sebastián Pedraza Moreno

Diana Cristina Botero Alvarez

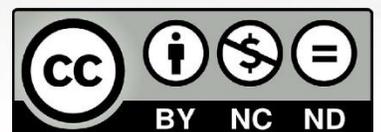
Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Industrial

Medellín, Colombia

2020



Optimización del sistema de iluminación de una IPS por medio de una instalación solar
fotovoltaica

James Sebastián Pedraza Moreno

Diana Cristina Botero Alvarez

Monografía presentada como requisito parcial para optar al título de:
Especialista en Preparación y Evaluación de Proyectos Privados

Asesor:

Guillermo Restrepo Gonzalez
Ingeniero Industrial y Economista

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Industrial
Medellín, Colombia
2020

AGRADECIMIENTOS

La presente monografía es el resultado de los esfuerzos realizados en cada una de las materias vistas en la Especialización, por eso agradecemos en primera instancia a la Universidad por seleccionar docentes de calidad, a quienes también ofrecemos nuestro agradecimiento ya que con su apoyo y acompañamiento a lo largo de este proceso es posible entregar hoy un trabajo de calidad. Resaltamos acá el seguimiento y recomendaciones de nuestro asesor, quien siempre estuvo dispuesto a resolver nuestras dudas y a guiarnos en este mundo de los proyectos.

Por último, y como es de esperar, agradecemos a nuestras familias por el apoyo prestado en casa, ya que fue este el principal espacio donde, por condiciones especiales, tuvimos que desarrollar la mayor parte de la Especialización.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS.....	6
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE ANEXOS	8
RESUMEN.....	9
1. INTRODUCCIÓN	11
2. OBJETIVOS	12
2.1. Objetivo general.....	12
2.2. Objetivos específicos.....	12
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
3.1. Definición del problema	13
3.2. Justificación	13
4. MARCO TEÓRICO.....	15
4.1. Estudio del entorno.....	15
4.1.1. Entorno general.....	15
4.1.2. Entorno específico.....	16
4.2. Estudio de mercado	22
4.3. Estudio técnico	23
4.3.1. Componentes de un sistema de energía fotovoltaica	25
4.3.1.1. El panel solar.....	25
4.3.1.2. Las baterías.....	28
4.3.1.3. El regulador de carga.....	30
4.3.1.4. Los convertidores	31
4.3.1.5. Inversores autoconmutados	32
4.3.1.6. Caja de conexión del generador	33
4.3.2. Iluminación LED.....	35
4.3.2.1. Componentes electrónicos de las luminarias LED.....	35
4.3.3. Plan de calidad	36
4.4. Estudio legal	37
4.4.1. Incentivos tributarios	38
4.4.2. Deducción especial del impuesto sobre la renta.....	40

4.4.2.1.	Depreciación acelerada	42
4.4.2.2.	Exclusión de IVA	43
4.4.2.3.	Exclusión de gravamen arancelario.....	44
4.4.3.	Aplicación de los incentivos en el proyecto	45
4.5.	ESTUDIO AMBIENTAL	46
4.5.1.	Fabricación de los paneles solares	48
4.5.2.	Disposición final de los paneles solares	50
4.5.3.	Alternativas de mejoramiento	51
4.5.4.	Cuantificación.....	52
4.6.	Evaluación financiera	55
4.6.1.	Definiciones.....	56
4.6.1.1.	Tasa Interna de Retorno (TIR)	56
4.6.1.2.	Tasa Interna de Retorno Modificada (TIRM)	56
4.6.1.3.	Valor Presente Neto (VPN).....	57
4.6.1.4.	Relación Beneficio – Costo.....	58
4.6.1.5.	Costo medio ponderado de capital WACC	59
4.7.	Estudio de riesgos	60
4.7.1.	Análisis cualitativo.....	60
4.7.2.	Análisis cuantitativo.....	60
5.	METODOLOGÍA	61
5.1.	Recursos y materiales.....	61
5.2.	Diseño y dimensionamiento de la instalación.....	62
5.2.1.	Localización	62
5.2.2.	Dimensionamiento de la instalación.....	63
5.2.3.	Demanda de energía eléctrica en la IPS	64
5.2.4.	Selección y dimensionamiento del panel solar.....	64
5.3.	Organigrama y horizonte de planificación	68
5.4.	Evaluación financiera del proyecto	70
5.4.1.	Supuestos y datos de entrada.....	71
5.4.2.	Análisis incremental (“con” y “sin” proyecto).....	73
5.4.3.	Flujo de caja libre, del inversionista y estado de resultados.....	75
5.4.4.	Indicadores financieros	77
5.5.	Impacto ambiental del proyecto.....	79

5.6.	Identificación y análisis de riesgos del proyecto.....	80
5.6.1.	Análisis cualitativo.....	81
5.6.2.	Análisis cuantitativo	83
5.6.3.	Respuesta a los riesgos.....	85
5.7.	Programación	87
5.7.1.	Estructura Desglosada de Trabajo (EDT).....	87
5.7.2.	Cronograma.....	87
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	90
6.1.	Conclusiones.....	90
6.2.	Recomendaciones	91
7.	Bibliografía	92

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Beneficios tributarios de la Ley 1715.....	38
Tabla 2.	Marco normativo y autoridades competentes	40
Tabla 3.	Resumen del impacto ambiental generado por la tecnología solar	47
Tabla 4.	Recursos y materiales requeridos para el proyecto.....	62
Tabla 6.	Principales datos de entrada para la evaluación financiera del proyecto	72
Tabla 7.	Costos principales instalación solar, modelo PPA y luminarias LED.....	72
Tabla 8.	Evaluación del modelo PPA y la instalación directa por parte de la compañía a través del procedimiento de la inversión extra.	73
Tabla 9.	Ventajas y desventajas del modelo PPA y la instalación propia de la compañía. 75	
Tabla 10.	Flujos de caja detallados del proyecto	76
Tabla 11.	Principales indicadores financieros del proyecto	77
Tabla 12.	Punto de equilibrio del proyecto	78
Tabla 13.	Factores para el cálculo del impacto ambiental.....	79
Tabla 14.	Indicadores ambientales del proyecto.....	80
Tabla 15.	Identificación de riesgos del proyecto	81
Tabla 16.	Definiciones para probabilidad e impacto	82
Tabla 17.	Definición matriz probabilidad impacto para el proyecto	82
Tabla 18.	Matriz probabilidad impacto del proyecto.....	82
Tabla 19.	Plan de respuesta al riesgo	86
Tabla 5.	Cronograma del proyecto	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de las fuentes de energía en el mundo. Fuente: https://www.vox.com/energy-and-environment/2019/6/18/18681591/renewable-energy-china-solar-pv-jobs	17
Figura 2. Costos de producción por tipo de energía a nivel global. Fuente: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/EN2018_Fraunhofer-ISE_LCOE_Renewable_Energy_Technologies.pdf	17
Figura 3. Matriz de generación de energía en Colombia. (BANCOLOMBIA, 2019)	18
Figura 4. Distribución por potencia nominal de proyectos registrados ante la UPME en 2019. Fuente: (BANCOLOMBIA, 2019).....	20
Figura 5. Registro de proyectos de FNCE ante la UPME a mayo de 2019. Fuente: UPME 2019	20
Figura 6. Número de proyectos discriminados por capacidad instalada. Fuente: Registro de proyectos de FNCE ante la UPME a mayo de 2019	21
Figura 7. Número de proyectos según tipo de Usuario.....	21
Figura 8. Costos de kW/h según el tipo de generación. Fuente: UPME 2019	22
Figura 9. Proceso del sistema On Grid usado en el proyecto.	24
Figura 10. Célula, panel (asociación de células) y generador (asociación de paneles) solar fotovoltaico.	25
Figura 11. Circuito equivalente ampliado de una célula solar (modelo de un diodo de una célula solar).....	26
Figura 12. Curvas características de 3 células conectadas en serie	27
Figura 13. Curvas características de 3 células conectadas en paralelo	27
Figura 14. Baterías de plomo usadas en una instalación fotovoltaica.....	28
Figura 15. Representación gráfica del funcionamiento de una batería de plomo (Vallina, 2018).....	29
Figura 16. Tipos de conexión del regulador de carga	31
Figura 17. Esquemático de un convertidor DC/DC	32
Figura 18. Caja de conexión del generador.....	33
Figura 19. Configuración de conducción típica de varias lámparas LED	36
Figura 23. Aplicación de los incentivos tributarios. Fuente: Elaboración propia	46
Figura 24. Proceso de fabricación de un panel solar. Fuente: https://www.electricidad-gratuita.com/fabricacion-de-paneles-solares/	48
Figura 25. Huella de carbono en gramos de CO ₂ por kWh debida a la producción de paneles solares en China versus países europeos. Fuente: https://ecosiglos.com/la-energia-solar-no-es-tan-verde-como-crees/	50
Figura 26. Desempeño ambiental de fabricantes de tecnología solar.	53
Figura 20. Cantidad y tipo de luminarias requeridas para el proyecto.....	68
Figura 21. Organigrama del proyecto.	69
Figura 22. Horizonte de planificación del proyecto	70

Figura 27. Flujo de caja para las alternativas de PPA y de instalación directa por la compañía	74
Figura 28. Flujos de caja del proyecto y el inversionista	77
Figura 29. Resultados del análisis tornado	84
Figura 30. Resultados análisis telaraña	85
Figura 31. EDT del proyecto	87

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Evaluación Financiera (archivo en Excel)

Anexo 2. Cronograma del proyecto (archivo de MS Project)

RESUMEN

El presente trabajo muestra el estudio de prefactibilidad para realizar la optimización del sistema de iluminación de una IPS ubicada en la ciudad de Medellín a través de la instalación de un sistema solar fotovoltaico y por medio de la renovación de luminarias a tecnología LED. El proyecto nace por la necesidad que tienen hoy las empresas de ser más competitivas a nivel ambiental y ecológico, sumado a que los costos por consumo de energía representan actualmente uno de los mayores rubros de operación por parte de las mismas.

La metodología utilizada es propia de la evaluación de proyectos de inversión, realizando diferentes estudios a nivel del entorno, de lo técnico, lo legal, lo financiero, lo ambiental y los riesgos del proyecto. En el estudio técnico se diseñó y se dimensionó la instalación solar requerida, así como la cantidad y tipo de luminarias LED necesarias para su renovación. Se realizó un estudio ambiental que tuvo en cuenta la huella de carbono durante la fabricación y disposición final de los paneles solares, así como los ahorros equivalentes en emisión de CO₂. La evaluación financiera se realizó por medio del procedimiento de la inversión extra para elegir entre un modelo de contratación tipo PPA o realizar la instalación a través de recursos propios de la compañía. Se calculó el estado de resultados y el flujo de caja tanto del proyecto como del inversionista, se aplicaron métricas financieras como VPN, PRI y la TIR del proyecto para luego realizar un análisis de sensibilidad para cuantificar los riesgos asociados al proyecto.

Los diferentes estudios demostraron que hay un escenario adecuado para la implementación el proyecto, por un lado, el país estimula la implementación de este tipo de iniciativas a través de beneficios tributarios como los de la Ley 1715 de 2014. Las principales métricas financieras mostraron un VPN positivo de \$207.661.630, un periodo de recuperación de la inversión menor a 5 años y una TIR superior al WACC de la compañía. El estudio ambiental mostró un ahorro en emisión de CO₂ equivalente a 13 toneladas por año. Se encontró también que en general los riesgos del proyecto son bajos y controlables, siendo el costo del kWh producido y los fenómenos climáticos los que más podrían impactar el proyecto.

PALABRAS CLAVE: eficiencia energética, sistema solar fotovoltaico, iluminación LED, proyecto de inversión, estudio de prefactibilidad

ABSTRACT

This work shows the pre-feasibility study to optimize the lighting system of an IPS located in the city of Medellín through the installation of a photovoltaic solar system and through the renovation of LED technology luminaires. The project was born from the need that companies have today to be more competitive at an environmental and ecological level, in addition to the fact that costs for energy consumption currently represent one of the largest operating items for them.

The methodology used is typical of the evaluation of investment projects, carrying out different studies at the level of the environment, the technical, the legal, the financial, the environmental and the risks of the project. In the technical study, the required solar installation was designed and sized, as well as the amount and type of LED luminaires necessary for its renovation. An environmental study was carried out that took into account the carbon footprint during the manufacture and final disposal of the solar panels, as well as the equivalent savings in CO₂ emissions. The financial evaluation was carried out through the extra investment procedure to choose between a PPA-type contracting model or to carry out the installation through the company's own resources. The income statement and cash flow of both the project and the investor were calculated; financial metrics such as VPN, PRI and the TIR of the project were applied to then perform a sensitivity analysis to quantify the risks associated with the project.

The different studies showed that there is an adequate scenario for the implementation of the project, on the one hand, the country encourages the implementation of this type of initiatives through tax benefits such as those of Law 1715 of 2014. The main financial metrics showed a VPN positive of \$ 207,661,630, an investment payback period of less than 5 years and an TIR higher than the company's WACC. The environmental study showed a saving in CO₂ emissions equivalent to 13 tons per year. It was also found that in general the risks of the project are low and controllable, being the cost of the kWh produced and the climatic phenomena the ones that could have the greatest impact on the project.

KEYWORDS: energy efficiency, solar photovoltaic system, LED lighting, investment project, pre-feasibility study.

1. INTRODUCCIÓN

La energía solar fotovoltaica (FV) es actualmente la energía renovable no convencional con mayor potencial en el mundo. En Colombia, gracias a la ley 1715 de 2014 se ofrecen diferentes beneficios tributarios para quienes inviertan en este tipo de proyectos ya que el país se ha trazado la meta de instalar 1.500MW de fuentes renovables no convencionales para finales de 2022, de los cuales la mayoría de proyectos corresponden a energía SFV con un total de 392 proyectos inscritos a 2019 (Plan Energético Nacional – UPME 2020).

Este proyecto tiene como finalidad realizar el estudio a nivel de prefactibilidad para la instalación de un sistema solar fotovoltaico con apoyo de luminarias LED con el fin de optimizar la iluminación de una IPS ubicada en Medellín, para esto, se llevará a cabo un método propio de evaluación de proyectos de inversión que incluye estudios a nivel del entorno, técnico, de mercado, legal, ambiental, financiero y de riesgos asociados al proyecto. El principal enfoque se realiza a nivel de la evaluación financiera usando para esto el procedimiento de la inversión extra que ayudará a elegir entre 2 alternativas de inversión seguido de los principales indicadores financieros como el VPN, la TIR o el PRI tanto para el proyecto como para el inversionista.

El proyecto demostró tener una clara viabilidad desde cada uno de los estudios realizados, potenciado sobre todo por los beneficios que se obtendrían de la Ley 1715. Los diferentes indicadores financieros calculados apuntan a la aceptabilidad del proyecto, los riesgos en general son bajos y controlables y el estudio ambiental demostró un ahorro importante en la cantidad de CO2 que se dejaría de emitir si el proyecto fuera implementado. Este proyecto impulsa la meta trazada por el gobierno en su PDN 2018-2022 y aporta positivamente a la coyuntura mundial del calentamiento global.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Realizar el estudio de prefactibilidad para optimizar el sistema de iluminación por medio de luminarias LED con apoyo de una instalación solar fotovoltaica conectada a la red para una IPS de la Ciudad de Medellín.

2.2. Objetivos específicos

- Realizar el diseño y dimensionamiento de una instalación solar fotovoltaica que genere el 15% de la demanda de energía por iluminación de la IPS.
- Realizar la evaluación financiera del proyecto y analizar su viabilidad de implementación.
- Evaluar las diferentes modalidades de adquisición y contratación mediante las cuáles se puede implementar el proyecto, teniendo en cuenta los beneficios tributarios a los que se podría acceder.
- Cuantificar el impacto ambiental del proyecto con relación a la cantidad de CO₂ que sería dejado de emitir si este fuera implementado.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Definición del problema

Los costos asociados al consumo de energía se constituyen en uno de los mayores gastos de operación (OPEX) en el día a día de las empresas. En Colombia, por ejemplo, la iluminación en el sector terciario corresponde al 26% del total del consumo de energía eléctrica (Plan Energético Nacional – UPME 2020). Dentro de este sector se encuentran las instituciones prestadoras de salud (IPS), las cuales, deben contar, por un lado, con un servicio de energía estable e ininterrumpido, y por otro, cuidar los presupuestos limitados con los que cuentan para poder garantizar una prestación adecuada en términos de calidad y oportunidad. Es por esto que generar ahorros operacionales es fundamental con el fin de poder encaminar los recursos dentro de las labores misionales de las empresas.

3.2. Justificación

Es claro que las industrias y las empresas deben garantizar su sostenibilidad financiera y ambiental para poder avanzar dentro de la economía de un país. Para cumplir en este sentido, buscar ahorros y mejorar la eficiencia en el consumo de energía eléctrica es de vital importancia. Lo anterior permite que las empresas puedan invertir más recursos en los costos misionales para las que fueron creadas, y en el caso de una IPS, poder garantizar una mejor prestación de sus servicios en términos de calidad y oportunidad para sus usuarios.

Dentro de las diferentes posibilidades para conseguir los ahorros y la eficiencia energética planteadas, se propone evaluar la renovación de tecnología por luminarias LED y la generación de energía a través de un sistema solar fotovoltaico conectado a la red para autoconsumo. A través de la tecnología LED es posible obtener ahorros hasta del 50% del consumo de energía para la iluminación¹; por su parte, con la instalación solar fotovoltaica de apoyo se espera generar el 15% de esta energía. Se propone este porcentaje de manera conservativa pues las instalaciones de este tipo deben contemplar diferentes aspectos para que sean viables dentro de un proyecto, como los costos de implementación o los espacios

¹ Comparado con respecto a la tecnología de fluorescencia la cual es ampliamente utilizada en clínicas y hospitales.

requeridos para la instalación que muchas veces son limitados por las condiciones inherentes de las instituciones prestadoras de salud.

Se elige como apoyo la energía solar fotovoltaica por los avances que ha tenido esta tecnología en los últimos años, siendo sistemas cada vez más accesibles, duraderos y sencillos de implementar, llegando en algunos casos a igualar o mejorar los costos de la energía tradicional. En Colombia, gracias a la Ley 1715 de 2014 y al Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2018-2022 se impulsa la implementación de este tipo de proyectos gracias a diferentes beneficios tributarios a los que se puede acceder.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Estudio del entorno

A continuación, se mostrarán los diferentes factores del entorno general y específico en donde será ubicado el proyecto, se darán en términos políticos, económicos, sociales y tecnológicos.

4.1.1. Entorno general

La economía a nivel mundial en el 2020 ha estado marcada por la pandemia del Covid 19. Todos los países han tenido que aumentar su gasto público para hacer frente a la crisis sanitaria, pues solo para el mes de octubre el Fondo Monetario Internacional (FMI) estimó que a nivel mundial se han gastado unos 12 billones de dólares en "amortiguar el golpe" del virus (NEWS, 2020). Sin embargo, todo lo anterior ha hecho que la deuda pública mundial alcance su máximo histórico y por primera vez sea cercano al 100% del Producto Interno Bruto (PIB) internacional, es decir, por primera vez la deuda pública mundial iguala el tamaño de la economía global. Este gasto seguirá aumentando mientras siga existiendo incertidumbre con relación a la pandemia, ya que si bien ya se han comenzado a probar las primeras vacunas todavía no se conoce a ciencia cierta lo que sucederá en los próximos 2 años. No obstante, sí que los inversionistas han comenzado a invertir en activos más rentables, luego de haberse refugiado en activos como el oro y el dólar, al conocerse de las posibles vacunas contra el virus, pues la aversión al riesgo disminuye (Dinero, Vacunas contra covid generan subida en el petróleo y caída del oro, 2020).

En Colombia, la emergencia sanitaria se declaró en marzo, pasando por 5 meses de aislamiento obligatorio para luego continuar con un aislamiento selectivo, lo que permite la mayoría de las actividades económicas y sociales con limitaciones respecto a ocupación, distanciamiento y uso de mascarilla. Todo esto llevó a que el país tuviera una desaceleración marcada de su economía y un aumento importante en el desempleo. En cuanto a la vacuna, el país tiene una estrategia definida que incluye la participación del país con otros 180 países bajo la cual se hace una adquisición conjunta de las vacunas líderes a nivel mundial contra el Covid 19. El país ya ha adelantado negociaciones con Pfizer que para comienzos de noviembre ya tenía sus primeros resultados de la fase 3 del estudio. Se espera a partir del otro año comenzar a aplicar las primeras vacunas a mayores de 60 años y aquellas que cuenten

con comorbilidades más vulnerables contra el virus, la meta es poder aplicar de manera gratuita la vacuna a todos los habitantes del país (Colombia, 2020).

Nadie pone en duda las consecuencias para la economía que el virus ha traído y el costo que implicará seguir manejándolo, sin embargo, en lo concerniente al proyecto toda esta coyuntura de momento está lejos de poder afectarlo, ya que impulsar la implementación de proyectos de energía renovable se encuentra dentro del Plan de Desarrollo Nacional vigente 2018-2022 y es uno de los compromisos que el país tiene con organizaciones internacionales para disminuir el calentamiento global y el efecto invernadero. La aplicabilidad de los beneficios ofrecidos en la Ley 1715 seguirán vigentes como mínimo por los próximos 2 años y se espera que siga rigiendo pues es la tendencia a nivel mundial. Este proyecto tiene un tiempo de ejecución de 10 meses y puede acceder sin problema a los diferentes beneficios que ofrece el gobierno para su implementación.

4.1.2. Entorno específico

La dependencia mundial en la generación de energía por medio de recursos fósiles no renovables ha llevado al planeta a una crisis ambiental por las emisiones de gases de efecto invernadero y ha empeorado el panorama ambiental actual. Por esta razón es que muchos países están desarrollando e implementando tecnologías para aprovechar los recursos naturales y generar energía por medio de dichas fuentes con el menor impacto ambiental posible. (Acevedo, 2000, p. 107).

No obstante, las principales fuentes de energía en el mundo siguen siendo las provenientes del petróleo, carbón, gas natural y nuclear, ya que estas representan 73.8% del total. El otro 26.2% corresponde a fuentes renovables donde las fuentes hidroeléctricas siguen teniendo la mayor participación con un 15,8%. La energía solar fotovoltaica por su parte, representa el 2,4% del total de generación mundial, sin embargo, es la que más ha tenido evolución en los últimos 20 años y es de la que más se espera un crecimiento desde la fecha hasta el 2050.

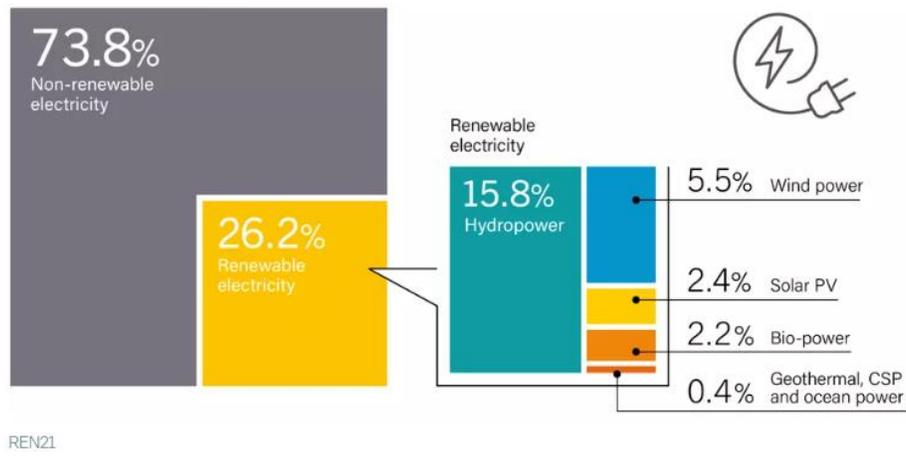


Figura 1. Distribución de las fuentes de energía en el mundo. Fuente: <https://www.vox.com/energy-and-environment/2019/6/18/18681591/renewable-energy-china-solar-pv-jobs>

Hasta hace unos años, la energía solar fotovoltaica tenía altos costos de elaboración en los paneles solares, bajas eficiencias y con necesidad de disponer de grandes cantidades de terreno para poder instalar los sistemas, sin embargo, como puede apreciarse en la figura, los costos de producción de energía solar FV ya son equiparables a los de otras tecnologías debido a los avances en la tecnología.

