



**DIAGNÓSTICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PROYECTO DE  
GENERACIÓN DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA AUTOSOSTENIBLE PARA  
EL CAMPUS DE LA UCM**

Mario Herman Ramírez Botero

Universidad Católica de Manizales  
Facultad de Ingeniería y Arquitectura  
Manizales-Caldas

2021

Diagnóstico para la Implementación de un Proyecto de Generación de Energía Solar  
Fotovoltaica Autosostenible para el Campus de la UCM

Mario Herman Ramírez Botero

Proyecto de trabajo de grado para optar al título de:  
Especialización en Gerencia de Proyectos del Territorio y Valuación Inmobiliaria

Asesor:

Arq. Magister. Jorge Rincón

Arq. Magister. Andrés Felipe Pineda

Universidad Católica de Manizales

Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Manizales-Caldas

2021

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a mi pareja y compañera de vida Yolanda quien me brindo todo el apoyo y acompañamiento en el desarrollo de este proyecto y fue parte de este esfuerzo, logro y satisfacción personal.

### **Agradecimientos**

- A mi familia por su inmenso interés y estar pendiente de mí a cada momento
- A los docentes que ofrecieron su mejor esfuerzo para trasmitirme su conocimiento y enseñanzas, apoyándome en los aspectos requeridos para el desarrollo de mi proyecto.
  - A todos los compañeros de especialización
- Y a todos aquellos que contribuyeron a la culminación exitosa de este proceso

## TABLA DE CONTENIDO

1.	Resumen .....	8
2.	Abstract .....	8
3.	Introducción .....	9
4.	Planteamiento del Problema.....	11
5.	Justificación.....	12
6.	Pregunta.....	14
7.	Objetivos .....	14
7.1.	Objetivo General .....	14
7.2.	Objetivos Específicos.....	14
8.	Marco Referencial .....	15
8.1.	Antecedentes .....	15
9.	Marco Conceptual .....	20
9.1.	Desarrollo Sostenible .....	20
9.2.	Energía Renovable .....	21