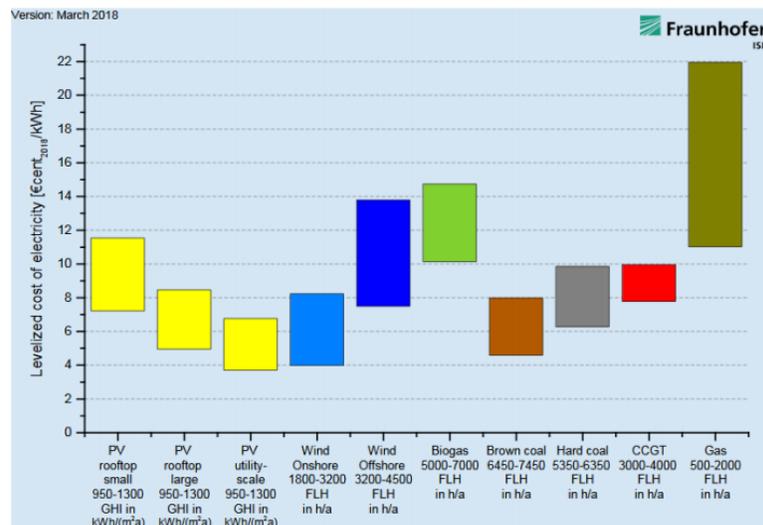


Figura 2. Costos de producción por tipo de energía a nivel global. Fuente: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/EN2018_Fraunhofer-ISE_LCOE_Renewable_Energy_Technologies.pdf

En Colombia está compuesta por cuatro actividades: generación, transmisión, distribución y comercialización, estas permiten integrar el Sistema Interconectado Nacional (SIN), mediante el cual la energía es transportada desde el lugar en que es generada, hasta el consumidor final. Las áreas que no tienen acceso al SIN son denominadas como Zonas No Interconectadas (ZNI) y en las que habita cerca del 3,04% de la población de Colombia (Unidad de Planeación Minero Energética -UPME- 2015). Allí el consumo de energía se abastece mediante plantas diésel, pequeñas centrales hidroeléctricas y, más recientemente, paneles solares. Adicional al Sistema Interconectado local, Colombia tiene conexiones con Venezuela y Ecuador, lo que permite hacer intercambios de energía según la situación de cada mercado, incluidos los eventos hidrológicos y la disponibilidad de recursos hídricos, los cuales son determinantes en las fuentes usadas para el suministro eléctrico. (BANCOLOMBIA, 2019)

Actualmente, la matriz de generación de energía eléctrica en el país cuenta con casi un 70% de fuentes hidroeléctricas y un 30% de recursos fósiles como carbón, gas natural y diésel. Solo cerca del 1% de la generación proviene fuentes renovables no convencionales.



Figura 3. Matriz de generación de energía en Colombia. (BANCOLOMBIA, 2019)

Desde el punto de vista de la demanda, el consumo de energía eléctrica anual del país es cercano a los 70.000 GWh/año y se espera que, para los próximos 11 años –según las proyecciones realizadas por la UPME, con base en series históricas de la demanda, datos

económicos, demográficos y climáticos– el consumo incrementa en promedio del 2% anual. (Bancolombia, 2019)

Para suplir este incremento en los próximos años, el país planeó de manera anticipada la expansión de la infraestructura de generación energética. Dentro de los proyectos más relevantes, se encuentra la central Hidroeléctrica de Ituango, la cual debió entrar en operación en diciembre de 2018 con una capacidad escalable de 2.400 MW que representa el 17% de la demanda de energía eléctrica del país, sin embargo, debido a una avalancha y al taponamiento de los túneles por donde se desviaba el cauce del río, este se represó y luego de hacerlo pasar por la sala de máquinas y tomar diferentes medidas para evitar más daños a los habitantes ribereños, la obra se encareció y retrasó, de modo que en la actualidad sigue sin culminarse. Teniendo en cuenta esta situación, se proyecta que la capacidad instalada actual en el país podría suplir su demanda hasta el 2022. Esto quiere decir una insuficiencia en la oferta para cubrir las necesidades de energía en el corto plazo. (Bancolombia, 2019). Ante esta situación, una de las medidas adoptadas por el gobierno es la de incentivar e impulsar el desarrollo de proyectos de generación de energía eléctrica mediante fuentes renovables no convencionales, ya que la generación térmica también se encuentra limitada por los escasos recursos de gas en Colombia.

El sector eléctrico promueve entonces en el país la diversificación de generación de electricidad, apalancado por la ley 1715 de 2014 y la meta que tiene trazada el gobierno de instalar 1.500MW de fuentes renovables no convencionales para finales de 2022. Para evidenciar el estado actual de las fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER), la UPME es quien lleva el registro del estado de proyectos de este tipo basado en la adopción de la ley 1715. Sin embargo, existen muchos proyectos que se instalan sin necesidad de aplicar a los incentivos de la Ley y por tal razón que no quedan con registro público. La siguiente imagen da muestra de la tipología de proyecto radicado ante la UPME y el estado o fase actual en la que se encuentran.



Figura 4. Distribución por potencia nominal de proyectos registrados ante la UPME en 2019. Fuente: (BANCOLOMBIA, 2019)

En total, son 392 proyectos de energía solar los que aparecen registrados ante la UPME entre las tres fases y que suman 5.339 MW, 19 proyectos de energía eólica que generarían 2.747 MW y 14 proyectos de biomasa para generar 59 MW. Cifras que muestran un panorama alentador frente a la coyuntura que se está viviendo en el sector eléctrico en Colombia. (BANCOLOMBIA, 2019)

Al hacer un énfasis en los proyectos de fuentes renovables no convencionales, destaca por un lado el crecimiento sostenido de estos a lo largo de los últimos años, y por otro, se evidencia que la mayoría de este tipo de proyectos corresponden a energía solar fotovoltaica.

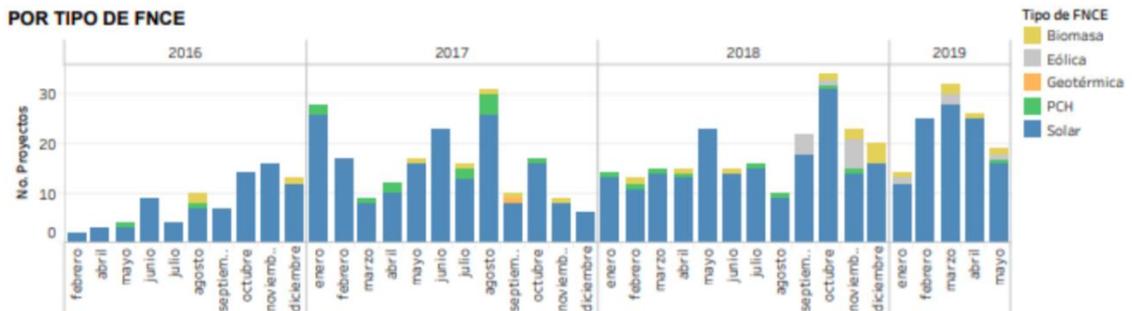


Figura 5. Registro de proyectos de FNCE ante la UPME a mayo de 2019. Fuente: UPME 2019

Analizando la capacidad de energía de los proyectos instalados en el país, la gran mayoría de proyectos FNCER están en rangos desde los 0 hasta los 100 kW, mostrando una fuerte tendencia de descentralización en Colombia y de empoderamiento de usuarios finales (Figura 6).

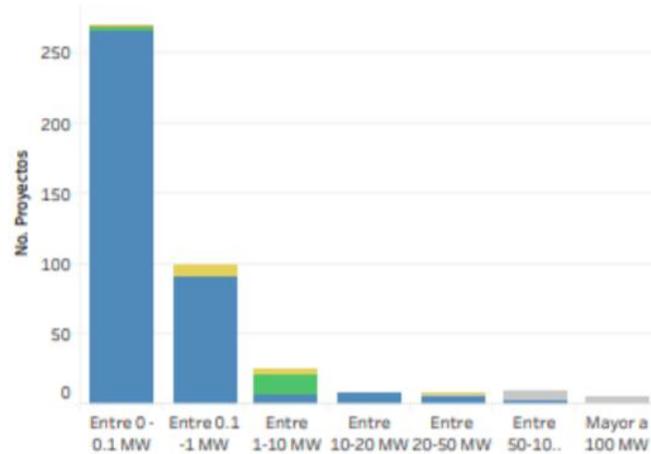


Figura 6. Número de proyectos discriminados por capacidad instalada. Fuente: Registro de proyectos de FNCE ante la UPME a mayo de 2019

En cuanto al tipo de usuario, se puede ver que el sector terciario es el que concentra la mayor cantidad de proyectos de energía renovable, lo que evidencia la importancia del sector comercial para la autogeneración eléctrica (ver figura a continuación).

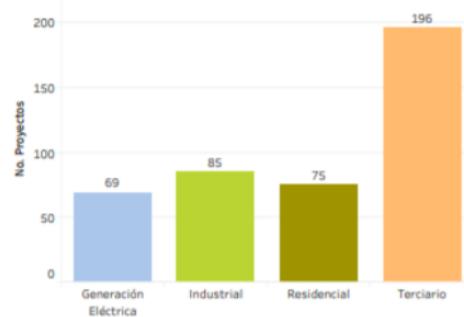


Figura 7. Número de proyectos según tipo de Usuario

Frente a los costos por tipo de generación, los resultados de diferentes estudios coinciden en señalar que los costos de energía solar fotovoltaica son comparables y en muchos casos inferiores a los costos de energías tradicionales. De hecho, el precio de venta de largo plazo alcanzado por las energías renovables en la última subasta de largo plazo de

energías renovables en Colombia alcanzó valores de 95 COP /kWh, equivalentes a US \$ 0.027. (UPME, 2019)

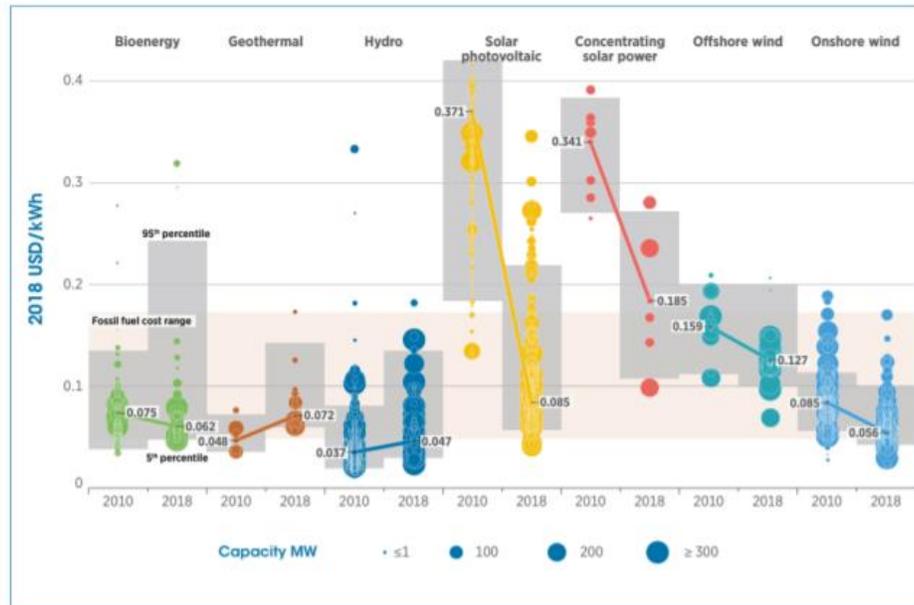


Figura 8. Costos de kW/h según el tipo de generación. Fuente: UPME 2019

Es evidente que Colombia le apuesta, al igual que la mayoría de países del mundo, a la implementación de proyectos de energía renovable no convencional, siendo los de energía solar fotovoltaica (como el de este proyecto) los más representativos debido a su avanzado desarrollo, el potencial crecimiento que aún tiene y los costos que ya son muy competitivos incluso con las energías obtenidas de manera tradicional.

4.2. Estudio de mercado

Este proyecto se desarrolla como solicitud por parte de la compañía, es por tal motivo que en términos generales el estudio de mercado no aplica. La compañía contempla dentro de su estrategia ser sustentable en términos ambientales a mediano plazo. Por este motivo tiene como prioridad implementar proyectos, entre otros, que incluyan el uso de energías renovables. No obstante, es importante definir algunos conceptos claves que debe incluir cualquier estudio de mercado en términos de la aplicabilidad para este proyecto:

- **Mercado de las materias primas**

Lo más relevante en este punto será el costo de los paneles solares, los inversores y demás componentes electromecánicos requeridos para la instalación. Todos los anteriores tienen una gran oferta en el mercado global con precios cada vez más competitivos y accesibles a sus compradores.

- **El producto**

El producto final que recibe la IPS serán los kW/h necesarios para suplir una parte definida del consumo por iluminación de la sede.

- **Análisis de la oferta:**

El proyecto se formula y se evalúa para ser implementado dentro de la misma compañía bajo sus nuevas políticas de eco eficiencia, por tanto, no habrá competidores internos o externos que puedan afectarlo.

- **Análisis de la demanda**

La demanda de energía en la sede se garantiza las 24 horas de los 365 días del año. De esta manera absolutamente toda la energía que pueda ser generada será utilizada para el propio consumo de la IPS. La potencia instalada a lo sumo será capaz de sostener el 4% del total de consumo de la sede (15% de lo debido a iluminación).

- **Costo**

El costo del kW/h generado puede estimarse a partir del costo final de la instalación y su mantenimiento durante la vida útil del sistema, dividiendo el valor final entre los kW/h que se esperan generar en el mismo periodo de tiempo. Sin embargo, como se expuso en el entorno específico, los costos del kW/h que se obtienen hoy por instalaciones solares FV son equiparables y en algunos casos mejores que los costos que cobraría la compañía comercializadora de electricidad (EPM para este caso). Si a lo anterior se suman los diferentes estímulos tributarios vigentes, se garantiza obtener un costo por debajo del vendido por EPM (en torno a los 450 pesos actualmente).

4.3. Estudio técnico

Las instalaciones fotovoltaicas se dividen en dos grandes grupos en función del objetivo de las mismas: instalaciones aisladas de la red, cuya finalidad es satisfacer total o parcialmente

la demanda de energía eléctrica convencional residencial o de una comunidad y las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red (sistemas On Grid) que tienen la capacidad de entregar y tomar energía de la red.

Debido a la altísima cantidad de energía demandada por la IPS y al espacio y recursos disponibles para la instalación del sistema solar, no es posible suplir el 100% de la energía de la IPS. Por esta razón se elige dimensionar una instalación que genere la energía suficiente para suplir un 15% de lo correspondiente a gasto por iluminación. Para lo anterior, se requiere de una instalación conectada a la red como lo muestra el siguiente esquema, donde se muestra de manera general el proceso desde la captación de energía del sol por parte del panel solar hasta su entrega simultánea con la red eléctrica comercial.



Figura 9. Proceso del sistema On Grid usado en el proyecto.

El diagrama muestra cómo el sol irradia grandes cantidades de energía en forma de ondas electromagnéticas que atraviesan el espacio y la atmósfera hasta llegar a la superficie de la tierra (1), luego, los paneles solares tienen la capacidad de captar esta energía solar y a través de un proceso químico interno que implica el uso del silicio como principal agente semiconductor que convierte la energía incidente en energía eléctrica en corriente continua (2). Como los servicios de la IPS están conectados a corriente alterna se requiere el uso de un inversor de corriente, que se encarga de convertir la energía continua que recibe en energía alterna, además de ofrecer un sistema de regulación para entregar una energía de calidad ya lista para ser consumida (3). Finalmente, se instala el medidor de energía para temas de control (4). El sistema general está conectado con la energía comercial para que en caso de baja generación este entre en operación y supla las deficiencias generadas.

Los siguientes apartados muestran de manera detallada los componentes necesarios para este tipo de instalaciones con una descripción de su funcionamiento.

4.3.1. Componentes de un sistema de energía fotovoltaica

4.3.1.1. El panel solar

Los paneles solares son dispositivos de estado sólido que convierten la luz proveniente del sol directamente en energía eléctrica, sin la intervención de motores térmicos o componentes electromecánicos. El mantenimiento de estos dispositivos es menor debido a que es un componente que carece de partes móviles, que requieran lubricación, o de insumos o consumibles que deban cambiarse. poseen una larga vida útil y son altamente confiables. Además, no producen gases de efecto invernadero y son absolutamente silenciosos. Estos sistemas pueden construirse en diferentes tamaños, desde algunos mW (milivatios) hasta centenas de MW (megavatios) y son altamente modulares, es decir, múltiples paneles pueden ser fácilmente añadidos para aumentar la potencia generada (Vallina, 2018).

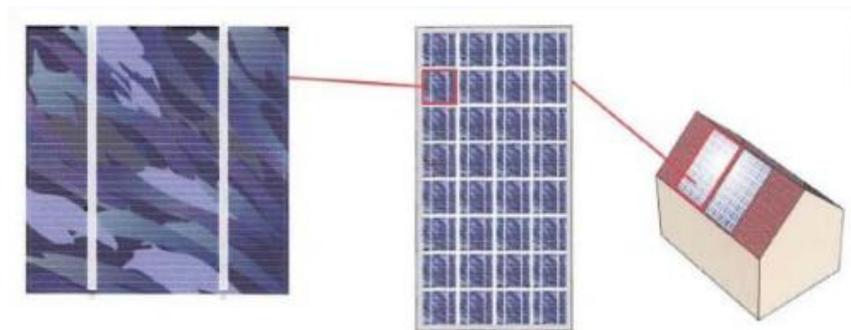


Figura 10. Célula, panel (asociación de células) y generador (asociación de paneles) solar fotovoltaico.

En la célula solar se produce una caída de tensión como consecuencia del paso de los portadores de carga en el semiconductor hacia los contactos eléctricos. Esta se representa por la resistencia en serie (R_s), que tiene un valor de unos mili ohmios aproximadamente. Además, también se producen corrientes de fuga que se representan por una resistencia en paralelo ($R_p \gg 10\Omega$). Estas resistencias provocan un aplanamiento en las curvas características de la célula (Vallina, 2018).

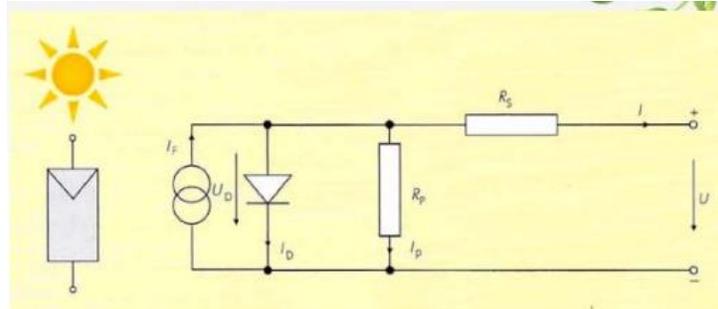


Figura 11. Circuito equivalente ampliado de una célula solar (modelo de un diodo de una célula solar)

Las ecuaciones de este modelo se presentan a continuación:

$$I = I_F - (I_D + I_p) \quad I_F = C_0 \cdot E \quad I_p = \frac{U_D}{R_p} = \frac{U + R_s \cdot I}{R_p}$$

Donde,

I =corriente entre polos de célula

I_F =fotocorriente I_D =corriente del diodo

I_p =corriente a través de la célula en paralelo

C_0 =coeficiente de fotocorriente (m^2/V)

E =irradiancia incidente en la célula (W/m^2)

U =tensión entre los polos de la célula (V)

U_D =tensión del diodo (V)

Dependiendo del objetivo, pueden conectarse las células en serie o en paralelo, esto depende de si se desea aumentar el voltaje o la corriente, respectivamente. Las siguientes figuras dan muestra de las posibles asociaciones y sus curvas características.

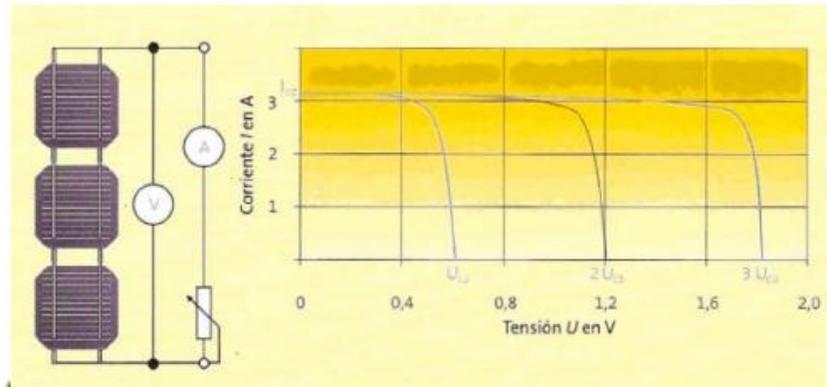


Figura 12. Curvas características de 3 células conectadas en serie

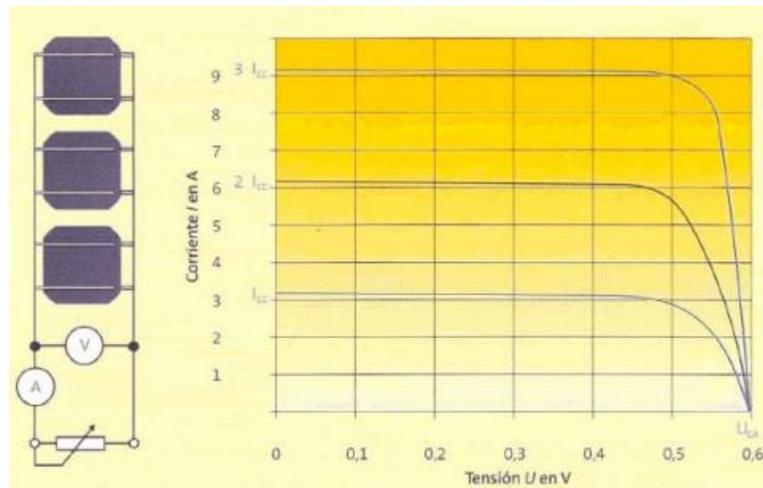


Figura 13. Curvas características de 3 células conectadas en paralelo

Para el dimensionamiento de una instalación solar fotovoltaica, se deben tener muy en cuenta las tensiones máximas y mínimas que se producen a la salida del generador fotovoltaico cuando su temperatura es la mínima y la máxima alcanzable respectivamente, para que los equipos que estén conectados al generador funcionen correctamente.

En la realidad, lo que suele suceder es que cuando existen elevados niveles de irradiancia (días despejados a mediodía solar), es más frecuente que la temperatura ambiente sea mayor que cuando existen bajos niveles de irradiancia (días nublados y por la mañana y por la tarde en días despejados). Una instalación de 2 kWp (kilovatios pico) en un clima de algún país al norte del planeta prácticamente nunca produce 2kW (kilovatios), debido a que con las condiciones climáticas de irradiancia y temperatura ambiente existentes nunca se alcanzan

las condiciones estándar, produciendo en la mayoría de las ocasiones una potencia mucho menor (el porcentaje dependerá del país de estudio.)

4.3.1.2. Las baterías

Conocidas también como acumuladores, debido a su función de almacenar energía eléctrica en forma de energía química, conservarla durante un tiempo prolongado y devolverla, otra vez en forma de energía eléctrica, cuando es requerida. El funcionamiento se basa en la reacción electroquímica reversible de dos sustancias: una que se oxida y otra que se reduce. Cuando estas sustancias se conectan eléctricamente, de forma que pueda establecerse este intercambio de electrones, se crea una corriente eléctrica. Para que este comportamiento sea posible debe haber dos electrodos, un electrolito que permita el intercambio de iones y un circuito exterior que permita la circulación de electrones. Las baterías más adecuadas para instalaciones fotovoltaicas son las baterías de plomo. Estas baterías son la que tienen una mejor relación entre su costo y prestaciones (Luque & Hegedus, 2010).



Figura 14. Baterías de plomo usadas en una instalación fotovoltaica

Las baterías de plomo se componen de vasos de 2V conectados en serie. En instalaciones fotovoltaicas normalmente se usan vasos de forma individual para alcanzar mayores capacidades de almacenamiento. Un vaso de una batería de plomo consiste en un recipiente lleno de electrolito líquido que es ácido sulfúrico diluido, en el que se insertan dos placas con diferente polaridad (una positiva y otra negativa). Las placas consisten en una lámina base de plomo con forma reticular y un material activo poroso. Este material poroso tiene una estructura de esponja, con suficiente superficie como para que se produzca la reacción electroquímica. En función del estado de carga la masa activa se encuentra en el electrodo negativo de plomo (Pb) o en el positivo de óxido de plomo (PbO₂). Para aislar eléctricamente

los electrodos positivos y negativo se utilizan unas láminas que se denominan separadores (Luque & Hegedus, 2010).

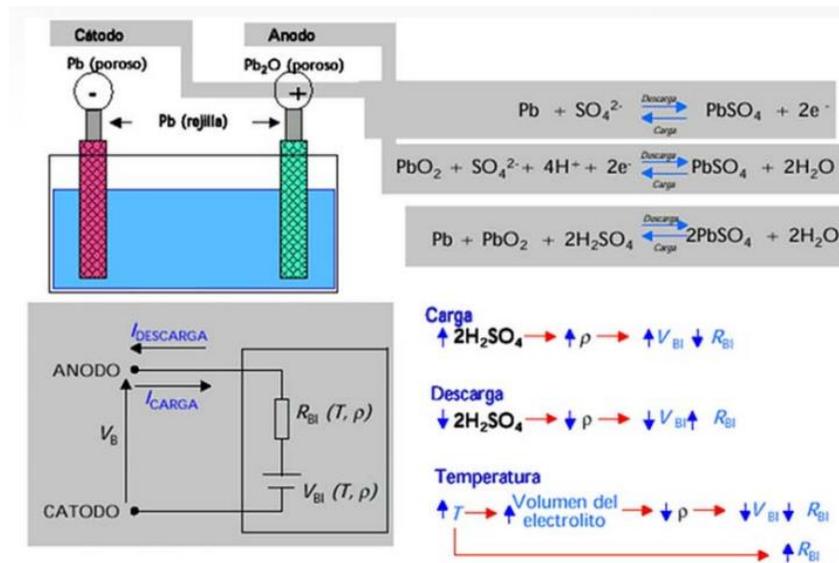


Figura 15. Representación gráfica del funcionamiento de una batería de plomo (Vallina, 2018)

En el proceso de **descarga** de la batería, ésta suministra corriente que circula desde el electrodo negativo al positivo. En este caso, en la superficie de las placas se produce sulfato de plomo (PbSO₄), disminuyendo la densidad del electrolito. En el proceso de **carga**, la corriente circula desde el polo positivo hasta el negativo, aumentando la densidad del electrolito y la tensión de la batería. En este proceso la reacción química se produce en el sentido contrario al proceso de descarga.

Existen diferentes tipos de baterías de plomo, como pueden ser:

- Baterías de plomo con placas de rejilla con electrolitos líquidos.
- Baterías de plomo de gel.
- Batería de plomo de placa positiva tubular.
- Batería de plomo en bloque con placas de varillas.

En cuanto a los criterios de selección de la batería, resulta imposible conseguir una batería “todo terreno” que contenga todas las ventajas y opciones de uso. Es por eso que deberán tenerse en cuenta los criterios más importantes de selección: Capacidad, temperatura de trabajo, relación precio-prestación, necesidad de mantenimiento y coste de mantenimiento,

tamaño y demanda de espacio, eficiencia, autodescarga, idoneidad para un uso móvil (sacudidas, posición inclinada) y el riesgo para el medio ambiente (empleo en zonas con aguas potables o protegidas) (Lamigueiro, 2018).

4.3.1.3. *El regulador de carga*

Su función principal es la de proteger la batería, a fin de alargar su vida y asegurar el correcto funcionamiento de la instalación. Las principales funciones de un regulador incluyen:

- Protección frente a sobredescarga: Controla el nivel de carga de las baterías, cuando está en fase de descarga, a fin de evitar estados de carga excesivamente bajos y descargas profundas, situación que puede darse en períodos nocturnos o de irradiación débil (nubes, niebla, etc.). Cuando se da esta situación, la carga debe desconectarse de las baterías. En general, se admite que la sobredescarga no debe superar el 80% de la carga total y que en sistemas en que puedan producirse descargas profundas frecuentes, ésta no debe superar el 60%. Se recomienda que las descargas habituales se sitúen alrededor del 30%.
- Protección frente a sobrecargas: Controla el nivel de carga, en fase de carga, para evitar sobrecargas que provoquen excesiva emisión de gases y, en consecuencia, pérdida de electrolito. Si la sobrecarga es importante puede provocar la sulfatación de las baterías. Cuando existe este peligro, las baterías se desconectan del generador FV y vuelven a conectarse cuando desaparece el riesgo.

El regulador puede ser conectado en serie o en paralelo. El primero se encarga de interrumpir la corriente entre el generador FV y la batería cuando se alcanza la tensión límite de carga, y se vuelve a conectar cuando disminuye la tensión de la batería. El regulador conectado en paralelo, en lugar de interrumpir un circuito deriva toda o parte de la corriente. Sólo deja pasar una cantidad de corriente que evite la autodescarga y el resto se consume como corriente de cortocircuito en el panel FV, transformándose en calor

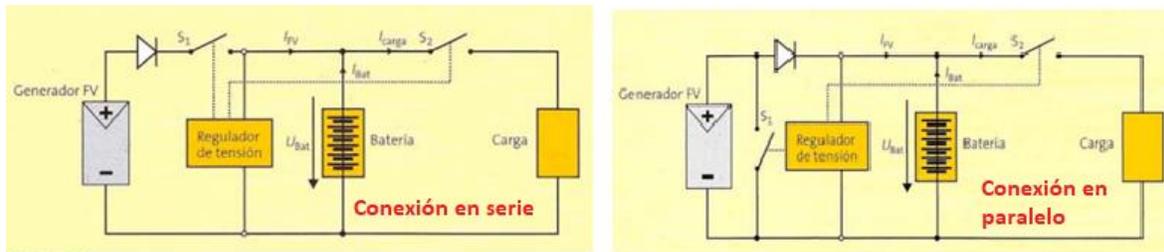


Figura 16.Tipos de conexión del regulador de carga

Se deben tener precauciones a la hora de escoger un regulador: se debe asegurar que el regulador escogido es capaz de soportar la corriente que circula sin peligro de daño. En este sentido se aconseja que la corriente máxima del regulador instalado sea un 10% mayor que la intensidad máxima de la corriente de carga. Cuando por alguna razón (como por ejemplo durante las operaciones de mantenimiento de las baterías), el sistema funciona con las baterías desconectadas, el regulador debe ser capaz de trabajar en las condiciones máximas de tensión y corriente que se dan en esta situación.

De igual manera hay que tener precauciones al instalar un regulador. Si el rendimiento del regulador es menor que la unidad, la diferencia entre la energía que entra y la que sale, se transforma en calor que debe ser evacuado al ambiente. En consecuencia, el regulador debe instalarse en un sitio fresco y que permita una ventilación eficaz. Como la ventilación se realiza por medio de aire, debe procurarse que el sitio donde se instala el regulador tenga una atmósfera lo más limpia de polvo posible (Vallina, 2018).

4.3.1.4. Los convertidores

El generador FV y la batería generan corriente continua a una tensión determinada, mientras que el consumo demanda energía eléctrica que no necesariamente debe tener las mismas características, puede demandar corriente alterna o corriente continua a una tensión distinta a la generada o almacenada. El convertidor es el dispositivo electrónico encargado de cambiar la tensión y las características de la corriente que reciben transformándolas de manera que resulten adecuadas para el consumo. De esta manera, existen dos tipos de convertidores según se requieran: los convertidores DC/DC y los DC/AC.

- Convertidores DC/DC: reciben la corriente continua (DC por sus siglas en inglés) a una determinada tensión y la transforman en corriente continua (DC) pero a diferente tensión.

- Convertidores DC/AC o inversor: convierten la corriente continua (DC) en corriente alterna (AC).

De esta manera, aquellas instalaciones que solo demandan energía eléctrica en forma de corriente continua normalmente no necesitan convertidor, pero todas las demás instalaciones, sí lo necesitan. Para simplificar la instalación, en el mercado existen modelos en los que el convertidor DC/AC (o inversor) y el regulador de carga de las baterías (en caso de ser necesario) están incorporados en el propio inversor.

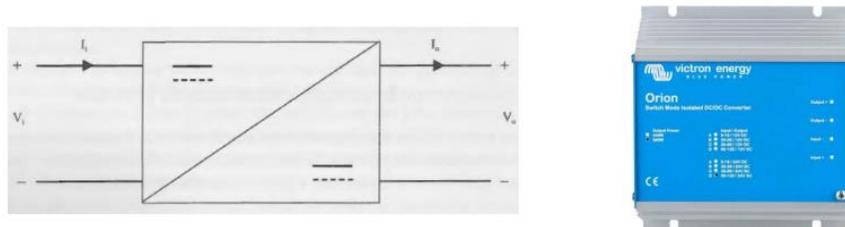


Figura 17. Esquemático de un convertidor DC/DC

Dependiendo del tipo de instalación, se requerirá un inversor monofásico o trifásico. Si la potencia nominal de la instalación FV es superior a 5 kW, su conexión a la red será trifásica, mediante inversores monofásicos de hasta 5 kW a las diferentes fases, o directamente mediante un inversor trifásico.

4.3.1.5. Inversores autoconmutados

Suelen emplear IGBTs (transistores bipolares de puerta aislada, Insulated Gate Bipolar Transistor) o MOSFETs (transistores de efecto de campo metal-óxido-semiconductor, Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor), siendo el IGBT el elemento semiconductor más utilizado actualmente. Con el inversor autoconmutado puede controlarse tanto el instante de encendido como el de apagado del interruptor. Conmutados mediante modulación por ancho de pulsos (PWM). Con este tipo de inversor se puede obtener corriente alterna de cualquier forma de onda y con cualquier factor de potencia, y en el caso de la forma senoidal suprimiendo buena parte de los armónicos de la corriente. Inversores más utilizados en aplicaciones FV de pequeña y mediana potencia (Vallina, 2018).

En cuanto a la monitorización de los inversores, los fabricantes ofrecen funciones de recolección de datos directamente integradas en el aparato o como una ampliación opcional. Los datos se leen mediante display o mediante señalización a través de LEDs y/o son analizados en un PC. Con ello la instalación FV es supervisada y analizada incluso en tiempo real. La frecuencia de almacenamiento de los datos es variable, varía desde un valor por minuto a cinco valores por día. El tiempo de funcionamiento y la cantidad de energía se calcula como valores diarios, mensuales y/o anuales. Los datos se almacenan directamente y se analizan mediante un PC. El análisis de los datos se consigue mediante un software adecuado que el fabricante proporciona con el aparato. La capacidad de almacenamiento de los aparatos disponibles en el mercado se sitúa entre 28 y 450 días. Algunos inversores necesitan/incorporan data logger exteriores que pueden transmitir señales acústicas de alarma o visualizaciones en cuadros indicadores con avisos por fax, computador, email, SMS o por la Web.

4.3.1.6.Caja de conexión del generador

Cumple la función de conectar en paralelo varias cadenas de paneles, además ofrece lo siguiente: Protección contra sobretensión de paneles y de los equipos conectados aguas abajo. Fusibles de cadena para proteger los paneles y los cables de cadena contra sobrecarga. Protección contra cortocircuito y línea de puesta a tierra. Positivo y negativo deben estar clara y especialmente separados. Suele contener el interruptor principal de c.c. (cortocircuito) para separar el generador FV del resto de la instalación. Incorpora fusibles de cadena para proteger el cable de cadena y derivadores de sobretensión para protección frente a descargas atmosféricas.

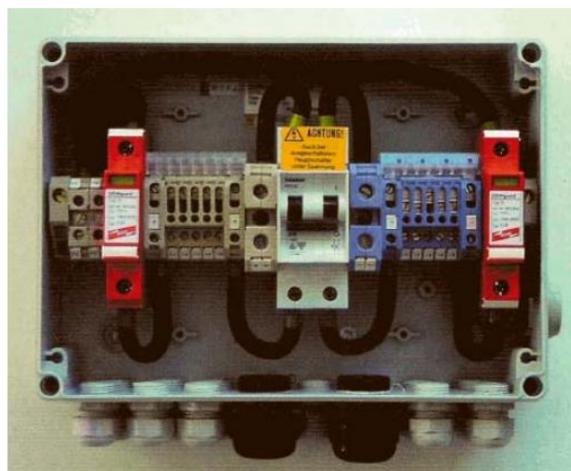


Figura 18. Caja de conexión del generador.

4.3.1.7.Cableado

El cableado adecuado debe limitar las caídas de tensión y aislar eléctricamente a las células y contactos del exterior, para evitar la posibilidad de contactos fortuitos que pueden ser peligrosos con tensiones elevadas. Debe satisfacer las siguientes condiciones:

- Disponer de cables incluidos en alguno de estos casos: Estar aislados de la intemperie por un tubo protector. Tener una funda aislante constituida por algún material cuya temperatura de servicio alcance los 90 °C.
- Disponer de cables con una sección tal que asegure que la caída de tensión en el conjunto del generador y entre este y la entrada de la siguiente etapa de la instalación (regulador, inversor, etc.), no supere el 1% de la tensión nominal, en cualquier condición de operación. Esta misma regla de limitar al 1% las caídas de tensión son también de aplicación al cableado que une el regulador a la batería. Este cableado debe incluir, además, un fusible en uno de los cables de salida de la batería, para evitar que se produzcan daño en esta última, en la eventualidad de un cortocircuito en alguna parte de la instalación.
- Disponer de cajas de conexión estancas y situadas a más de 50 cm sobre el nivel del suelo.

Además de lo anterior, deberá garantizarse la protección interna contra rayos incluye todas las medidas e instalaciones del edificio, que se encargan de la protección de los efectos indirectos de los rayos, pero también de la conexión a la red eléctrica. Una condición previa para una adecuada función de una protección interna contra rayos es una buena conexión equipotencial. A través de la conexión equipotencial se conectan a tierra todas las tuberías metálicas (por ejemplo, conducciones de agua, calefacción, gas, etc).

Otro factor importante es la puesta a tierra, esta tiene como objeto limitar la tensión que, con respecto a tierra, puedan presentar en un momento dado las masas metálicas, asegurar la actuación de las protecciones y eliminar o disminuir el riesgo que supone una avería de los equipos eléctricos que se usen.

4.3.2. Iluminación LED

Es la iluminación que usa el principio de funcionamiento de un diodo emisor de luz (LED por sus siglas en inglés) es básicamente un pequeño dispositivo emisor de luz que se encuentra bajo componentes electrónicos semiconductores "activos". Es bastante comparable al diodo de uso general normal, con la única gran diferencia es su capacidad de emitir luz en diferentes colores. Los dos terminales (ánodo y cátodo) de un LED cuando están conectados a una fuente de voltaje en la polaridad correcta, pueden producir luces de diferentes colores, según la sustancia semiconductor utilizada en su interior. El principio de funcionamiento se basa en el efecto fotoeléctrico enunciado por Albert Einstein, el cual menciona que algunos materiales al ser sometidos al paso de la corriente eléctrica generan luz. Los electrones pasan por los diodos y se convierten en luz. Este proceso se llama electroluminiscencia y se distingue de la "incandescencia" en que no depende de la generación de calor como consecuencia del paso de la electricidad a través de un conductor (filamento). Como consecuencia, la eficiencia del LED es mucho mayor, ya que destina la energía directamente a generar luz.

4.3.2.1. Componentes electrónicos de las luminarias LED

Debido a los diferentes principios de emisión de luz, algunas lámparas pueden no funcionar correctamente o incluso fallar sin controladores electrónicos de potencia. La electrónica de potencia de iluminación eficiente puede mejorar la eficiencia en un al menos 20%. Los controladores electrónicos de potencia inteligentes con atenuación pueden ahorrar aún más, en promedio un 30% adicional. Las luminarias LED tienen una respuesta dinámica y la vida operativa no se ve afectada al encenderlos y apagarlos. Un pequeño incremento en el voltaje de activación hará que la corriente aumente drásticamente. Por lo tanto, un controlador de LED debe proporcionar una corriente continua constante para un color y una emisión de luz estable

La siguiente figura muestra la configuración típica de conducción de un LED con control de corriente preciso para cada lámpara LED. En general, la atenuación de LED tiene tres métodos principales: modulación de amplitud (AM), modulación de ancho de pulso (PWM) y atenuación TRIAC. La atenuación AM y PWM se puede integrar en un controlador LED con control de atenuación inteligente y simple para los requisitos del usuario. Los atenuadores TRIAC son adecuados para los dispositivos de iluminación provisionales, que

se espera que tengan la capacidad de acomodar las lámparas LED de retroadaptación para ahorrar el costo.

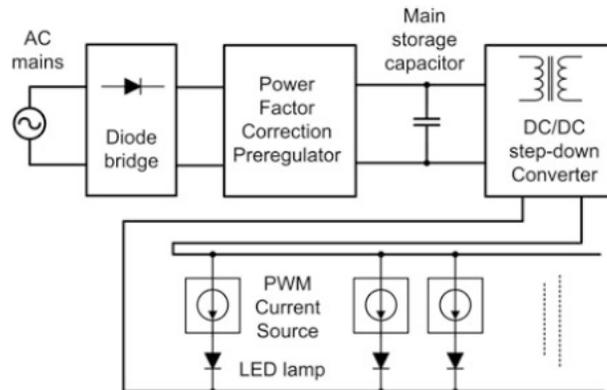


Figura 19. Configuración de conducción típica de varias lámparas LED

Para la iluminación de estado sólido, la electrónica de potencia avanzada no solo mejora el ahorro de energía en la transformación de energía, sino que también garantiza una operación confiable y duradera para reducir el costo de funcionamiento y mantenimiento. Por ejemplo, los componentes menos confiables en el controlador LED son los condensadores electrolíticos que amortiguan la energía, es decir, el condensador de almacenamiento principal, la mayoría de los cuales duran menos de 5,000 h, lejos de la vida útil del LED. Los LED emiten calor y el 70–80% de la energía eléctrica se irradia en forma de calor. Sin un buen control térmico, el calor de los LED y el controlador reducirá significativamente la eficiencia y la vida útil de la lámpara LED. Al tener en cuenta los problemas eléctricos, térmicos y ópticos, la electrónica de potencia de iluminación eficiente e inteligente debe integrar sensores, actuadores y esquemas de control de atenuación para ofrecer más funciones y desarrollar controladores y controles más compactos, eficientes y confiables, que conduzcan a una iluminación LED óptima. El futuro cercano de la iluminación doméstica y profesional está en la aplicación del LED, aprovechando las cualidades intrínsecas de la tecnología.

4.3.3. Plan de calidad

Tener un plan de gestión de la calidad para el proyecto es muy importante ya que este evitará a futuro tener reprocesos o sobrecostos. Para conseguirlo, el proyecto contempla los siguientes lineamientos:

- Las fuentes de datos utilizadas para el potencial de generación son las recomendadas por la literatura especializada, como por ejemplo, los atlas solares suministrados por La NASA.
- El procedimiento para el cálculo del tamaño de la instalación se realiza a partir de procedimientos ampliamente utilizados en este tipo de proyectos. En nuestro caso se utilizó el procedimiento de la “Corriente de Diseño” explicado a profundidad en el apartado técnico.
- La asignación de recursos (humanos y físicos) se dimensionó con base en la experiencia que tiene la compañía en la implementación de este tipo de proyectos. Desde la dirección de obras de la compañía fueron suministrados los indicadores (datos por metro cuadrado) que permiten la estimación de los recursos mencionados.
- En términos financieros también se utilizaron indicadores con los que cuenta la compañía como referencia. Se cuentan con diferentes métricas financieras de referencia que dan idea de si el proyecto cumple con las expectativas de la empresa.
- La calidad de la instalación se asegura por medio de la compra de materiales, insumos y componentes que cuenten con los debidos registros y documentos de calidad exigidos para cada caso. Marcas de reconocimiento en el sector que entregan cartas de garantía por el tiempo en que se acuerde con el área de compras de la compañía y siguiendo los lineamientos del departamento de mantenimiento quien en su haber cuenta con el *expertise* necesario para recomendar/descartar una marca u otra de lo que se compra.
- La instalación en sí misma se contrata solo con proveedores que cuenten con experiencia específica en el campo y que ya tienen suficientes casos de éxito incluso dentro de la misma compañía. Toda instalación deberá cumplir siempre la normatividad vigente que las rija, como el caso del cumplimiento RETIE para instalaciones eléctricas en Colombia.
- La calidad en la etapa de producción se asegura con los planes de mantenimiento y aseguramiento con los que cuenta el departamento de mantenimiento de la compañía. Se garantiza en todo caso los diferentes protocolos de limpieza de los paneles en la frecuencia indicada, así como 1 mantenimiento preventivo al año de la instalación.

4.4. Estudio legal

La regulación eléctrica colombiana ha venido mejorando en términos de inclusión y apoyo a las energías renovables no convencionales, incentivando el uso de las mismas a través de leyes como la 1715 del 2014, que fue la primera en impulsar la transformación energética nacional.

Esta ley tiene como objeto “promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético. Con los mismos propósitos se busca promover la gestión eficiente de la energía, que comprende tanto la eficiencia energética como la respuesta de la demanda”.

Por otra parte, su finalidad es la de “establecer el marco legal y los instrumentos para la promoción del aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, lo mismo que para el fomento de la inversión, investigación y desarrollo de tecnologías limpias para producción de energía, la eficiencia energética y la respuesta de la demanda, en el marco de la política energética nacional. Igualmente, tiene por objeto establecer líneas de acción para el cumplimiento de compromisos asumidos por Colombia en materia de energías renovables, gestión eficiente de la energía y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, tales como aquellos adquiridos a través de la aprobación del estatuto de la Agencia Internacional de Energías Renovables (Irena) mediante la Ley 1665 de 2013”.

4.4.1. Incentivos tributarios

La Ley 1715 ofrece una serie de incentivos tributarios para la promoción e integración al sistema eléctrico colombiano de las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER). La siguiente tabla resume y describe de manera general los principales beneficios en mención:

Tabla 1. Beneficios tributarios de la Ley 1715

LEY 1715		
BENEFICIO	REGULACIÓN	DESCRIPCIÓN GENERAL
Deducción especial en la determinación del impuesto sobre la renta.	i) Artículo 11 de la Ley 1715 de 2014.	Los contribuyentes declarantes del impuesto sobre la renta que realicen directamente nuevas erogaciones en investigación, desarrollo e inversión para la producción y utilización de energía a partir FNCE o gestión eficiente de la

	ii) Artículo 2.2.3.8.2.1. y siguientes del Decreto 2143 de 2015 (incorporado al Decreto 1073 de 2015).	energía, tendrán derecho a deducir hasta el 50% del valor de las inversiones. El valor a deducir anualmente no puede ser superior al 50% de la renta líquida del contribuyente.
Depreciación acelerada	• Artículo 14 de la Ley 1715 de 2014.	Gasto que la ley permite que sea deducible al momento de declarar el impuesto sobre la renta, por una proporción del valor del activo que no puede superar el 20% anual.
	• Artículo 2.2.3.8.5.1. del Decreto 2143 de 2015 (incorporado al Decreto 1073 de 2015)	
Exclusión de bienes y servicios de IVA.	• Artículo 12 de la Ley 1715 de 2014.	Por la compra de bienes y servicios, equipos, maquinaria, elementos y/o servicios nacionales o importados.
	• Artículo 2.2.3.8.3.1. del Decreto 2143 de 2015 (incorporado al Decreto 1073 de 2015).	
	Ley 1715 art. 12, Decreto 2143 Artículo 2.2.3.8.3.1.	

Aplicarán los incentivos de exclusión de IVA en los siguientes elementos:

- Inversor de energía para sistema de energía solar con paneles
- Paneles solares
- Controlador de carga para sistema de energía solar con paneles
- Luminarias tecnología LED

Para la aplicación de estos beneficios se creó un marco normativo que tiene los siguientes propósitos:

- 1) **Orientar las políticas públicas** y definir los instrumentos tributarios, arancelarios, contables y de participación en el mercado energético colombiano que garanticen el cumplimiento de los compromisos adquiridos por el Gobierno Nacional.
- 2) **Incentivar la penetración de las Fuentes No Convencionales de Energía**, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético colombiano, la eficiencia energética y la respuesta de la demanda en todos los sectores y actividades, con criterios de sostenibilidad medioambiental, social y económica.
- 3) **Estimular la inversión, la investigación y el desarrollo** para la producción y utilización de energía a partir de Fuentes No Convencionales de Energía,

principalmente aquellas de carácter renovable, mediante el establecimiento de incentivos tributarios, arancelarios o contables.

La siguiente tabla resume la normativa que rige los incentivos, el decreto donde se desarrolla y las resoluciones que lo reglamentan:

Tabla 2. Marco normativo y autoridades competentes

MARCO NORMATIVO Y AUTORIDADES COMPETENTES		
Ley que establece los incentivos	Decreto que desarrolla los incentivos previstos por la ley	Resoluciones que reglamentan el procedimiento para acceder a los incentivos
Ley 1715 de 2014: Ar. 11, 12, 13 y 14	Decreto 2143 de 2015 del ministerio Minas y Energía, Hacienda y Crédito Público, Comercio, Industria y Turismo y de Ambiente y Desarrollo Sostenible	- Resoluciones 520 y 638 de 2007 y Resolución 143 de 2016 de la UPME-Registro de proyectos
		- Resolución 045 de 2016 de la UPME
		- Resolución 1283 de 2016 del MinAmbiente
		- Resolución 186 de 2012 del MinAmbiente

A continuación, se detallarán las condiciones de cada uno de los beneficios mencionados hasta el momento:

4.4.2. *Deducción especial del impuesto sobre la renta*

- **Requisitos**

Obtención de la certificación expedida por la UPME, en la cual la entidad avalará el proyecto de FNCE o GEE, los equipos elementos y maquinaria, nacionales o importados, o la adquisición de servicios.

Adicionalmente, los contribuyentes deberán obtener la Certificación de Incentivo Ambiental que expide el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible a través de la ANLA, en los términos del artículo 158-2 del Estatuto Tributario y demás normas que lo reglamenten. Este

artículo hace referencia a la deducción especial por inversiones en control y mejoramiento ambiental, que generan beneficios ambientales.

- **Alcance del incentivo**

Aplica a las inversiones que se realicen directamente en investigación y desarrollo en el ámbito de la producción y utilización de energía a partir FNCE o gestión eficiente de la energía.

El valor máximo a deducir en un período no mayor a cinco (5) años, contados a partir del año gravable siguiente a aquel en el que se efectúa la inversión, será del cincuenta por ciento (50%) del valor total de la inversión realizada.

El valor máximo a deducir por cada año gravable no podrá ser superior al cincuenta por ciento (50%) de la renta líquida del contribuyente, antes de restar la deducción.

En el año en que se efectúe la inversión, los contribuyentes podrán deducir además el valor por depreciación o amortización que corresponda a la inversión, de acuerdo con el régimen general de deducciones previsto en el Estatuto Tributario o utilizar la depreciación acelerada prevista en el artículo 14 de la Ley 1715 de 2014.

- **Limitaciones**

Cuando la inversión se realice mediante un contrato de leasing, la deducción procederá cuando se trate de un leasing financiero con opción de compra irrevocable, a partir del año siguiente en el que se suscriba el contrato, siempre y cuando el locatario ejerza la opción de compra.

Si no se ejerce la opción de compra, los valores objeto del incentivo deberán ser declarados como renta líquida por recuperación de deducciones en el año gravable en que se decida no ejercerla, de acuerdo con los artículos 195 y 196 del Estatuto Tributario.

La deducción no será aplicable cuando la inversión se realiza por medio de contratos de retroarriendo o lease back, o cualquier otra modalidad que no implique la transferencia del dominio de los activos.

Cuando se anulen, resuelvan o rescindan los contratos que hayan dado lugar a la deducción especial, los contribuyentes deberán restituir el incentivo incorporándolo como renta líquida por recuperación de deducciones en los términos de los artículos 195 y 196 del Estatuto Tributario en el año gravable en que se anule, resuelva o rescinda el contrato.

Si los activos objeto de la inversión son enajenados antes de que finalice su periodo de depreciación o amortización, los beneficiarios de la deducción especial deberán restituir el incentivo incorporándolo como renta líquida por recuperación de deducciones en los términos de los artículos 195 y 196 del Estatuto Tributario, en el año gravable en que se perfeccione la enajenación.

Tampoco procederá el incentivo respecto de aquellos activos que se enajenen y posteriormente sean readquiridos por el mismo contribuyente.

4.4.2.1. Depreciación acelerada

- Requisitos

Obtención de la certificación expedida por la UPME, en la cual la entidad avalará el proyecto de FNCE y los equipos, elementos y maquinaria, nacionales o importados, o la adquisición de servicios. La certificación de la deducción especial en renta, aplica para este beneficio.

Los contribuyentes deberán obtener la Certificación de Incentivo Ambiental que expide el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en los términos del artículo 158-2 del Estatuto Tributario y demás normas que lo reglamenten. Este artículo hace referencia a la deducción especial por inversiones en control y mejoramiento ambiental.

- Alcance del incentivo

Aplica a los Generadores de Energía a partir de FNCE que realicen nuevas inversiones en maquinaria, equipos y obras civiles adquiridos y/o construidos con posterioridad a la vigencia de la Ley 1715 de 2014.

La depreciación acelerada deberá regirse por la técnica contable. La tasa anual global de depreciación no podrá superar el 20%.

El beneficiario definirá una tasa de depreciación igual para cada año gravable, la cual podrá modificar en cualquier año, siempre y cuando le informe a la Dirección Seccional de Impuestos de su jurisdicción, hasta antes de presentar la declaración de renta del año en el que ocurrió el cambio.

- **Limitaciones**

El incentivo aplica exclusivamente para las nuevas inversiones en las etapas de preinversión, inversión y operación de proyectos de generación a partir de FNCE., en particular a maquinaria, equipos y obras civiles.

Si los activos objeto de la inversión son enajenados antes de que finalice su periodo de depreciación o amortización, los beneficiarios de la deducción especial deberán restituir el incentivo incorporándolo como renta líquida por recuperación de deducciones en los términos de los artículos 195 y 196 del Estatuto Tributario, en el año gravable en que se perfeccione la enajenación.

4.4.2.2.Exclusión de IVA

- **Requisitos**

Previo a la importación de los bienes o las adquisiciones nacionales, se deberá obtener la certificación expedida por la UPME, en la cual la entidad avalará el proyecto de FNCE y los equipos, elementos y maquinaria, nacionales o importados, o la adquisición de servicios.

Se deberá obtener la certificación emitida por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales de equipos y servicios excluidos del impuesto, para lo cual se basará en el listado elaborado por la UPME y sus actualizaciones.

- **Alcance del incentivo**

Aplica a la compra de equipos, elementos y maquinaria, nacionales o importados, o la adquisición de servicios dentro o fuera del territorio nacional que se destinen a nuevas inversiones y pre inversiones para la producción y utilización de energía a partir FNCE, así como aquellos destinados a la medición y evaluación de los potenciales recursos.

Todo lo anterior de conformidad con la certificación emitida por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales sobre los equipos y servicios excluidos del impuesto, para lo cual se basará en el listado elaborado por la UPME y sus actualizaciones. Este listado se encuentra anexo a la Resolución 045 de 2015 y se puede acceder al mismo por medio del siguiente link:

- http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/Anexos_Res045_Lista_de_bienes_y_servicios.pdf

Los interesados podrán solicitar ante la UPME la actualización y/o ampliación de la lista de bienes y servicios excluidos de IVA y exentos de gravamen arancelario, para lo cual deberán diligenciar y allegar los documentos previstos en el artículo 4 de la Resolución 045 de 2016. Dicha documentación contendrá una relación de los bienes y servicios que se solicitan incluir, junto con una justificación técnica de su uso dentro de los proyectos FNCE.

4.4.2.3.Exclusión de gravamen arancelario

- **Requisitos**

Obtener la certificación expedida por la UPME, en la cual la entidad avalará el proyecto de FNCE y la maquinaria, equipos, materiales e insumos relacionados con este y destinados exclusivamente a las etapas de preinversión e inversión.

Se deberá obtener la certificación de Incentivo Ambiental emitida por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA.

- **Alcance del incentivo**

Exención del pago de los Derechos Arancelarios de Importación de maquinaria, equipos, materiales e insumos destinados exclusivamente para labores de preinversión y de inversión de proyectos con dichas fuentes. Este incentivo recaerá sobre maquinaria, equipos, materiales e insumos que no sean producidos por la industria nacional y su único medio de adquisición esté sujeto a la importación de los mismos.

La exención se aplicará a proyectos de generación FNCE y deberá ser solicitada a la DIAN en un mínimo de 15 días hábiles antes de la importación, de conformidad con la documentación del proyecto avalada en la certificación emitida por la UPME.

Una vez expedidas las certificaciones de la UPME y de la ANLA, deberán remitir a la Ventanilla Única de Comercio Exterior – VUCE la solicitud de licencia previa, anexando la mencionada documentación. El cumplimiento de este registro hace las veces de la solicitud de exención a la DIAN.

4.4.3. Aplicación de los incentivos en el proyecto

Existen diferentes etapas por las cuales se deben pasar para poder acceder a los diferentes beneficios contemplados en la Ley 1715 de 2014. La siguiente figura resume de manera secuencial los pasos a tener en cuenta:

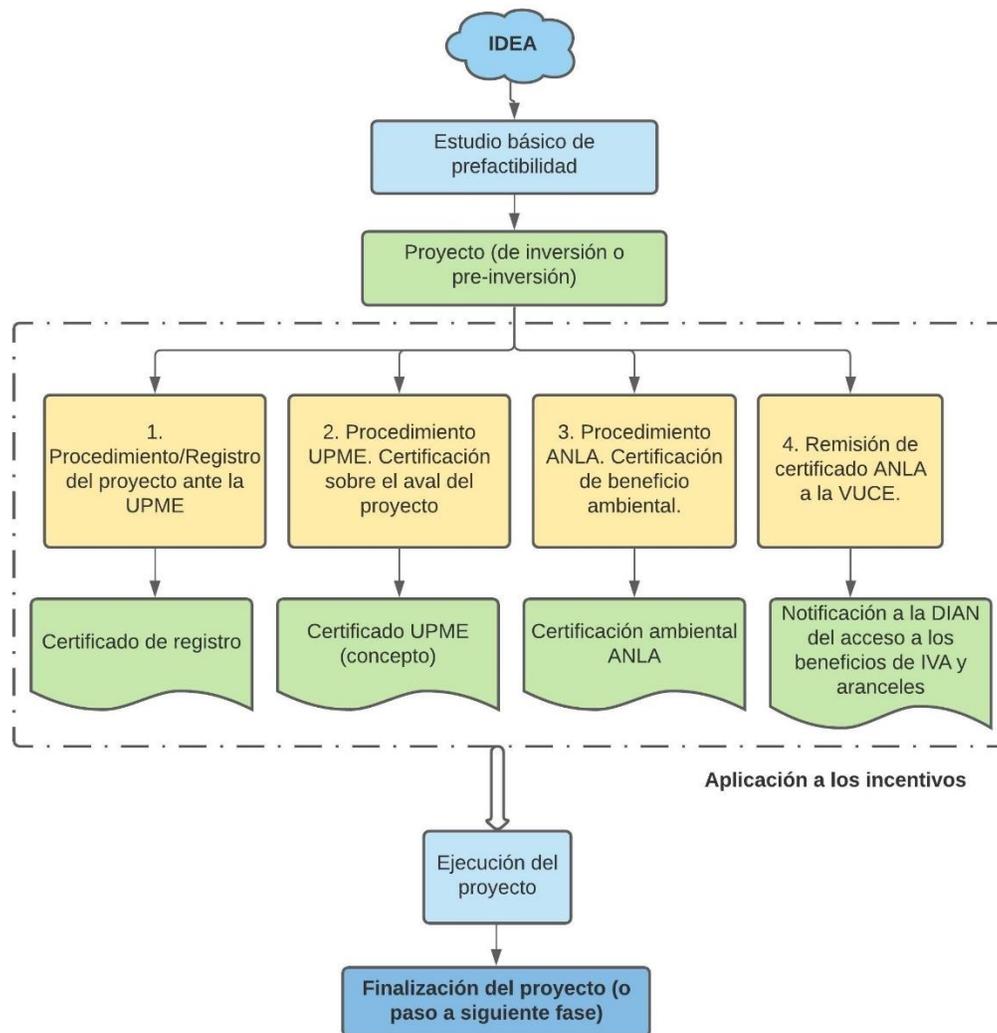


Figura 20. Aplicación de los incentivos tributarios. Fuente: Elaboración propia

Los diferentes incentivos mencionados serán tenidos en cuenta en la evaluación financiera del presente proyecto, ya que impacta directamente en la viabilización final del mismo.

4.5. ESTUDIO AMBIENTAL

La implementación de sistemas eficientes a nivel energético, o de generación de energía renovable nacen principalmente como una medida de mitigar el impacto que se tiene por el uso de energías fósiles y de sistemas con muy bajas tasas de eficiencia energética. La energía solar fotovoltaica no es la excepción y muchos proveedores de estos sistemas la venden como

una opción “verde” a la hora de generar energía, pero veremos que no es tan sencillo y deberán considerarse varios aspectos para que sea realmente una opción sustentable. Para esto es importante conocer el impacto ambiental que se genera en la fabricación de los paneles solares y la contaminación de estos cuando han terminado su vida útil. Se revisarán los esfuerzos que actualmente se adelantan a nivel investigativo y regulatorio para mitigar el impacto ambiental del uso de esta tecnología para finalmente describir el método de cuantificación usado para medir el impacto ambiental del presente proyecto.

Tabla 3. Resumen del impacto ambiental generado por la tecnología solar

IMPACTO AMBIENTAL ENERGÍA SOLAR	
FACTOR	DESCRIPCIÓN
Clima	Los paneles solares usan hornos de alto consumo energético durante su fabricación. En la etapa de producción son una alternativa limpia pues no generan calor o emisiones de CO ₂ que favorezcan el calentamiento global.
Geología	Las células fotovoltaicas se fabrican con silicio, elemento obtenido de la arena, muy abundante en la Naturaleza y del que no se requieren cantidades significativas. Por lo tanto, en la fabricación de los paneles fotovoltaicos no se producen alteraciones en las características litológicas, topográficas o estructurales del terreno.
Suelo	Durante su fabricación y cuando han sido desechados, los paneles solares pueden verter químicos tóxicos o contaminantes, sin embargo, a nivel de características físico-químicas del suelo o de erosionabilidad el impacto es bajo.
Aguas (superficiales y subterráneas)	Solo si son vertidos residuos durante su fabricación como ácido clorhídrico o fluorhídrico. Un adecuado manejo de estos químicos evitará la alteración de los acuíferos o de las aguas superficiales.
Flora y Fauna	La repercusión sobre la vegetación es nula, y, al eliminarse los tendidos eléctricos, se evitan los posibles efectos perjudiciales para las aves. Solo en instalaciones marítimas debe tenerse especial cuidado para no afectar el paso de la luz del sol a los ecosistemas circundantes.
Paisaje	Las instalaciones de grande envergadura requieren de grandes terrenos de tierra para su implementación, lo cual estéticamente no se ve muy bien. Sin embargo, son comunes las instalaciones sobre terrazas o en zonas áridas donde se minimiza este impacto. Las instalaciones propias evitan el tendido de cableado para el transporte de la electricidad.
Ruidos	El sistema fotovoltaico es absolutamente silencioso, lo que representa una clara ventaja frente a los generadores de motor en viviendas aisladas.
Medio social	La energía social tiene la gran ventaja de poder instalarse en zonas no interconectadas, donde llevar la red comercial no es posible o es muy costoso de hacer. Este tipo de instalación también se adapta a entornos que se desean conservar como por ejemplo parques naturales protegidos.

4.5.1. Fabricación de los paneles solares

Se vio en el estudio técnico que la tecnología más utilizada para la fabricación de paneles solares es la basada en silicio como componente principal, este compuesto típicamente se obtiene a partir del cuarzo que a su vez es extraído con técnicas convencionales de minería con todos los efectos nocivos que esto tiene (consecuencias a nivel pulmonar en los mineros). La siguiente imagen resume en el proceso de fabricación de un panel solar:

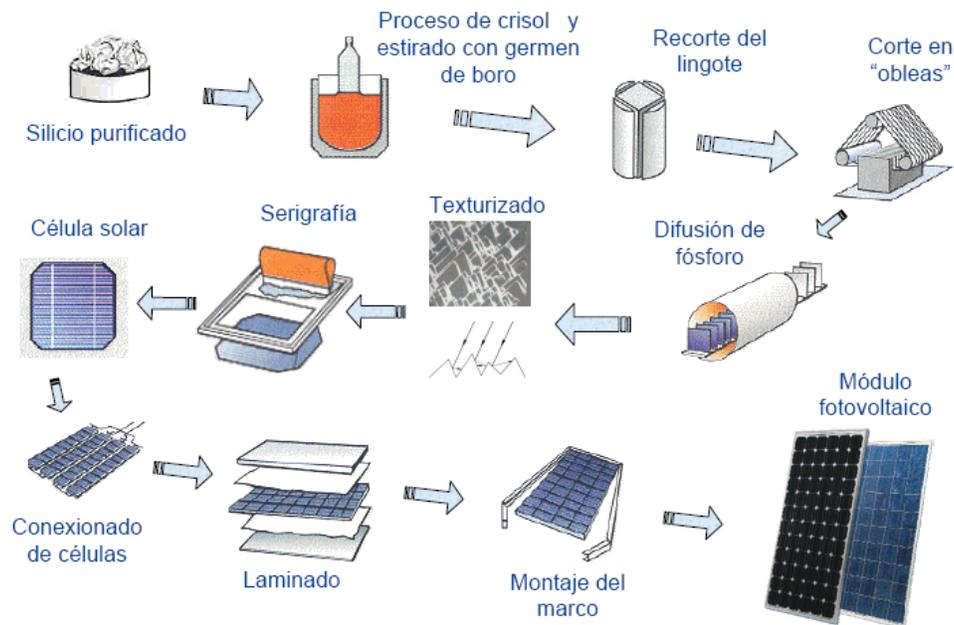


Figura 21. Proceso de fabricación de un panel solar. Fuente: <https://www.electricidad-gratuita.com/fabricacion-de-paneles-solares/>

Para la obtención del silicio en grado metalúrgico se requiere de grandes cantidades de energía pues se utilizan hornos (o crisoles) de gran tamaño. El uso de estos deja como consecuencia emisiones de dióxido de carbono y dióxido de azufre principalmente. En este paso también se usa tetracloruro de silicio, el cual es un compuesto muy tóxico.

El proceso de refinación también implica combinar ácido clorhídrico con silicio de grado metalúrgico para convertirlo en algo llamado triclorosilano. Luego, el triclorosilano reacciona con el hidrógeno agregado y produce polisilicio con tetracloruro de silicio (a medida de tres o cuatro toneladas de tetracloruro de silicio por cada tonelada de polisilicio). Capturar el silicio del compuesto de tetracloruro de silicio requiere de menos energía que obtenerlo del silicio puro, así que reciclar este residuo puede ahorrar dinero y en efecto, la

mayoría de los fabricantes terminan reciclando este residuo para hacer más polisilicio, el problema es que el equipo de reprocesamiento puede costar decenas de millones de dólares, por lo que algunas empresas simplemente desechan el subproducto. Si se expone al agua, lo que es difícil de prevenir si es casualmente vertido, el tetracloruro de silicio libera ácido clorhídrico, y esto acidifica el suelo y emite gases nocivos. (Arango, 2020)

Otro agente peligroso es el uso de ácido fluorhídrico, pues este se requiere y se utiliza para limpiar las placas, remover el daño que queda del aserrado y texturizar la superficie para recolectar mejor la luz. El ácido fluorhídrico funciona muy bien para todo esto, pero cuando entra en contacto con una persona sin protección, este líquido altamente corrosivo puede destruir el tejido y descalcificar los huesos, así que la manipulación de ácido fluorhídrico requiere de extremo cuidado y se debe desechar de manera adecuada. Sin embargo, cada vez se apunta más a usar sustancias sustitutas de menor impacto, como por ejemplo el hidróxido de sodio (NaOH), un compuesto mucho más fácil de tratar y desechar que el ácido fluorhídrico y por ende menos riesgoso para los trabajadores. Por otra parte, el agua de desecho que contenga NaOH es más sencilla de tratar. (Arango, 2020)

Dependiendo del país donde se fabriquen los paneles solares el efecto sobre el ambiente es diferente, pues la energía utilizada es función de la fuente de donde es obtenida, de modo que la fabricación de un panel solar en un país donde las principales fuentes de energía son renovables será menor que la de otro donde se utilicen más fuentes como combustibles fósiles. La siguiente figura muestra cómo fabricar un panel solar es más costoso ambientalmente que hacerlo en países desarrollados de Europa.

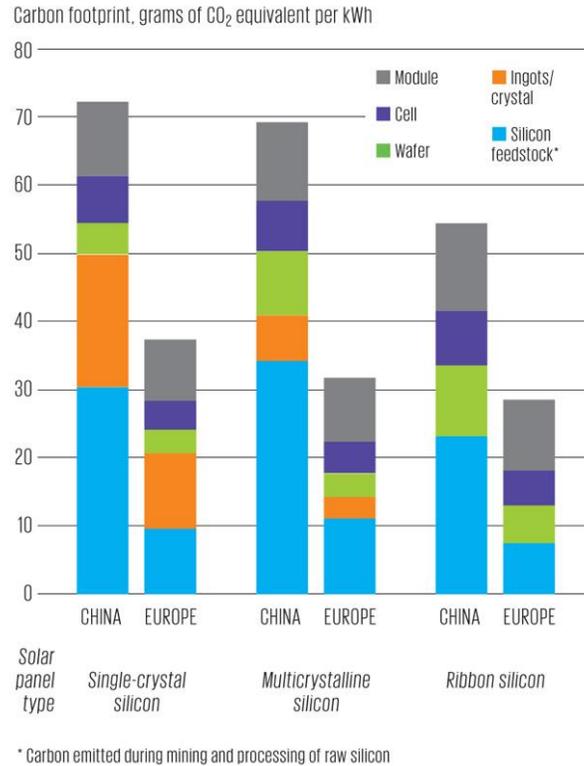


Figura 22. Huella de carbono en gramos de CO₂ por kWh debida a la producción de paneles solares en China versus países europeos. *Fuente: <https://ecosiglos.com/la-energia-solar-no-es-tan-verde-como-crees/>*

Acabamos de presentar el impacto ambiental que se tiene en cuanto a la fabricación de los paneles solares, una vez estos se implementan viene la parte positiva, la retribución al ambiente, pues es en la etapa de producción donde la cantidad de CO₂ que se deja de emitir por tener la instalación se hace significativa, tema que se verá más adelante en la cuantificación del impacto ambiental de la instalación. Finalmente, cuando la vida útil de los paneles ha terminado viene el siguiente problema, realizar una correcta disposición final.

4.5.2. Disposición final de los paneles solares

Actualmente comienza a ser un problema la gran cantidad de paneles solares que ya cumplieron su ciclo de vida y ahora se deben descartar. Los paneles tienen dentro de sí compuestos químicos que son tóxicos para las personas, como cadmio y plomo, los cuales no pueden ser removidos sin desarmar completamente el panel. Este problema afecta directamente al vidrio (cerca del 90% de un panel solar), pues no puede ser reciclado como

un vidrio convencional debido a las impurezas, que además de las ya mencionadas incluyen plástico y el antimonio.

Ya varios estudios han alertado de estos problemas, un informe de la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA, por sus siglas en inglés) estimó en 2016 que existía una cantidad cercana a 250.000 toneladas métricas de paneles solares en vertederos en todo el mundo, proyectando a la vez que esta cifra podría llegar a 78 millones de toneladas métricas para el año 2050. Por su parte, un estudio realizado por el Electric Power Research Institute (EPRI) de Estados Unidos concluyó que no se recomienda la disposición final de paneles solares en vertederos debido a la filtración de materiales tóxicos al suelo en caso de rompimiento del panel, lo cual es algo que casi en todos los casos sucederá. Por otra parte, tanto expertos de la industria como representantes de agencias gubernamentales de control reconocen que no saben con certeza cómo determinar si un panel solar es un desecho tóxico o no. (Arango, 2020)

Uno de los problemas más grandes de realizar un debido proceso de disposición final de estos dispositivos es el costo que conlleva, pues se ha estimado que en ocasiones puede llegar a ser superior al costo de elaboración del panel, razón principal por la que terminan en los vertederos de basura.

Debido a estos problemas, es común que en países europeos el gobierno impulse iniciativas de recolección y reciclaje de paneles solares, pero queda mucho por hacer, no todos los consumidores tienen acceso a un programa de reciclaje, es más, muchos de ellos ni siquiera son conscientes de que es algo que deba hacerse de una manera especial y responsable.

4.5.3. Alternativas de mejoramiento

Debido a los problemas mencionados, se han venido estudiando varias alternativas de mejora, dentro de las que se incluye la creación de paneles solares de capa delgada. Estos utilizan una cantidad de silicio mucho menor que los paneles convencionales, lo que conlleva a una menor producción de residuos contaminantes. Sumado a esto, para su fabricación ya no se requiere de ácido fluorhídrico o clorhídrico. En la actualidad, las tecnologías de capa delgada dominantes de son a base de telurio de cadmio y un competidor más reciente, seleniuro de cobre, indio y galio (CIGS). El problema aquí es uno nuevo, cada una de estas tecnologías utiliza compuestos que contienen cadmio, un metal pesado que es a la vez cancerígeno y genotóxico (lo que significa que puede causar mutaciones heredables bajo una alta

exposición). Lo anterior debe manejarse con cuidado para mitigar estos riesgos en los trabajadores de fábricas de paneles que usan esta tecnología. (Arango, 2020)

Los consumidores también juegan un papel importante, pues estos deciden a quién comprar y qué certificaciones exigir cuando se efectúa una compra. De esta manera un comprador puede exigir al fabricante entregar los documentos que certifiquen los procesos e iniciativas ambientales que están llevando a cabo durante la elaboración de los paneles para minimizar el impacto ambiental.

Desde el nivel académico e investigativo también se adelantan diferentes iniciativas para evaluar alternativas que mejoren esta situación. Existen ya centros de investigación dedicados a la tecnología fotovoltaica que ofrecen calificaciones a las empresas en cuanto a desempeño ambiental. El *Centro para la Red Internacional de Información sobre Ciencias de la Tierra* (Yale/Columbia, USA) propuso el índice de Desempeño Ambiental (método para cuantificar y clasificar numéricamente el desempeño ambiental de las políticas de un país) que operaría a nivel mundial para ayudar a los países a rastrear el progreso hacia los objetivos de política ambiental. (Arango, 2020)

Por otra parte, la *Solar Energy Industries Association* ha propuesto varias directrices para la industria encaminadas en la prevención de lesiones y enfermedades laborales, la prevención de la contaminación y la reducción de los recursos naturales utilizados en la producción de paneles solares. Además de esta, la *Coalición de Tóxicos de Silicon Valley* (que califica el desempeño ambiental de las empresas de electrónica) ha estudiado y clasificado empresas de fabricación solar establecidas o que operan en China, Alemania, Malasia, Filipinas y Estados Unidos. (Arango, 2020)

4.5.4. **Cuantificación**

Como se mencionó, producir paneles solares requiere de grandes cantidades de energía, por fortuna, luego en su etapa productiva esta se compensa en cerca de 2 años (la vida útil de un panel es de 25 años) dejando de esta manera muchos años más que pueden ser evaluados directamente como ahorros de emisión de contaminantes. Es decir, para conocer cuáles son los beneficios ambientales por una instalación solar debemos descontar la contaminación asociada a los procesos de fabricación y luego los generados por la disposición final de los paneles. Para poder realizar esto, le damos a la energía un valor de Intensidad de Carbono (generalmente representado como kilogramos de CO₂ emitidos por kilovatio-hora generado).

De esta manera los países con mayor dependencia de fuentes fósiles de energía tendrán una mayor cantidad de intensidad eléctrica en carbono. Grandes países como China tienen por ejemplo una intensidad de carbono en electricidad bastante superior a los principales países europeos (al utilizar más centrales térmicas para generar energía y que se mostró en la figura 22). (Arango, 2020)

La Coalición de Tóxicos de Silicon Valley evalúa a los fabricantes de paneles solares en un rango de criterios ambientales y de seguridad de los trabajadores. La figura 22 muestra las 10 primeras compañías de 40 evaluadas en cuanto a desempeño ambiental:

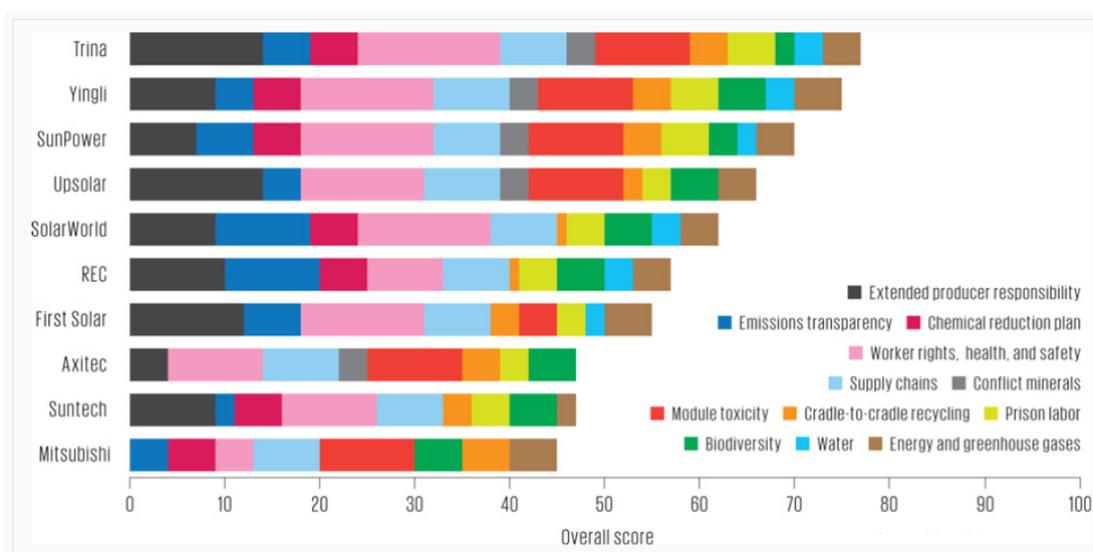


Figura 23. Desempeño ambiental de fabricantes de tecnología solar.

Se tuvo en cuenta la información suministrada por los estudios de *La Coalición de Tóxicos de Silicon Valley* para la selección del panel solar, sin embargo, de las marcas mejor puntuadas por el estudio no se encontró un panel que tuviera toda la información técnica requerida disponible (el método de cálculo por diseño de corriente requiere de datos muy específicos que para este caso deberían solicitarse al fabricante), ya que muchos fabricantes no hacen pública esta información y solo muestran brochures generales. Pero se recomienda para la etapa de factibilidad del proyecto adelantar el análisis con un panel solar de alguna de estas marcas, ya que técnicamente los peneles del mercado son similares. Se elige una marca de gran reconocimiento a nivel mundial de la cual si fue posible obtener la información técnica requerida.

Para evaluar el impacto ambiental de un proyecto es posible hacerlo mediante indicadores de sostenibilidad ambiental los cuales permiten evaluar las incidencias de los procesos de producción sobre el medio ambiente. Estos indicadores pueden darse de manera cualitativa y cuantitativa, dependerá de la manera en que son medidos y apreciados. Dentro de los indicadores más conocidos se encuentran:

- Índice de bienestar económico sostenible (IBES).
- Índice de desarrollo humano (IDH).
- Índice de sostenibilidad ambiental (ISA)
- Índice de desempeño ambiental (EPI).
- Índice global de economía verde (GGEI).
- Huella ecológica (HE).
- Índice de planeta vivo (LPI).
- Huella de carbono.
- Huella hídrica

De estos, se describirán los índices de sostenibilidad ambiental, huella de carbono y huella ecológica, ya que son los que usaremos para evaluar el impacto ambiental del proyecto.

Índice de Sostenibilidad Ambiental (ISA) es un indicador indexado, que combina 22 parámetros medioambientales como la calidad del aire, la reducción de desechos la protección de bienes comunes internacionales entre otros. El ISA mide cinco puntos centrales:

- 1- El estado de los sistemas medioambientales
- 2- El éxito obtenido en la tarea de reducir los principales problemas en los sistemas ambientales.
- 3- Los progresos en la protección de sus ciudadanos por eventuales daños medio ambientales.
- 4- La capacidad social e institucional de cada nación tenga para tomar acciones relativas al medio ambiente.
- 5- Nivel de administración que posea cada país.

Huella ecológica (HE)

Este indicador evalúa el impacto ambiental que genera la demanda de recursos naturales por parte del ser humano para satisfacer sus necesidades.

Huella de carbono

La huella de carbono indica la cantidad de gases de efecto invernadero que una persona, empresa, industria o ciudad, produce de forma directa o indirecta. Para ello es necesario hacer un inventario de emisiones, definiendo los alcances:

Alcance 1: en este alcance se valoran las emisiones directas ya que está ligado al consumo directo de energía primaria, aquella usada para distribución.

Alcance 2: en este entrarían las emisiones indirectas, aquellas emisiones generadas por un consumo indirecto de la energía, la electricidad para tener enchufadas las máquinas expendedoras y además para el vaso reutilizable, la energía que consume la tienda mientras está abierta.

Alcance 3: en este alcance entran las emisiones que proceden de la energía inyectada para el proceso productivo.

4.6. Evaluación financiera

En términos generales una evaluación financiera tiene como objeto es ordenar, coordinar, definir y clasificar la información de tipo monetario que proporcionaron los anteriores estudios, esto con el fin de establecer las características financieras para evaluar el proyecto. Sirve también para medir la rentabilidad que retorna a la inversión. Se determinan los datos monetarios sobre inversiones, ingresos de operación, costos de operación y valor residual principalmente. El estudio ayuda a diferenciar entre alternativas para recomendar la aprobación o rechazo del proyecto.

4.6.1. Definiciones

Antes de mostrar la evaluación del proyecto como tal, es importante mencionar algunos conceptos claves dentro de cualquier evaluación financiera, que se presentan a continuación:

4.6.1.1. Tasa Interna de Retorno (TIR)

Representa la tasa de descuento que hace que el Valor Actual Neto (VAN) de una inversión sea igual a cero. (VAN. =0).

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

Donde,

- F_n = Flujos de dinero en cada periodo n
- i = Inversión que se realiza en el momento inicial (t = 0)
- n = Número de periodos de tiempo

Este método considera que una inversión es aconsejable si la TIR resultante es igual o superior a la tasa exigida por el inversor, y entre varias alternativas, la más conveniente será aquella que ofrezca una TIR mayor.

Cuando la TIR es igual a la tasa de interés, el inversionista es indiferente entre realizar la inversión o no.

- TIR > TIO => realizar el proyecto
- TIR < TIO => no realizar el proyecto
- TIR = TIO => el inversionista es indiferente entre realizar el proyecto o no.

4.6.1.2. Tasa Interna de Retorno Modificada (TIRM)

En el caso en el cual el en el flujo de caja hay más de un cambio de signo, y por ende, poseen más de un TIR se recurre a utilizar la tasa interna de retorno modificada

La tasa de rendimiento interno modificada considera que:

- 1) Los flujos positivos de cada periodo se capitalizan a la fecha final del proyecto a un tipo de interés equivalente a la tasa de actualización. Está asumiendo que los flujos positivos se reinvierten a una tasa equivalente al coste de oportunidad y generan riqueza que se evalúa al final de la vida del proyecto.
- 2) Los flujos negativos de cada periodo se descuentan a la fecha inicial del proyecto a un tipo de interés equivalente a la tasa de interés sin riesgo. Los flujos negativos hay que financiarlos y como tales forman parte del desembolso a realizar para la realización del proyecto.

4.6.1.3. Valor Presente Neto (VPN)

El VPN es el resultado de expresar en valores actuales la diferencia de todos los flujos de ingresos o de ingresos relacionados con un proyecto. Desde el punto de vista de la gestión financiera basada en el valor agregado o de maximización de la riqueza del propietario, se puede expresar el VPN como el cambio estimado en el valor de la firma que se presentaría si se acepta un proyecto.

Las modificaciones en el valor de la firma que se presentaría si se acepta un proyecto. Las modificaciones en el valor de una empresa pueden tener un resultado positivo, negativo o nulo, dependiendo de la tasa de interés utilizado para descontar los flujos de caja del proyecto.

Lo anterior implica las siguientes situaciones:

- 1- $VPN > 0$ entonces el valor de la firma se incrementa al implementar el proyecto. El rendimiento estimado del nuevo proyecto supera la tasa de retorno requerida por la empresa y el proyecto puede ser aceptado.
- 2- $VPN = 0$ entonces el valor de la empresa no se modifica al adaptar el nuevo proyecto, pues este genera exactamente la tasa de retorno requerida por la empresa. Es indiferente realizar o no el proyecto.
- 3- $VPN < 0$ entonces el valor de la organización se disminuye al realizar el nuevo proyecto. El retorno estimado del nuevo proyecto es menor que el requerido por la firma. El proyecto debe ser rechazado.

Para calcular el VPN de un proyecto se suma el valor presente de los flujos de caja (FC) proyectados y luego se resta el monto de la inversión expresada en los mismos términos de valor presente. El resultado es una cifra expresada en la divisa utilizada que muestra el cambio en el valor de la empresa si se realiza el proyecto. La fórmula del VPN es la siguiente ecuación:

$$\text{VPN} = \frac{FC_1}{(1+i)^1} + \frac{FC_2}{(1+i)^2} \dots + \frac{FC_n}{(1+i)^n} - \text{VP de la inversión inicial}$$

Donde:

FC = Flujo de caja en los momentos indicados

I = Tasa de descuento de los FC equivalente a la tasa de retorno requerida por el proyecto.

n = Vida del proyecto expresada según el número de períodos.

El VPN es uno de los métodos más utilizados para evaluar proyectos de inversión.

4.6.1.4. Relación Beneficio – Costo

Este es un criterio para la toma de decisiones de proyectos de inversión en el que se comparan los beneficios o ingresos de un proyecto con los costos del mismo a valor presente. En este caso lo primero que se debe hacer es traer a valor presente todos los ingresos del proyecto. A continuación, se obtiene el valor presente de todos los costos del proyecto, incluyendo la inversión inicial. Por último, se divide el valor presente de los beneficios o ingresos entre el valor presente de los costos del proyecto:

$$\text{Relacion Beneficio – Costo} = \frac{\text{Valor Presente Ingresos}_{(i)}}{\text{Valor Presente Costos}_{(i)}}$$

Criterios de decisión:

- Si el resultado de esta relación es mayor que uno (1) vale la pena llevar a cabo el proyecto.

- Si el resultado de esta relación es igual a uno (1) es indiferente si se realiza o no el proyecto. No significa que no hay beneficios, sino que estos apenas alcanzan a compensar el costo de oportunidad de las alternativas de inversión.
- Si el resultado de esta relación es menor que uno (1) los costos son mayores a los ingresos y por lo tanto es preferible no realizar el proyecto.

4.6.1.5. Costo medio ponderado de capital WACC

Corresponde a la tasa de descuento utilizada para descontar los flujos de caja futuros a la hora de valorar un proyecto de inversión. El cálculo de esta tasa es interesante valorarlo o puede ser útil teniendo en cuenta tres enfoques distintos: 1) como activo de la compañía: es la tasa que se debe usar para descontar el flujo de caja esperado; 2) desde el pasivo: el costo económico para la compañía de atraer capital al sector; y 3) como inversores: el retorno que estos esperan, al invertir en deuda o patrimonio neto de la compañía. Como su nombre indica, el WACC pondera los costos de cada una de las fuentes de capital, independientemente de que estas sean propias o de terceros. Es preciso tener presente que si el WACC es inferior a la rentabilidad sobre el capital invertido se habrá generado un valor económico agregado (EVA) para los accionistas. Para su cálculo se tiene en cuenta la siguiente ecuación:

$$WACC = \frac{\text{Pasivos}}{\text{Activos}} * Kd * (1 - t) + \frac{\text{Patrimonio}}{\text{Activos}} * Ke$$

Donde:

Kd = Costo de la deuda.

t = Tasa de impuesto de renta

Ke = Rentabilidad mínima esperada por el inversionista.

4.7. Estudio de riesgos

Todos los proyectos son riesgosos. Los riesgos son eventos que afectan de alguna manera los resultados o los objetivos esperados del proyecto. Realizar una correcta identificación y un análisis adecuado de los riesgos previo a la implementación del proyecto, ayudará en la toma de decisiones con el fin de evitar, mitigar o en algunos casos aceptar el riesgo (si tiene un impacto menor o si se puede aceptar mitigándolo). No realizar una adecuada gestión de los riesgos puede hacer que el proyecto se desvíe de sus objetivos llegando incluso a condenarlo al fracaso por esto mismo. De esta manera el principal objetivo de la gestión de los riesgos del proyecto consiste en aumentar la probabilidad y el impacto de los eventos positivos, y disminuir la probabilidad y el impacto de los eventos negativos en el proyecto, es decir, tratándolos no solo como amenazas, sino también como oportunidades. Dentro del plan de gestión de riesgos debe incluirse la identificación, análisis y plan de respuesta a los mismos.

4.7.1. *Análisis cualitativo*

El análisis cualitativo evalúa la prioridad de los riesgos individuales del proyecto que hayan sido identificados usando su probabilidad de ocurrencia, el correspondiente impacto en los objetivos del proyecto si se produce el riesgo y otros factores. Para hacer un correcto análisis cualitativo es conveniente realizar una matriz de Probabilidad e Impacto, esta contempla una escala de evaluación que puede tener varios niveles de clasificación. Se contempla también el rango de probabilidad para cada nivel de riesgo, así como el impacto en términos de tiempo, costo y calidad sobre el proyecto. Para nuestro caso, proponemos la siguiente tabla de definiciones para probabilidad e impacto.

4.7.2. *Análisis cuantitativo*

De acuerdo al PMBOK, el análisis cuantitativo de los riesgos es el proceso de analizar numéricamente el efecto combinado de los riesgos individuales del proyecto identificados y otras fuentes de incertidumbre sobre los objetivos generales del proyecto. El beneficio clave de este proceso es que cuantifica la exposición al riesgo del proyecto en general, y también puede proporcionar información cuantitativa adicional sobre los riesgos para apoyar la planificación de la respuesta a los riesgos. Este tipo de análisis implica el uso de herramientas y métodos matemáticos para realizarlo, dentro de estos son conocidos los análisis de sensibilidad que incluyen el análisis de tornado y de telaraña o la simulación Monte Carlo. Para nuestro caso realizaremos un análisis de sensibilidad por medio del análisis de tornado y de telaraña el cuál se presentan a continuación.

4.7.2.1. Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad ayuda a determinar los riesgos individuales del proyecto u otras fuentes de incertidumbre que tienen el impacto con mayor potencial sobre los resultados del proyecto. Correlaciona las variaciones en los resultados del proyecto con las variaciones en los elementos del modelo de análisis cuantitativo de riesgos. El VPN es el método más comúnmente usado para la evaluación de proyectos, mide la rentabilidad deseada después de recuperar toda la inversión y se adopta como el criterio fundamental para la toma de decisiones en el contexto financiero ya que al obtener resultado positivo en este método se aceptaría el proyecto.

5. METODOLOGÍA

Esta monografía realiza la evaluación a nivel de prefactibilidad del proyecto, es decir, determina si es recomendable o no realizar la inversión en el mismo. Para conseguir esto, se llevó a cabo un método propio de evaluación de proyectos de inversión que consiste en realizar una sucesión de estudios con el fin de reducir el grado de incertidumbre en la decisión a tomar. Los estudios adelantados comprenden el estudio del entorno, de mercado, legal, técnico, organizacional, ambiental, de riesgos y por supuesto el financiero. En cada uno de ellos se desarrollaron elementos que ayudaron a tomar la decisión de continuar con la siguiente fase o de desistir del proyecto.

La información utilizada dentro de este documento se obtuvo de diferentes fuentes: información suministrada por la compañía, bibliografía especializada, atlas solares de la web, documentación, software y conocimiento adquirido durante el curso de la especialización, así como los lineamientos exigidos por la Universidad para la presentación de la monografía.

5.1. Recursos y materiales

Para garantizar que la etapa de prefactibilidad del proyecto sea exitosa, se deben garantizar todos los recursos y materiales necesarios para conseguirlo, los cuales se resumen a continuación:

Tabla 4. Recursos y materiales requeridos para el proyecto

Tipo	Recurso	Cantidad	Monto total
Fisico	Laptop	2	\$ 3,000,000
Material	Licencia software Excel	2	\$ 300,000
Material	Licencia software MS Project	1	\$ 1,500,000
Material	Servicio de Dron para tomas aéreas de la infraestructura	1	\$ 1,000,000
Material	Servicio de plotter para impresión de planos	1	\$ 300,000
Material	Bibliografía especializada	1	\$ 300,000
Material	Mapas oficiales de radiación solar	1	\$ 300,000
Humano	Ingeniero especialista en evaluación de proyectos	2	\$ 10,000,000
Humano	100 Horas de contador	1	\$ 1,500,000
Humano	50 Horas de ingeniero ambiental	1	\$ 2,000,000

5.2. Diseño y dimensionamiento de la instalación

Este capítulo tiene la finalidad de obtener el tamaño requerido para la instalación, es decir, la potencia nominal que deberá instalarse y los recursos necesarios para conseguirlo, como la cantidad de paneles solares y el área disponible requerida para la instalación.

5.2.1. Localización

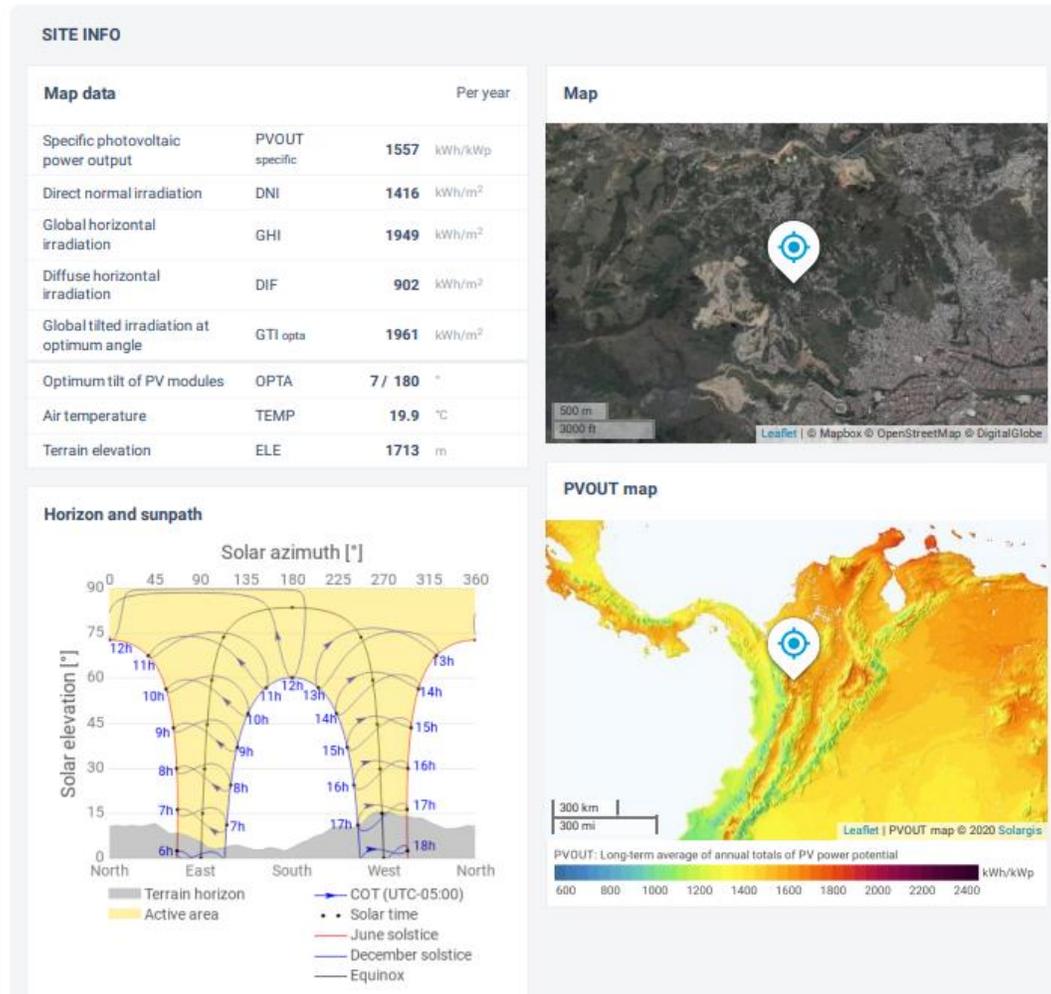
La IPS sobre la cual se hará la evaluación está ubicada en la ciudad de Medellín, ciudad colombiana perteneciente al departamento de Antioquia. La IPS cuenta con una terraza con suficiente espacio para la instalación y a sus alrededores no hay artefactos o elementos que generen efecto de sombra, por tanto, se considera un espacio adecuado para la instalación de sistemas solares FV. Por medio del GLOBAL SOLAR ATLAS² es posible conocer el potencial solar de este lugar, información que se resume en la siguiente figura.

² <https://globalsolaratlas.info/map>

Medellín

06°15'53", -75°37'40"
 Medellín, Antioquia, Colombia
 Time zone: UTC-05, America/Bogota [COT]

🕒 Report generated: 25 Jul 2020



5.2.2. Dimensionamiento de la instalación

De la figura anterior se evidencia un valor de irradiación global horizontal de 1949 kWh/m² y se muestra que el valor óptimo de la ubicación de los paneles solares debe ser a 7° con lo cual se obtiene una irradiación de 1962 kWh/m². El GLOBAL SOLAR ATLAS también arroja el promedio mensual de radiación, el cual se muestra a continuación:



El mes con menor radiación directa corresponde a abril con 3612Wh/m² que corresponde al peor de los casos y sería el mes crítico de la instalación, de modo que al garantizar la generación de energía para dicho mes estará garantizada la de todos los demás. El valor de radiación promedio mensual es de 4327,6 Wh/m² (4,33Wh/m²).

5.2.3. Demanda de energía eléctrica en la IPS

El consumo de energía de la sede correspondiente al último año fue de 2'000.000 kWh/año, del cual se tiene como objetivo cubrir el 15% de lo consumido por iluminación. Como se indicó, la iluminación para el sector terciario en Colombia se estima en el 26% del total de energía consumida, por tanto, debemos diseñar un sistema capaz de producir 78.000 kWh/año (3.9% del total del consumo de la sede), siendo equivalente a 216.666,7Wh. Todas las luminarias de la sede están alimentadas a 120V, por tanto, es posible obtener una corriente de consumo de 1805.5Ah (216.666,7Wh /120V). Con este dato es posible usar el método de la demanda de corriente para dimensionar la instalación.

5.2.4. Selección y dimensionamiento del panel solar

Dependiendo de la tecnología de fabricación del módulo solar, existen diferentes tipos de paneles solares, los más utilizados son los paneles monocristalinos y los policristalinos. Escoger entre uno u otro dependerá del tipo de instalación y el lugar donde se va a llevar a cabo. Generalmente es más recomendada la instalación de paneles solares monocristalinos

en climas fríos con tendencias a tormentas o niebla, ya que este tipo de paneles tienden a absorber mejor la radiación y soportan menos el sobrecalentamiento, por su lado, los paneles policristalinos tienen un mejor desempeño en climas cálidos, ya que tienen la capacidad de absorber el calor a una mayor velocidad y se ven menos afectados por el fenómeno del sobrecalentamiento. Adicional a esto, es importante tener en cuenta que los paneles monocristalinos son más costosos de adquirir, aunque un poco más eficientes que los paneles policristalinos. Teniendo en cuenta las condiciones climáticas de Medellín se elegirán para este proyecto paneles policristalinos.

Para el dimensionado del generador FV, se partirá de la corriente de consumo diaria, de modo que cubra la demanda energética (E) a partir del cálculo de consumo, teniendo en cuenta la insolación, la corrección de la inclinación y todas las pérdidas en el sistema. De esta manera el valor de corriente mínimo a generar por parte del generador FV es como sigue:

$$I_{\min} = I_{\text{diseño}} / [(GT/GN) * \eta_{\text{sis}}]$$

Donde,

(1) I_{\min} [A] = Valor mínimo de corriente que debe entregar el generador FV.

(2) $I_{\text{diseño}} = I_{\text{cc}} + (I_{\text{CA}} / \eta_{\text{inv}}) * (V_{\text{CA}} / V_{\text{CC}})$.

- I_{CC} = Corriente de consumo diaria [Ah] de los equipos en DC. Si no hay cargas en DC, será igual a cero.
- I_{CA} = Corriente de consumo diario [Ah] de los equipos en AC.
- η_{inv} = Eficiencia del inversor (~ 90%)
- V_{CA} = Tensión de alimentación de los equipos en AC.
- V_{CC} = Tensión de entrada del inversor o nivel de tensión del banco de baterías.
- GT = Radiación sobre la superficie inclinada para el mes crítico de referencia [Wh/m²]
- GN = Radiación máxima sobre la superficie del panel FV (siempre es 1000W/m²)
- η_{sis} = Eficiencia del sistema en general (excepto el inversor que ya se tuvo en cuenta).

Todas las luminarias están conectadas a la red en AC (por tanto $I_{\text{cc}} = 0$). Se usa una eficiencia típica para el inversor del 93%, de modo que puede hallarse la corriente de diseño como sigue:

$$\text{De (2) } I_{\text{diseño}} = 0 + (1805,5\text{Ah}/0,93) * (120\text{VAC}/24\text{VDC}) = \mathbf{9706\text{Ah}}$$

La eficiencia del sistema está dada por la multiplicación de las eficiencias de los diferentes componentes del sistema menos el inversor pues ya se tuvo en cuenta en el paso anterior. Se toma como referencia un valor típico del 74% de eficiencia del sistema. El valor de radiación (G_n) para la indicación de potencia nominal de los módulos FV es siempre $1000\text{W}/\text{m}^2$ ($1\text{kW}/\text{m}^2$). Vimos que el valor de radiación promedio mensual G_t es de $3,95\text{kWh}/\text{m}^2$, de modo que es posible calcular la corriente mínima del sistema con la ecuación (1):

$$\text{De (1) } I_{\text{min}} = 9706\text{Ah} / [(4.33\text{kWh}/\text{m}^2 / 1\text{kWh}/\text{m}^2) * 0.74] = 3029,14\text{A}$$

Con los datos obtenidos es posible calcular la potencia nominal de la instalación, teniendo en cuenta que se debe garantizar la tensión mínima de las baterías de los componentes del sistema, que para el caso de 24VDC corresponde a 28,8VDC, de esta manera podemos calcular:

$$P_{\text{nom}} = V_{\text{sal}} * I_{\text{min}} = 28,8\text{VDC} * 3029,14\text{A} = 87.239,2\text{Wp} = 87,2 \text{ kWp}$$

Para esta instalación se elige el panel solar Atersa A285P³ a 24VDC del cual se presentan sus principales características eléctricas a continuación:



A-xxxxP GS (ES) (xxx = potencia nominal)				
Características eléctricas	A-270P GS	A-275P GS	A-280P GS	A-285P GS
Potencia Máxima (Pmax) (0; 3%)	270 W	275 W	280 W	285 W
Tensión Máxima Potencia (Vmp)	31.80 V	32.00 V	32.20 V	32.40 V
Corriente Máxima Potencia (Imp)	8.50 A	8.60 A	8.70 A	8.80 A
Tensión de Circuito Abierto (Voc)	37.40 V	37.60 V	37.80 V	38.00 V
Corriente en Cortocircuito (Isc)	9.14 A	9.25 A	9.36 A	9.47 A
Eficiencia del Módulo (%)	16.60	16.90	17.21	17.52
Tolerancia de Potencia (W)				0/+5
Máxima Serie de Fusibles (A)				15
Máxima Tensión del Sistema (IEC)				DC 1000 V
Temperatura de Funcionamiento Normal de la Célula (°C)				45±2

Como hallamos una potencia nominal para la instalación de $87.239,2\text{Wp}$ entonces requerimos $87.239,2/285 = 306,1$ paneles solares, es decir 307 paneles. Anteriormente prefijamos nuestro voltaje continuo en 24V, por tanto, al dividir este valor entre el valor de tensión MPP del módulo es posible obtener la cantidad de paneles en serie que requerimos para la instalación:

$$N_{\text{serie}} = 24\text{V}/37,4 = 0,64$$

³ [http://www.atersa.com/Common/pdf/atersa/manuales-usuario/modulos-fotovoltaicos/MU-6P-6x10-GS-\(ES\)-\(1\)-D.pdf](http://www.atersa.com/Common/pdf/atersa/manuales-usuario/modulos-fotovoltaicos/MU-6P-6x10-GS-(ES)-(1)-D.pdf)

Como este valor es menor a 1 quiere decir que todos los paneles irán en paralelo. De este modo las prestaciones obtenidas para la instalación se resumen de la siguiente manera:

$$\text{Pot} = 307 * 285 \text{ Wp} = 87495 \text{ Wp} > 87239,2 \text{ Wp}$$

$$\text{Tensión MPP} = 32,4 \text{ V} > 28,8 \text{ V}$$

$$\text{Corriente MPP} = 307 * 8,8 \text{ A} = 2701,6 \text{ A} < 3029,14 \text{ A}$$

Vemos que nuestro diseño cumple con los parámetros de potencia y tensión, pero no con el de corriente, es por esto que se debe sobredimensionar el sistema para cumplir con este parámetro; este sobredimensionamiento no debería exceder el 15% para que la instalación siga siendo viable. Con un sobredimensionamiento del 13% es posible obtener la corriente de diseño, veamos:

$$307 * 1,13 = 346,9 = 347 \text{ paneles}$$

Con esta nueva cantidad de paneles solares volvemos a calcular las prestaciones que tendríamos con la instalación:

$$\text{Pot} = 347 * 285 \text{ Wp} = 98895 \text{ Wp} > 87239,2 \text{ Wp}$$

$$\text{Tensión MPP} = 32,4 \text{ V} > 28,8 \text{ V}$$

$$\text{Corriente MPP} = 347 * 8,8 \text{ A} = 3053,6 \text{ A} > 3029,14 \text{ A}$$

De esta manera podemos estimar también el área de la instalación:

$$A = \text{Pins} / (n * 1000 \text{ W/m}^2)$$

Donde Pins corresponde a potencia nominal de la instalación y n es la eficiencia del módulo solar a utilizar. De esta manera tenemos que:

$$A = 98895 \text{ Wp} / (0,1752 * 1000 \text{ W/m}^2) = 564,5 \text{ m}^2$$

De esta manera, es posible resumir el tamaño del proyecto, es decir, la capacidad de generación que se debe instalar para cumplir los objetivos propuestos:

Ítem	Valor calculado
Potencia nominal	98,9KWp
Cantidad de paneles solares	347
Área requerida	564,5m ²

En cuanto a la cantidad y tipo de luminarias LED, estas fueron cotizadas por un proveedor externo y se resumen a continuación:

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad
1	SUMINISTRO Y MANO DE OBRA PARA LA INSTALACIÓN DE:		
1.1	 Tubo LED T8 17W para reemplazar en luminarias 2X32	UN	112
1.2	 Tubo LED T8 17W para reemplazar en luminarias 4X32	UN	276
1.3	 Tubo LED T5 27W para reemplazar en luminarias 2X54	UN	92
1.4	Balasto Ftl 2X28W	UN	46
1.5	 Tubo LED T8 27W para reemplazar en luminarias Hermética 2X32	UN	18
1.6	 Tubo LED T5 27W para reemplazar en luminarias Hermética 2X54	UN	4
1.7	Balasto Ftl 2X28W	UN	2
1.8	 Bala LED 30W para reemplazar bala FTL 2X32W	UN	448
1.9	 Panel LED 60X60 34W para reemplazar panel fti 60X60 4X18W T8	UN	24
1.10	 Panel LED 60X60 34W para reemplazar panel fti 60X60 4X24W T5	UN	10
1.11	 Luminaria de emergencia LED 2X1,5W para reemplazar halógeno	UN	30
1.12	 Panel LED 60X120 para reemplazar 60X120 4X32W T8	UN	132
1.13	 Bombillo y socket E27 LED PAR 38 17W para reemplazar bombilla en bala de piso FTL P38	UN	3
1.14	 Bombillo LED 7W para reemplazar bombillo FTL 15W	UN	3
1.15	 Bombillo LED 12W para reemplazar bombillo FTL 25W	UN	10

Figura 24. Cantidad y tipo de luminarias requeridas para el proyecto.

El costo de la cotización presentada es de \$179'000.000. Una vez el proyecto haya sido implementado los costos asociados a su administración no son representativos para la sede donde se realizaría la instalación, ya que estos sistemas requieren de poco mantenimiento (1 o 2 veces al año) con muy bajo costo. La vigilancia se la instalación se realiza con el personal que ya tiene la sede al igual que la gestión de su mantenimiento. Por esta razón esta instalación no supone que la sede contrate personal dedicado a su administración y de esta manera podemos descartarlo, si se tiene en cuenta en la evaluación financiera los costos anuales asociados al mantenimiento.

5.3. Organigrama y horizonte de planificación

Dimensionados tanto el sistema de energía solar y la cantidad de luminarias LED requeridas para la implementación del proyecto, se hace necesario establecer la estructura administrativa y técnica de las personas que estarán involucradas dentro del proyecto, conocer sus funciones

y si se requiere de personal especializado para la ejecución. Esto juega un papel fundamental para que el proyecto sea realizado de manera eficaz por medio de un óptimo desempeño.

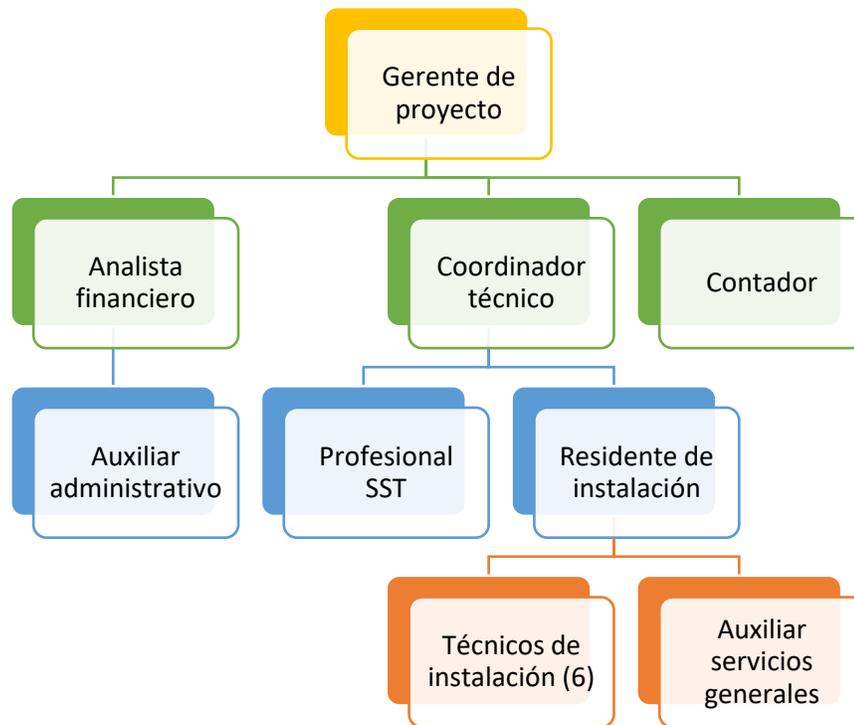


Figura 25. Organigrama del proyecto.

Para el proyecto se contempló un horizonte de planificación de 10 años, teniendo en cuenta la vida útil del activo de mayor valor que en este caso son los paneles solares y temas asociados a obsolescencia tecnológica. Si bien estos pueden tener una etapa productiva de 25 años, es una tecnología que tiene una proyección de crecimiento en términos de eficiencia y desarrollo por los siguientes 30 años, por lo que se espera que dentro de 10 años los paneles comprados hoy ya sean obsoletos comparados con los de nueva tecnología para ese momento. Este horizonte será tenido en cuenta para la evaluación financiera y ambiental que veremos más adelante.

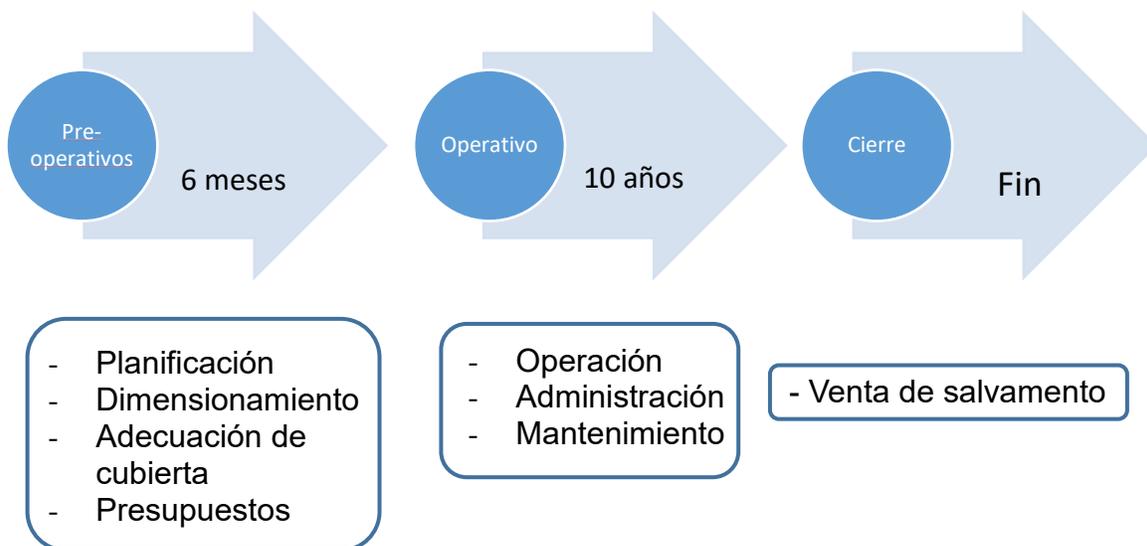


Figura 26. Horizonte de planificación del proyecto

5.4. Evaluación financiera del proyecto

Como se mencionó al comienzo de este capítulo, para realizar la evaluación se tiene en cuenta la información recolectada en los estudios anteriores. En nuestro caso debíamos comparar entre 2 posibles alternativas de inversión: por un lado una inversión asumida completamente por la empresa (con fondos propios y un crédito de tasa preferencial) y otra opción a través de un modelo PPA donde por medio de un contrato un tercero realiza la instalación y vende la energía a un valor pactado con la compañía. Inicialmente se realizará el procedimiento de la inversión extra (con o sin proyecto) para determinar cuál de las alternativas es la más conveniente. Ya con la mejor alternativa seleccionada procedemos a definir los datos de partida para poder realizar el flujo de caja tanto del proyecto como del inversionista, así como el estado de resultados del proyecto. Finalmente se mostrarán las métricas financieras halladas que ayudarán a tomar la decisión de invertir o no en el proyecto (o más claramente de seguir a la siguiente fase del mismo, ya que este es un nivel de prefactibilidad).

5.4.1. *Supuestos y datos de entrada*

Para realizar la evaluación financiera es necesario realizar algunos supuestos tomados de bases de datos, de proyecciones por parte de entes gubernamentales o del sector privado, de información histórica relacionada, de información suministrada por la compañía y de la información encontrada en la bibliografía. A continuación, se resumen los supuestos más importantes que fueron tenidos en cuenta para este proyecto:

- Aumento anual de la inflación del 3%. Basado en el comportamiento de los últimos años donde se evidencia una tendencia a la baja. Algunas proyecciones recientes la ubican en el 2% pero se optó por un valor más conservador teniendo en cuenta la incertidumbre asociada a la coyuntura del Covid 19.
- El costo del kW/h se fija con base en los costos EPM y se incrementa anualmente con el aumento promedio de los últimos 5 años (cercano al 3% anual).
- Se tiene en consideración la pérdida de eficiencia de la instalación solar en el tiempo de un 0,5% anual (típico para este tipo de instalaciones).
- El costo de capital fue suministrado por la compañía. Este valor fue comparado con información del sector. Betas fueron tomadas del sector de la energía y bancos de Damodaran, ajustados a la estructura de capital de la compañía.
- Se tiene en cuenta un valor de salvamento de la instalación al final de la evaluación del proyecto por su valor en libros.
- El costo de la deuda se da por una línea verde particularmente baja por tratarse de un proyecto de energías renovables no convencionales. Tasa del 10%.
- Se plantea un endeudamiento del 50% que será financiado a 3 años.

La siguiente tabla resume los datos de partida para la evaluación financiera.

Tabla 5. Principales datos de entrada para la evaluación financiera del proyecto

DATOS GENERALES	
Inflación [%]	3,00%
Potencia ISFV instalada [kWh/año]	98900
Pérdida de eficiencia paneles [%]	0,50%
Valor kWh EPM	450
Valor kWh PPA	385
Consumo energía actual [kWh/año]	316500

En cuanto a los costos de la instalación, estos son resumidos en la tabla 5.

Tabla 6. Costos principales instalación solar, modelo PPA y luminarias LED.

TIPO	ÍTEM	INVERSIÓN	
INSTALACIÓN SOLAR	Paneles, inversores y otros	\$ 256.000.000	
	Mano de obra	\$ 64.000.000	
	Adecuación de la cubierta	\$ 20.000.000	
			\$ 340.000.000
MODELO PPA	Materiales	\$ 60.000.000	
	Mano de obra	\$ 64.000.000	
	Adecuación de la cubierta	\$ 20.000.000	
			\$ 144.000.000
LUMINARIAS LED	Luminarias + instalación		\$ 179.000.000

El proyecto se compone de 2 intervenciones, la instalación solar por un lado y la renovación de luminarias por tecnología LED por el otro. Para la instalación solar se consideran en principio 2 opciones: 1) realizar toda la instalación de manera directa, es decir, la compañía asume la adecuación de la terraza, la compra de materiales y equipos requeridos para la instalación y por último gestiona la instalación con el proveedor de su elección. 2) La instalación se realiza a través de un modelo de PPA (Power Purchase Agreement) el cual es un contrato de compra de energía que se realiza con un proveedor tercero quien se encarga de realizar la instalación (asumiendo todos los materiales necesarios) mientras que la compañía solo se encargaría de la adecuación de la terraza y de algunos otros acondicionamientos previos para la instalación de los paneles solares y demás componentes. Para determinar cuál de las 2 opciones es mejor financieramente se utiliza el procedimiento de la inversión extra, llamado también análisis incremental o “con” y “sin” proyecto.

5.4.2. Análisis incremental (“con” y “sin” proyecto)

Este tipo de análisis es útil cuando se desean comparar 2 alternativas de diferentes proyectos, para realizarlo se deben restar los flujos de caja (al de mayor inversión se resta el de menor inversión) de los proyectos. A esta diferencia luego habrá que calcularle el VPN y si este es positivo y mayor que cero quiere decir que la alternativa de mayor inversión (inversión extra) es en efecto mejor que la otra alternativa. La siguiente tabla resume los flujos de caja de las diferentes alternativas y se presenta el cálculo del VPN en las 2 opciones propuestas.

Tabla 7. Evaluación del modelo PPA y la instalación directa por parte de la compañía a través del procedimiento de la inversión extra.

Periodo	ALTERNATIVA 1 (SIN PROYECTO)			ALTERNATIVA 2 (LED + SOLAR PROPIA)				ALTERNATIVA 3 (PPA+LED)		
	Consumo energía kWh	Valor kWh EPM	Pago de energía por iluminación	Consumo energía por iluminación LED	Suplencia energía solar	Flujo de Caja	ALT 2-1	Kwh PPA	Flujo de Caja	ALT 3-1
0	0					\$ (519.000.000)	\$ (519.000.000)		\$ (323.000.000)	\$ (323.000.000)
1	316500	\$ 450	\$ (142.425.000)	98900	98900	\$ -	\$ 142.425.000	\$ 385	\$ (38.076.500)	\$ 104.348.500
2	316500	\$ 463,50	\$ (146.697.750)	98900	98406	\$ (229.201)	\$ 146.468.549	\$ 396,55	\$ (39.218.795)	\$ 107.478.955
3	316500	\$ 477,41	\$ (151.098.683)	98900	97913	\$ (470.973)	\$ 150.627.709	\$ 408,45	\$ (40.395.359)	\$ 110.703.324
4	316500	\$ 491,73	\$ (155.631.643)	98900	97424	\$ (725.836)	\$ 154.905.807	\$ 420,70	\$ (41.607.220)	\$ 114.024.423
5	316500	\$ 506,48	\$ (160.300.592)	98900	96937	\$ (994.327)	\$ 159.306.265	\$ 433,32	\$ (42.855.436)	\$ 117.445.156
6	316500	\$ 521,67	\$ (165.109.610)	98900	96452	\$ (1.277.003)	\$ 163.832.607	\$ 446,32	\$ (44.141.099)	\$ 120.968.511
7	316500	\$ 537,32	\$ (170.062.898)	98900	95970	\$ (1.574.443)	\$ 168.488.455	\$ 459,71	\$ (45.465.332)	\$ 124.597.566
8	316500	\$ 553,44	\$ (175.164.785)	98900	95490	\$ (1.887.246)	\$ 173.277.539	\$ 473,50	\$ (46.829.292)	\$ 128.335.493
9	316500	\$ 570,05	\$ (180.419.729)	98900	95013	\$ (2.216.032)	\$ 178.203.697	\$ 487,71	\$ (48.234.171)	\$ 132.185.558
10	316500	\$ 587,15	\$ (185.832.321)	98900	94537	\$ (2.561.445)	\$ 183.270.876	\$ 502,34	\$ (49.681.196)	\$ 136.151.125
						VPN =	\$ 269.184.036		VPN =	\$ 257.703.250

Ahora presentamos gráficamente las 2 opciones propuestas, donde se evidencia que la de mayor inversión (SOLAR + LED) tiene a su vez ingresos (ahorros) mayores a lo largo del horizonte de planificación. El VPN hallado para la opción 1 (implementación directa de la instalación solar + luminarias LED) es de \$ 269.184.036 mientras que el calculado para la opción 2 (modelo PPA + luminarias LED) asciende a \$ 257.703.250. En principio vemos que las 2 opciones son viables ya que en los 2 casos el VPN es positivo y mayor que cero, sin embargo, la opción 1 tiene un VPN un poco mayor que la opción 2. Ahora tendremos en cuenta otros factores para tomar la decisión final de qué opción tomar, ya que cada una ofrece sus ventajas y desventajas.

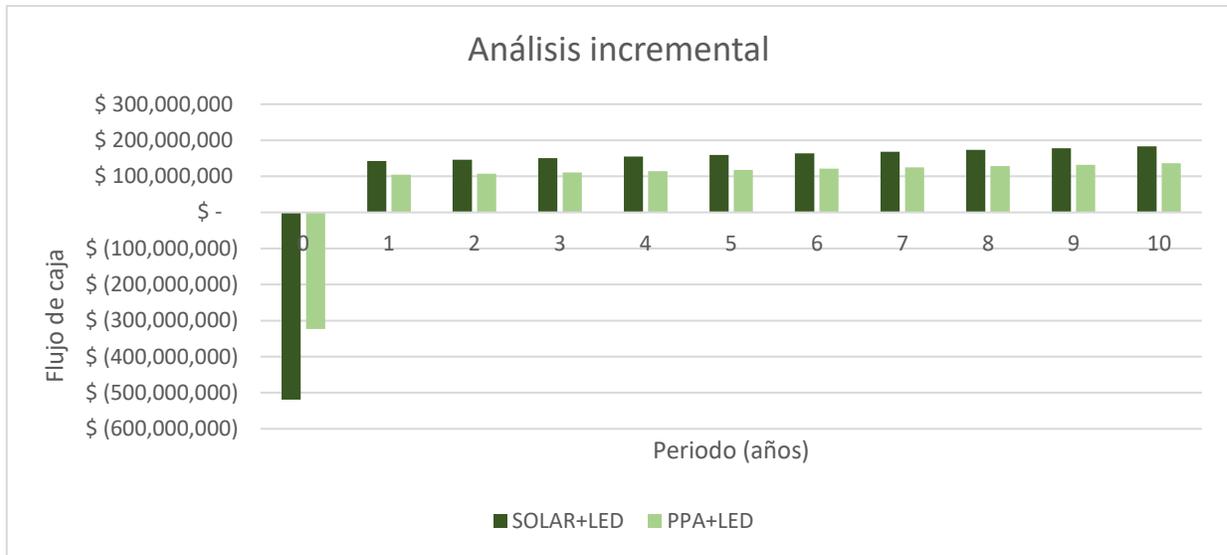


Figura 27. Flujo de caja para las alternativas de PPA y de instalación directa por la compañía

De acuerdo con la gráfica vemos que las 2 alternativas son viables financieramente y si bien el VPN de realizar la instalación de manera directa es mayor que el del modelo PPA, la diferencia es pequeña (proporcionalmente hablando) y por este motivo procedemos a utilizar otros criterios para tomar la decisión final del modelo de inversión a utilizar. La siguiente tabla resume las ventajas y desventajas de utilizar una opción o la otra.

Tabla 8. Ventajas y desventajas del modelo PPA y la instalación propia de la compañía.

MODELO PPA		INSTALACIÓN DIRECTA	
VENTAJAS	DESVENTAJAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Inversión inicial más baja: esto debido a que el proveedor encargado de la instalación del sistema asume la mayoría de estos costos. La compañía se encargaría de la adecuación de la terraza y de algunos otros acondicionamientos iniciales.	Compromiso de compra a largo plazo: al tener tiempos largos de recuperación este tipo de contratos no se hacen por menos de 10 años. Esto puede acarrear problemas por ejemplo si la sede se traslada o el inmueble se entrega por ser arrendado.	Retorno de inversión más rápido: al obtenerse menores coste por kWh los ahorros en dinero año a año son mayores que los del modelo PPA. La inversión se recupera en torno a los 4 - 6 años	Riesgos: todos los riesgos son asumidos por la compañía. Ver apartado de Riesgos
Liberación de flujo de caja: Al reducir el costo de energía en un corto, mediano, y largo plazo, se libera flujo para otras inversiones que estén alineadas con las actividades de la empresa.	Pérdida de beneficios tributarios: los beneficios tributarios recaen sobre el inversionista y dueño del activo por lo cual se podrían perder. Generalmente el inversionista traslada este beneficio en el cobro de la tarifa (menor costo de energía), pero es importante aclarar el tema.	No hay compromisos de compra: esto permitiría tomar decisiones como el traslado de la sede o entrega del inmueble. La instalación puede ser vendida si fuera el caso.	Conocimiento técnico: Se requiere experiencia en este tipo de instalaciones y capacitación para la operación y mantenimiento del sistema. Sin embargo, esto puede ser tercerizado de igual manera.
No requiere conocimiento específico: la empresa encargada de la instalación es experta en estos temas y se encargaría de toda la parte técnica		Obtención de beneficios tributarios: se accederían a los diferentes beneficios de la Ley 1715 de 2014	Inversión inicial elevada: toda la inversión es asumida por la empresa.
Transferencia del riesgo: la empresa encargada de la implementación debe encargarse del mantenimiento y operación del sistema. Se vende energía a un valor pre establecido independiente de las variaciones en generación.		Valor kWh más bajo: al asumir los riesgos y no tener intermediarios, el valor de la energía es más bajo que el conseguido por medio del PPA.	
		Acceso a créditos especiales: Las entidades financieras manejan créditos especiales para este tipo de proyectos con tasas de interés de las más bajas del mercado.	

Teniendo en cuenta las diferentes ventajas y desventajas de cada modelo y el VPN calculado con cada alternativa, se decide optar por la implementación directa del sistema. Revisando las desventajas de esta encontramos que el mayor riesgo al que estaremos sometidos será al de fenómenos eléctricos que impactaría directamente en la generación de energía, esto se puede mitigar sobredimensionando el sistema en un porcentaje dado y además se contará en todo momento con la conexión a la red de energía pública que entraría a suplir las falencias de la instalación solar cuando ocurra. El conocimiento técnico como se menciona, puede ser tercerizado con empresas expertas en el tema. La inversión inicial estará financiada con un 50% de deuda con una línea verde de Bancolombia con una tasa preferencial del 10%. Esto, sumado a las ventajas mostradas en la tabla nos llevaron a tomar esta decisión.

5.4.3. Flujo de caja libre, del inversionista y estado de resultados

Una vez seleccionada la alternativa o modelo de inversión, se procedió a realizar la evaluación financiera con este modelo, teniendo en cuenta los diferentes supuestos

mencionados al comienzo de este capítulo. El Anexo 1 *Evaluación Financiera* presenta de manera detallada los diferentes datos de entrada, el servicio a la deuda, la hoja de cálculo de Depreciaciones y Amortizaciones, los flujos de caja tanto del proyecto como del inversionista y el estado de resultados del proyecto.

La siguiente tabla resume los datos de partida para la evaluación:

Parámetro	Valor
Inversión	\$ 526'000.000
Mantenimiento anual	\$ 5'000.000
Capital de trabajo	\$ 7'000.000
%Deuda	50%
Tasa de oportunidad del inversionista	15%
Costo de la deuda	10%
WACC	10,85%
Gastos de administración	\$ 2'000.000

A continuación, se presenta el flujo de caja tanto del proyecto como del inversionista. Más adelante se resumen en la figura 28.

Tabla 9. Flujos de caja detallados del proyecto

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
FLUJO DE CAJA LIBRE											
EBITDA		188,225,000	139,258,549	143,201,409	147,256,718	151,427,704	155,717,688	160,130,089	164,668,422	169,336,306	174,137,463
Depreciaciones y Amortizaciones		35,260,000	35,260,000	35,260,000	35,260,000	35,260,000	35,260,000	35,260,000	35,260,000	35,260,000	35,260,000
Utilidad Operativa (EBIT)		152,965,000	103,998,549	107,941,409	111,996,718	116,167,704	120,457,688	124,870,089	129,408,422	134,076,306	138,877,463
Impuestos		50,478,450	34,319,521	35,620,665	36,958,917	38,335,342	39,751,037	41,207,129	42,704,779	44,245,181	45,829,563
UODI		102,486,550	69,679,028	72,320,744	75,037,801	77,832,362	80,706,651	83,662,960	86,703,643	89,831,125	93,047,900
Depreciaciones y Amortizaciones		35,260,000	35,260,000	35,260,000	35,260,000	35,260,000	35,260,000	35,260,000	35,260,000	35,260,000	35,260,000
FCB		137,746,550	104,939,028	107,580,744	110,297,801	113,092,362	115,966,651	118,922,960	121,963,643	125,091,125	128,307,900
Variación del Capital de Tr Inversiones	-7,000,000	-210,000	-216,300	-222,789	-229,473	-236,357	-243,448	-250,751	-258,274	-266,022	0
Instalación solar	-256,000,000										
Preoperativos	-20,000,000										
Mano de obra	-64,000,000										
Iluminación LED	-179,000,000										
Valor de Salvamento											102400000
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FCL	-\$ 526,000,000	\$ 137,536,550	\$ 104,722,728	\$ 107,357,955	\$ 110,068,328	\$ 112,856,005	\$ 115,723,204	\$ 118,672,209	\$ 121,705,369	\$ 124,825,104	\$ 230,707,900
FCL acumulado	-526,000,000	-388,463,450	-283,740,722	-176,382,767	-66,314,438	46,541,566	162,264,770	280,936,979	402,642,348	527,467,452	758,175,352
-Servicio Deuda	-263,000,000	105,756,193	105,756,193	105,756,193	0	0	0	0	0	0	0
-Diferencia de impuestos (0	8,679,000	6,056,946	3,172,686	0	0	0	0	0	0	0
FCI	-263,000,000	40,459,357	5,023,480	4,774,448	110,068,328	112,856,005	115,723,204	118,672,209	121,705,369	124,825,104	230,707,900

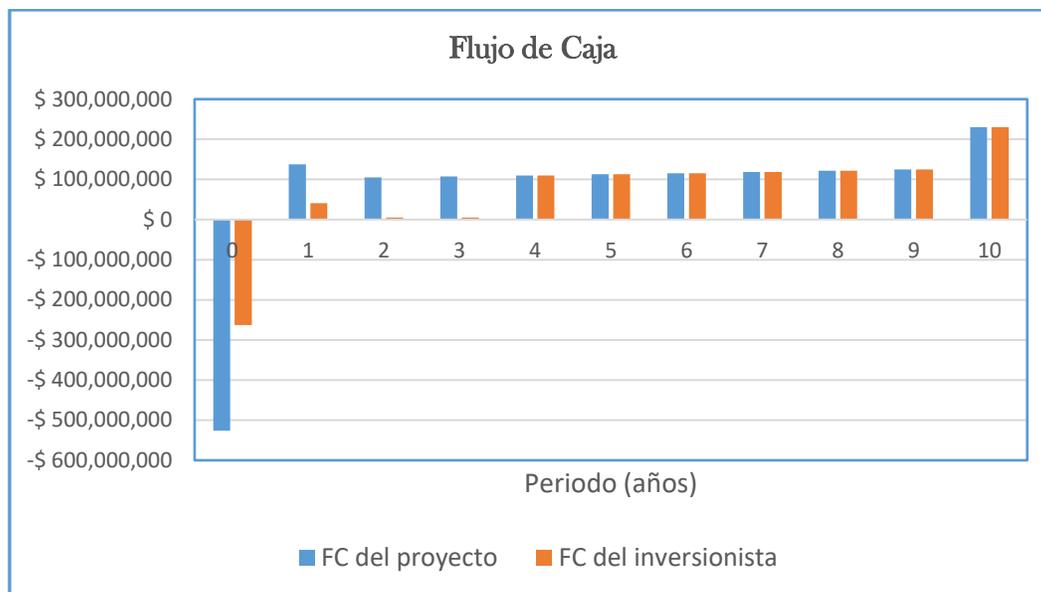


Figura 28. Flujos de caja del proyecto y el inversionista

La gráfica evidencia como en los primeros 3 años los ingresos para el inversionista son mínimos debido a la deuda que debe pagarse en ese tiempo, pero a partir del año 4 se equiparan los ingresos a los del proyecto y al final de la etapa productiva (año 10) es notorio el ingreso adicional debido a la venta contemplada de la instalación.

5.4.4. Indicadores financieros

Una vez desarrollado el apartado anterior, es posible determinar el VPN, la TIR, el periodo de retorno de la inversión (PRI) y la relación beneficio costo (B/C) tanto del proyecto como del inversionista. Los datos y los cálculos se encuentran en el Anexo 1 “Evaluación Financiera” adjunto. Los flujos de caja se proyectaron a 10 años, correspondiendo esto con el horizonte de planificación. Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 7.

Tabla 10. Principales indicadores financieros del proyecto

INDICADOR	PROYECTO	INVERSIONISTA
VPN (\$)	207.661.630	125.100.967
TIR (%)	19,11%	22,75%
PRI (años)	4,59	4,91
Relación B/C	1,39	1,48

Se encuentran VPN positivos y mayores que cero en ambos casos. Las TIR son superiores al WACC de la empresa (10,85% calculado en el Anexo 1 *Evaluación Financiera*) lo que da a entender que el proyecto es aceptable. El periodo de retorno de la inversión es menor a los 5 años (sobre un horizonte de 10 años), un valor típico para este tipo de instalaciones. Finalmente, la relación beneficio/costo es superior a 1 tanto para el proyecto como para el inversionista.

La magnitud del producto que se genera (es decir la energía) es kilovatios/hora (kWh), que a su vez veremos en el siguiente capítulo de riesgos que es el más sensible dentro de los parámetros a tener en cuenta y que pueden afectar la viabilidad del proyecto. Presentamos a continuación los valores de punto de equilibrio tanto para el proyecto como para el inversionista, es decir, el valor de kWh mínimo al que puede generarse la energía. Los resultados se muestran en la tabla 11.

Tabla 11. Punto de equilibrio del proyecto

PUNTO DE EQUILIBRIO				
ÍTEM	DEL PROYECTO		DEL INVERSIONISTA	
	Valor	VPN	Valor	VPN
Ahorros mínimos esperados	\$ 212.573	0	\$ 241.940	0
Valor mínimo kWh	\$ 301	0	\$ 343	0

Los resultados muestran que si el valor de kWh no puede “venderse” por encima de \$301 para el proyecto o \$343 para el caso del inversionista no se recomendaría invertir en este caso, sin embargo, los precios comerciales del kWh de EPM (la comercializadora de energía en Medellín) están alrededor de \$450 para la IPS (según lo publicado en su página oficial⁴). La evaluación del proyecto demostró que financieramente es viable y se recomienda invertir en el mismo.

⁴ Los costos de energía pueden consultarse en: https://www.epm.com.co/site/clientes_usuarios/clientes-y-usuarios/hogares-y-personas/energia/tarifas

5.5. Impacto ambiental del proyecto

Para el cálculo de las emisiones de CO₂ en este proyecto y posterior cálculo de los indicadores emplearemos los factores de emisión obtenidos de diversas fuentes que se detallan a continuación:

Tabla 12. Factores para el cálculo del impacto ambiental

			FUENTE DE DATOS
Factor	Valor	Unidad	
Captura Árboles CO ₂	0.28	Capture Ton CO ₂ e / First 20 year of a Tree	Cálculo realizado por con TREEbute a partir de un estudio realizado por esta empresa en 2011 sobre el potencial de absorción de CO ₂ de un árbol teniendo en cuenta información sobre crecimiento, densidad, fracción de carbón, ratio brote / parte radical de las 500 principales especies utilizadas en sus proyectos de plantación y simulación de remociones de árboles con redes utilizando la herramienta TARAM
Cantidad de vehículos necesarios para generar la contaminación en un año de recorrido	3.87	Ton CO ₂ e / 15000 Km	Convenio de Asociación No. CA 583 de 2017 entre UPB y AMVA. Anexo 3 a la Guía PMES. Se asumen vehículos de 15000 km de trayecto anual, a gasolina y cuyo cilindraje se encuentra entre 1500 y 3000 cc, modelo superior a 2012.
COL_Energy_Grid 2018	0.11	Kg CO ₂ e/KWh	Cálculo propio - 170101 COL_Energy_Grid_Emission_Factor_Calculation_2016
Energy Supply by Home	1766.10	kWh/Home - Year	Cálculo realizado según información publicada por el Sistema de Información Eléctrica de Colombia (SIEL - UPME). Consumo energético mensual promedio en los estratos 1, 2 y 3, promedio de las cuatro ciudades estudiadas (Bogotá, Medellín, Barranquilla y Pasto)

Realizaremos el cálculo directo de las emisiones a partir de la multiplicación de los consumos de energía eléctrica del sistema solar por los factores de emisión descritos anteriormente.

El cálculo de los indicadores ambientales anuales se presenta en la tabla 5.

Tabla 13. Indicadores ambientales del proyecto

Año	Generación anual (kWh)	Huella de carbono evitada (ton co2/año)	Contaminación evitada equivalente en números de árboles que hubiera sido necesario plantar para asimilar la misma cantidad de contaminación	Casas a las que se les podría suministrar energía con la energía ahorrada	Ahorro en contaminación expresado en el equivalente en contaminación evitada si se retiraran x cantidad de vehículos de las vías durante 1 año
1	120,000	13.20	47	68	3.00
2	119,400	13.13	47	68	3.00
3	118,803	13.07	47	67	3.00
4	118,209	13.00	46	67	3.00
5	117,618	12.94	46	67	3.00
6	117,030	12.87	46	66	3.00
7	116,445	12.81	46	66	3.00
8	115,862	12.74	46	66	3.00
9	115,283	12.68	45	65	3.00
10	114,707	12.62	45	65	3.00

La siguiente tabla resume los resultados obtenidos en promedio para un año de producción del proyecto:

HUELLA DE CARBONO EVITADA (TON CO2/AÑO)	CONTAMINACIÓN EVITADA EQUIVALENTE EN NÚMEROS DE ÁRBOLES	CASAS A LAS QUE SE LES PODRÍA SUMINISTRAR ENERGÍA	VEHÍCULOS RETIRADOS DE LAS VÍAS DURANTE 1 AÑO
13	46	67	3

Los indicadores obtenidos serán un aporte a la medición anual de los índices de sostenibilidad que la IPS reporta anualmente para la calificación de Down Jones en la dimensión ambiental y el reporte ante la CDP en la eficiencia operacional.

5.6. Identificación y análisis de riesgos del proyecto

Basados en la guía del PMBOK en su capítulo 11, nos orientamos a realizar la gestión eficiente de los riesgos del proyecto a partir de la identificación, análisis y gestión de los riesgos. Consultando con expertos y observando la sensibilidad de las variables en los flujos de caja, se identificaron seis riesgos que podrían materializarse en los 10 años que tiene el horizonte de evaluación.

Tabla 14. Identificación de riesgos del proyecto

Riesgo	Causa	Consecuencia
Generación de sombras por árboles o nuevos edificios aledaños.	Desarrollo urbano y ambiental de la ciudad	Daños a los paneles y disminución de los ahorros estimados
Generación inferior a la potencia instalada	Eficiencia de los paneles (u otros componentes) inferior a la nominal	Disminución de los ahorros estimados
Baja en el precio del kWh de EPM	Disminución de costos en la producción de energía o subsidios gubernamentales	Baja la competitividad de la instalación solar
Cambios regulatorios	Modificación en las leyes de incentivos tributarios	Cargos e impuestos adicionales a la generación
Afectación en la infraestructura	Peso de los paneles afecte la edificación	Sobrecostos en repotenciones estructurales
Fenómenos climáticos	Temporadas largas de lluvias - Fenómeno de la niña	Menor producción de energía

5.6.1. Análisis cualitativo

Como se mencionó anteriormente, es conveniente comenzar por realizar una matriz de probabilidad impacto, pero antes de esto debemos realizar algunas definiciones para dicha matriz:

Tabla 15. Definiciones para probabilidad e impacto

ESCALA	PROBABILIDAD	IMPACTO SOBRE EL PROYECTO		
		Tiempo	Costo	Calidad
Alto	26% -40%	3-6 meses	\$38M - \$60M	Impacto significativo sobre la funcionalidad general
Medio	11% - 25%	1-3 meses	\$15M - \$38M	Algún impacto sobre áreas funcionales clave
Bajo	< 10%	1-4 semanas	< \$15M	Impacto menor sobre las funciones secundarias

Con el fin de identificar el impacto financiero en la posible materialización de cada uno de los riesgos, se le asignó un impacto medido en COP que es extraído de datos históricos, de predicciones y de cálculos basados en los costos del proyecto para una probabilidad de ocurrencia de los mismos dentro del horizonte de tiempo. Definimos el siguiente apetito al riesgo para la ponderación del nivel de impacto.

Tabla 16. Definición matriz probabilidad impacto para el proyecto

PROBABILIDAD	RIESGO		
26% -40%	Medio	Alto	Alto
11% - 25%	Bajo	Medio	Alto
< 10%	Bajo	Bajo	Medio
	< \$15M	\$15M - \$38M	\$38M - \$60M
	IMPACTO SOBRE EL PROYECTO		

Teniendo en cuenta la matriz de probabilidad impacto y los riesgos identificados inicialmente se puede construir la table de clasificación e impacto de cada uno de ellos, los cuales se muestran a continuación:

Tabla 17. Matriz probabilidad impacto del proyecto

ID	Riesgo	Probabilidad	Impacto financiero	Nivel de riesgo
1	Generación de sombras por árboles o nuevos edificios aledaños.	5%	\$ 12.800.000	

2	Generación inferior a la potencia instalada	15%	\$ 28.160.000	
3	Baja en el precio del kWh de EPM	8%	\$ 20.480.000	
4	Cambios regulatorios	5%	\$ 3.000.000	
5	Afectación en la infraestructura	3%	\$ 7.680.000	
6	Fenómenos climáticos	35%	\$ 56.320.000	

De la tabla se evidencia que el mayor riesgo que podría afectar la generación de energía está asociado a los fenómenos climáticos, toda vez que Colombia cuenta con un clima tropical, el cual presenta bastantes e impredecibles lluvias durante el año.

5.6.2. Análisis cuantitativo

Con el fin de cuantificar el impacto de un riesgo ante las diferentes variables involucradas y facilitar la toma de decisiones dentro del proyecto realizamos un análisis de sensibilidad utilizando la simulación por medio de la herramienta @Risk.

5.6.2.1. Análisis de tornado

El análisis de tornado consiste en variar cada una de las variables que influyen en los resultados financieros del proyecto en un determinado porcentaje (en este caso de -10% a 10%), es de libre elección, analizar el efecto sobre la VPN o TIR, pero en nuestro caso lo haremos con el VPN por tratarse del principal indicador financiero que estamos teniendo en cuenta para la evaluación del proyecto. Los resultados arrojan un gráfico donde se evidencian cómo impactan los parámetros de entrada elegidos al proyecto, su estética se asemeja a la de un tornado y de allí se debe su nombre. Luego de correr la simulación en @Risk se obtienen los siguientes resultados:

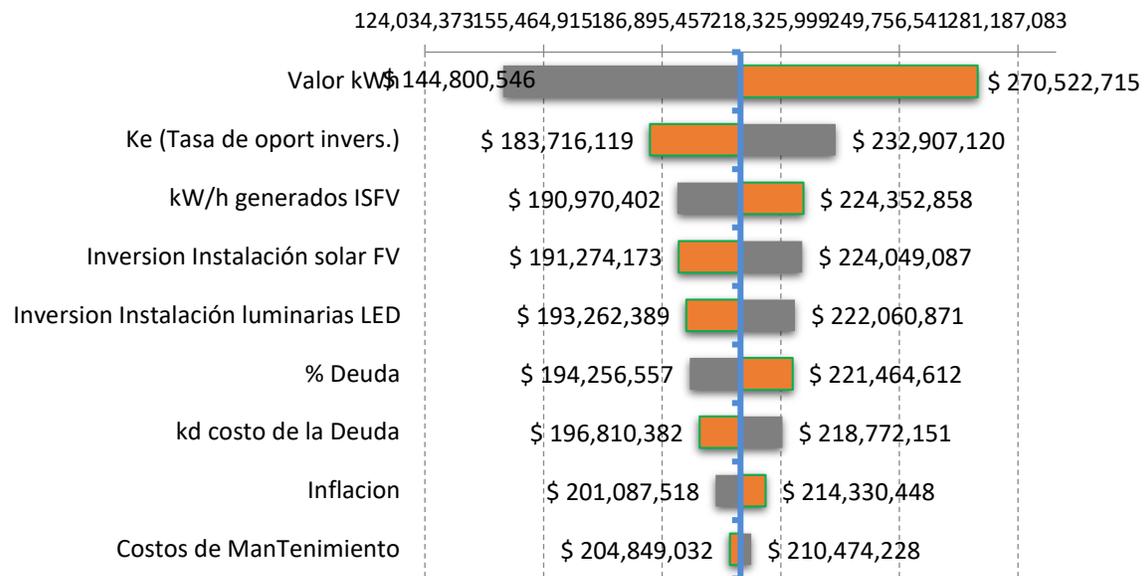


Figura 29. Resultados del análisis tornado

De la gráfica se evidencia que el parámetro que impacta en mayor medida el resultado del VPN del proyecto es el costo del kWh, esto es de esperarse ya que la variación de los precios de la energía supone un cambio en el ahorro económico estimado inicialmente, generando unos ahorros menores o mayores, según sea el caso. Si la tarifa de energía del operador de red aumenta, los ahorros serán mayores y por ende el valor final del VPN aumentará. Pasará lo contrario si los costos comerciales son más competitivos pues los ahorros esperados serán menores y por ende el VPN calculado también lo será.

5.6.2.2. Análisis telaraña

La metodología es similar a la del análisis tornado, la diferencia radica en cómo se presentan los resultados, pues en este caso se obtiene una gráfica con diferentes líneas con pendientes positivas o negativas (depende de cómo impacte sobre el VPN del proyecto la variable que se está evaluando). En nuestro caso se realiza con una variación de +/-10% para las mismas variables de entrada que se usaron en el análisis tornado. Los resultados se presentan a continuación:

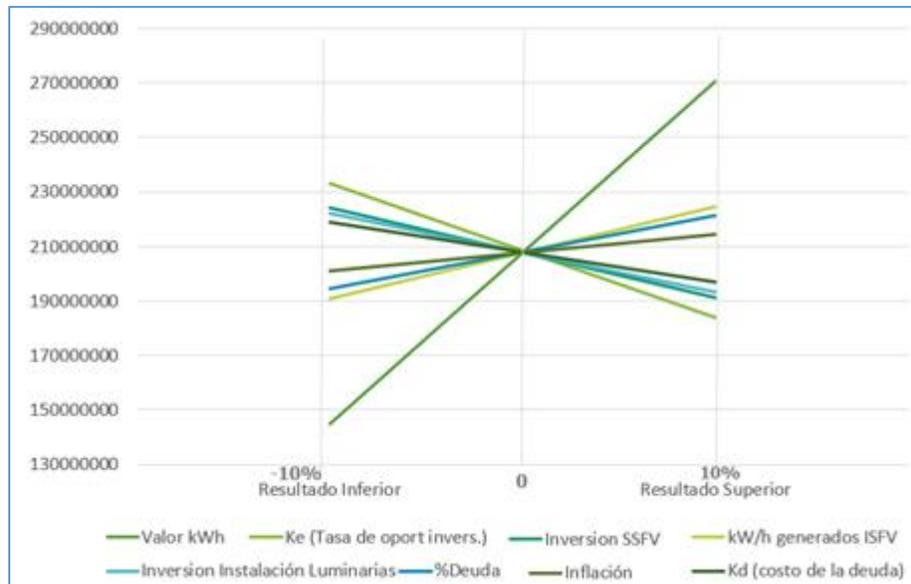


Figura 30. Resultados análisis telaraña

Este gráfico es coherente con lo visto en el análisis de tornado, pues se evidencia que la línea con mayor pendiente es el costo del kWh de la energía. Las demás variables tienen un impacto sobre el VPN del proyecto menor y relativamente similar (la pendiente de las otras líneas no son tan diferentes entre sí). Ahora lo que se debe realizar es la gestión de estos riesgos, describir las estrategias que se adoptarán para evitar o mitigar estos riesgos en el proyecto.

5.6.3. Respuesta a los riesgos

En este proceso se pretende desarrollar opciones, seleccionar estrategias y acordar acciones para abordar la exposición general al riesgo del proyecto, así como para tratar los riesgos individuales del este. El beneficio clave de este proceso es que identifica las formas adecuadas de abordar el riesgo general y los riesgos individuales del proyecto. A continuación, se presentan las acciones que pueden llevarse a cabo para mejorar las oportunidades y reducir las amenazas del riesgo sobre los objetivos del proyecto. Lo anterior con base en 4 premisas elementales: evitar, transferir, mitigar o aceptar los riesgos.

- **Evitar:** Cambiar el plan para la dirección del proyecto, a fin de eliminar por completo la amenaza.
- **Transferir:** Trasladar el impacto negativo del riesgo hacia un tercero.
- **Mitigar:** Disminuir la probabilidad de ocurrencia y/o el impacto.

- **Aceptar:** No cambiar el plan original. dejar establecida una política de cómo actuar en caso que ocurra el evento negativo.

Tabla 18. Plan de respuesta al riesgo

ID	Riesgo	Lista de posibles medidas	Tipo de respuesta	Valor	Comentarios	Impacto financiero
1	Generación de sombras por arboles o nuevos edificios aledaños.	- Estudiar plan de desarrollo urbano. Elegir adecuadamente el emplazamiento.	Evitar	1'000,000	El plan de desarrollo se traza a varios años en el futuro.	\$ 2.560.000
2	Generación inferior a la potencia instalada	- Marcas confiables en el mercado. - Exigir certificados de calidad y eficiencia. - Garantizar la calidad y garantía de todos los demás componentes de la instalación.	Mitigar	20'000.000	Este tipo de tecnología ha venido creciendo de manera sostenida, cada vez con sistemas más estables y eficientes que reducen el riesgo de equipos de mala calidad al comprar marcas de reconocimiento y trayectoria.	\$ 17.920.000
3	Baja en el precio del kWh de EPM	- Optimizar la instalación para hacerlo más competitivo.	Mitigar	10'000.000	Los costos de kWh de EPM históricamente han incrementado, por tanto la posibilidad de una disminución significativa de estos es poco probable y el riesgo se considera menor.	\$ 12.800.000
4	Cambios regulatorios	- Estudiar vigencia de beneficios actuales. - Consultar posibles nuevos beneficios	Evitar	1'000,000	Riesgo que podría incluso favorecer al proyecto ya que el país apunta al apoyo de este tipo de instalaciones, año a año esto ha venido mejorando. Riesgo menor.	\$ 1.800.000
5	Afectación en la infraestructura	- Estudios estructurales previos. - Reforzamiento de la losa	Evitar	5'000,000	Riesgo fácil de estudiar y mitigar.	\$ 2.560.000
6	Fenómenos climáticos	- Sobredimensionamiento del sistema manteniendo competitividad	Aceptar mitigando	25'000,000	Es el riesgo más complicado de manejar pues nadie tiene control sobre el clima y estamos en una ubicación geográfica donde es particularmente impredecible año a año. Un sobredimensionamiento excesivo podría hacer inviable la instalación.	\$ 28.720.000

En su mayoría los riesgos identificados dentro del proyecto pueden mitigarse ya este tipo de tecnología ha venido creciendo de manera sostenida, cada vez con sistemas más estables y eficientes que reducen el riesgo de equipos de mala calidad al comprar marcas de reconocimiento y trayectoria, en cuando a los costos de kWh los históricos de tarifa nos muestran que este costo ha incrementado anualmente y por tanto la posibilidad de una disminución significativa de estos es poco probable y el riesgo se considera menor.

Si bien el cambio regulatorio se identifica como un riesgo, también puede potencializarse como una oportunidad que podría incluso favorecer al proyecto ya que el país apunta al apoyo de este tipo de instalaciones, y los incentivos tributarios para la implementación ha venido en aumento.

Finalmente, el riesgo de mayor impacto asociado corresponde a fenómenos climáticos, este no es controlable debido a que estamos en una ubicación geográfica con clima tropical y muy cambiante de un año a otro. La respuesta implica un sobredimensionamiento (aproximadamente del 15% recomendado en libros de diseño de sistemas de energía solar) con el fin de compensar un poco la baja generación en épocas lluviosas. No se recomienda

un sobredimensionamiento mayor pues los paneles son costosos y harían inviable el proyecto.

5.7. Programación

5.7.1. Estructura Desglosada de Trabajo (EDT)

La Estructura Desglosada de Trabajo pretende subdividir los entregables del proyecto con el fin de facilitar su manejo ya que proporciona un marco de referencia de lo que se debe entregar. En la siguiente figura se muestra la EDT para este proyecto.

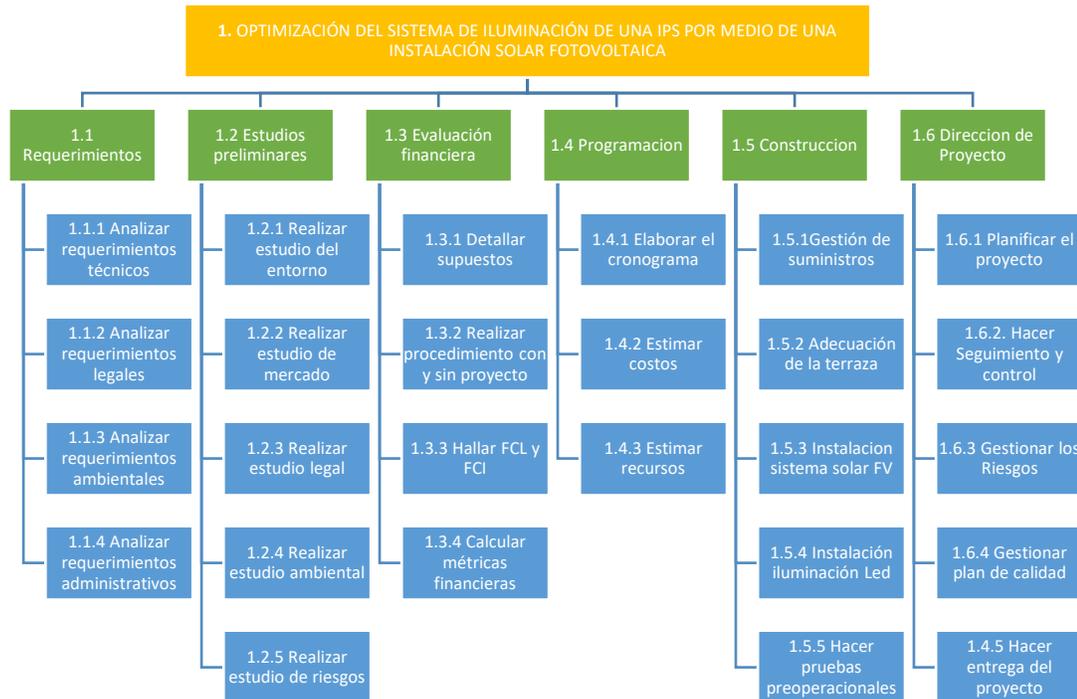


Figura 31. EDT del proyecto

5.7.2. Cronograma

A continuación, se muestra el cronograma del proyecto, este puede consultarse en el diagrama de Gantt del Anexo 2 *Cronograma del proyecto*.

Tabla 19. Cronograma del proyecto

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
Proyecto Sistema Solar LED	204 días	2020/08/03	2021/06/18
REQUERIMIENTOS	10 días	2020/08/03	2020/08/18
Realizar el análisis de los requerimientos	10 días	2020/08/03	2020/08/18
Análisis de requerimientos terminado	0 días	2020/08/18	2020/08/18
ESTUDIO DEL ENTORNO	60 días	2020/08/18	2020/11/19
Estudio del entorno terminado	0 días	2020/11/19	2020/11/19
ESTUDIO DE MERCADO	3 días	2020/08/18	2020/08/21
Estudio de mercado realizado	0 sem.	2020/09/02	2020/09/02
ESTUDIO LEGAL	5 días	2020/08/18	2020/08/25
Realizar el estudio legal del proyecto	5 días	2020/08/18	2020/08/25
Estudio legal terminado	0 días	2020/08/25	2020/08/25
TAMAÑO DE LA INSTALACIÓN	23 días	2020/08/18	2020/09/23
Determinar demanda de energía de la IPS	10 días	2020/08/18	2020/09/02
Determinar el emplazamiento	1 día	2020/08/18	2020/08/19
Realizar el dimensionamiento de la instalación	10 días	2020/09/02	2020/09/17
Seleccionar el panel solar	2 días	2020/09/17	2020/09/21
Seleccionar el inversor y otros componentes	3 días	2020/09/17	2020/09/23
Dimensionar luminarias LED	10 días	2020/09/02	2020/09/17
Tamaño de la instalación finalizado	0 días	2020/09/23	2020/09/23
RECURSOS Y MATERIALES	1 día	2020/09/23	2020/09/24
Determinar los recursos físicos y humanos del proyecto	1 día	2020/09/23	2020/09/24
Recursos y materiales calculados	0 días	2020/09/24	2020/09/24
ESTUDIO AMBIENTAL	10 días	2020/09/23	2020/10/08
Realizar el impacto ambiental del proyecto	10 días	2020/09/23	2020/10/08
Estudio ambiental terminado	0 días	2020/10/08	2020/10/08
EVALUACIÓN FINANCIERA	14 días	2020/09/23	2020/10/14
Determinar los supuestos	1 día	2020/09/23	2020/09/24
Aplicar el análisis incremental	3 días	2020/09/24	2020/09/29
Realizar el estado de resultados	7 días	2020/09/29	2020/10/09
Hallar el flujo de caja del proyecto y del inversionista	7 días	2020/09/29	2020/10/09
Calcular las métricas financieras	3 días	2020/10/09	2020/10/14
Evaluación financiera finalizada	0 días	2020/10/14	2020/10/14
ESTUDIO DE RIESGOS	57 días	2020/08/03	2020/10/30
Identificar los principales riesgos del proyecto	3 días	2020/08/03	2020/08/06
Realizar el análisis cualitativo	5 días	2020/10/01	2020/10/08
Realizar el análisis cuantitativo	10 días	2020/10/14	2020/10/30
Estudio de riesgos terminado	0 días	2020/10/30	2020/10/30

PROGRAMACIÓN	13 días	2020/08/18	2020/09/07
Realizar EDT del proyecto	3 días	2020/08/18	2020/08/21
Realizar cronograma del proyecto	5 días	2020/08/21	2020/08/31
Estimar recursos y costos	5 días	2020/08/31	2020/09/07
Programación finalizada	0 días	2020/09/07	2020/09/07
CONSTRUCCIÓN	181 días	2020/09/07	2021/06/18
Adjudicar contratos a proveedores	7 días	2020/10/30	2020/11/10
Adecuar la terraza para la instalación	60 días	2020/10/30	2021/02/02
Gestionar la compra de equipos y materiales	90 días	2020/09/07	2021/01/27
Realizar la instalación del sistema solar	4 mss	2021/02/02	2021/06/08
Realizar la instalación de luminarias LED	30 días	2021/01/27	2021/03/15
Realizar pruebas preoperativas	7 días	2021/06/08	2021/06/18
Construcción finalizada	0 días	2021/06/18	2021/06/18
GESTIÓN Y ENTREGA DEL PROYECTO	203 días	2020/08/03	2021/06/17
Realizar seguimiento y control	200 días	2020/08/03	2021/06/11
Gestionar los riesgos	200 días	2020/08/03	2021/06/11
Gestionar el plan de calidad	200 días	2020/08/03	2021/06/11
Realizar el cierre del proyecto	3 días	2021/06/14	2021/06/17
Gestión y entrega del proyecto finalizado	0 días	2021/06/17	2021/06/17
Proyecto Sistema Solar LED finalizado	0 días	2021/06/17	2021/06/17

Debido a que este tipo de proyectos energéticos no hacen parte del *core* de salud de la IPS y que dentro del recurso humano no se cuenta con personal con el perfil requerido para ejecutarlo, se ha decidido delegar la ejecución de las tareas al proveedor seleccionado para la realización del proyecto.

Los costos asociados a los recursos necesarios para el cumplimiento de las actividades está incluido dentro de la oferta comercial presentada por el proveedor. Para garantizar el proceso, La IPS destinara un ingeniero del equipo de proyectos quien realizaría el acompañamiento, seguimiento y control. Finalmente se celebrará un contrato que enmarque estos aspectos.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- En general se puede concluir que el proyecto tiene una clara viabilidad técnica, estratégica, ambiental y financiera; los riesgos en general son bajos y el impacto sobre el medio ambiente es positivo.
- Los estudios del entorno y legal demostraron que hay un ambiente propicio para implementar este tipo de proyectos, pues la coyuntura actual con relación al calentamiento global ha hecho que países como Colombia, a través de la Ley 1715 de 2014 ofrezca diferentes beneficios que son atractivos para los inversionistas
- El principal riesgo identificado obedece a fenómenos climáticos. Este riesgo no se controla, pero puede mitigarse realizando un sobredimensionamiento de la instalación solar del 15% de tal manera que siga siendo financieramente viable y no se impacte tanto la generación de energía en épocas lluviosas.
- En el análisis cuantitativo de los riesgos se encontró que la variable que más impactaría al VPN del proyecto corresponde al valor del kWh. Sin embargo, el valor hallado en el punto de equilibrio demostró que el mínimo valor al que puede caer esta significativamente por debajo del valor promedio cobrado por la comercializadora de energía (EPM).
- El estudio financiero demostró que el proyecto es viable pues las métricas financieras evaluadas arrojaron resultados favorables como un VPN positivo con una renta de \$207.661.630, una TIR mayor al WACC de la empresa, una relación beneficio costo superior a 1 y un periodo de retorno de inversión menor a 5 años sobre un proyecto evaluado a 10 años.
- El estudio ambiental mostró que, si bien se deben mejorar temas a nivel regulatorio en los procesos de fabricación y disposición final de los paneles solares, este tipo proyectos siguen generando impactos positivos para el ambiente, para este caso se estimó un ahorro de 13.2 toneladas de CO₂/año.

6.2. Recomendaciones

- Debido a la viabilidad del proyecto en la etapa de prefactibilidad la principal recomendación es pasar a la siguiente etapa, realizar la factibilidad del proyecto donde puedan detallarse de mejor manera los estudios presentados en el presente documento.
- Se recomienda hacer un seguimiento constante a los riesgos más importantes a los que se enfrenta el proyecto, esto es, tener presente si el IDEAM o entes competentes alertan de largas temporadas de lluvias o monitorear constantemente los cambios que tenga la tarifa del kWh ofrecida por EPM. Esto puede afectar los tiempos de programación o las proyecciones realizadas.
- Debido a los constantes avances en la tecnología del panel solar y a las recientes alternativas como los paneles de capa delgada, es importante que si ha transcurrido un tiempo significativo (mayor a un año) entre el estudio que acá se presenta y la implementación del proyecto se revise el panel solar seleccionado pues es el ítem de mayor costo dentro del proyecto y podría ya no ser la mejor opción para entonces.
- Luego del impacto generado en la economía a nivel mundial el costo del dólar alcanzó niveles muy elevados frente al peso. Con las posibles vacunas ya en fases finales los inversionistas comienzan a invertir en activos más rentables y los activos de respaldo como el dólar y el oro están comenzando a bajar su valor. Se recomienda hacer seguimiento a esta tendencia pues los paneles son importados y podrían conseguirse ahorros importantes si se compran en un momento con un precio de dólar más bajo que el actual.

7. Bibliografía

- Arango, S. S. (26 de Mayo de 2020). *ECOSIGLOS. La ecología de forma sencilla*. Obtenido de La energía solar no es tan verde como crees: <https://ecosiglos.com/la-energia-solar-no-es-tan-verde-como-crees/>
- BANCOLOMBIA. (05 de 03 de 2019). *Panorama energético de Colombia*. Obtenido de <https://www.grupobancolombia.com/wps/portal/empresas/capital-inteligente/especiales/especial-energia-2019/panomara-energetico-colombia>
- Bancolombia, G. (05 de 03 de 2019). *Panorama energético de Colombia*. Obtenido de <https://www.grupobancolombia.com/wps/portal/empresas/capital-inteligente/especiales/especial-energia-2019/panomara-energetico-colombia>
- BBC, N. (21 de 07 de 2020). *Coronavirus en América Latina: los países en que se prevén las mayores caídas económicas este año (y los que serán menos golpeados)*. Obtenido de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-53438543>
- Colombia, M. (10 de 11 de 2020). *Minsalud explica proceso para adquisición de vacuna contra covid-19*. Obtenido de Minsalud explica proceso para adquisición de vacuna contra covid-19: <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Minsalud-explica-proceso-para-adquisicion-de-vacuna-contra-covid-19.aspx>
- Dinero, R. (05 de 08 de 2020). *BanRep cree que economía colombiana se recuperará a finales de 2022*. Obtenido de <https://www.dinero.com/economia/articulo/cuando-se-recuperara-la-economia-colombiana-del-coronavirus/294922>
- Dinero, R. (23 de 11 de 2020). *Vacunas contra covid generan subida en el petróleo y caída del oro*. Obtenido de Vacunas contra covid generan subida en el petróleo y caída del oro: <https://www.dinero.com/economia/articulo/impacto-de-la-vacuna-contra-el-coronavirus-en-la-economia-mundial/307563>
- HOPS - Historia, O. P. (21 de 07 de 2020). *HOPS - Historia, Opinión, Política y Sociedad*. Obtenido de <https://www.facebook.com/1787610184883774/posts/historia-colombia-inicio-de-la-energia-electrica-y-el-alumbrado-publico-en-colom/1872026853108773/>
- IBERDROLA. (28 de 07 de 2020). *History of Electricity*. Obtenido de <https://www.iberdrola.com/environment/history-electricity>
- Lamigueiro, O. P. (2018). *Energía Solar Fotovoltaica*. España: Creative Commons.
- Luque, A., & Hegedus, S. (2010). *Handbook of photovoltaic science and engineering*. West Sussex: John Wiley & Sons.
- Mundial, B. (08 de 06 de 2020). *La COVID-19 (coronavirus) hunde a la economía mundial en la peor recesión desde la Segunda Guerra Mundial*. Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2020/06/08/covid-19-to-plunge-global-economy-into-worst-recession-since-world-war-ii>

NEWS, B. (20 de 11 de 2020). *Cómo el covid-19 generará la mayor deuda pública mundial de la historia (y por qué no es necesariamente algo malo)*. Obtenido de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-54981305>

OMAR DAVID FLÓREZ ISAZA, J. M. (2018). *DISPOSICIÓN DE USO DE PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS EN UNIDAD PERSONAL DE VIVIENDA Y CONJUNTOS RESIDENCIALES*. Obtenido de https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/12623/Juliana_MesaMurillo_OmarDavid_FlorezIsaza_2018.pdf?sequence=2&isAllowed=y

UPME, C. d. (2019). *DÍA HISTÓRICO PARA LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN COLOMBIA*. Obtenido de https://www1.upme.gov.co/SalaPrensa/ComunicadosPrensa/Comunicado_05_2019.pdf

Vallina, M. M. (2018). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid: Paraninfo.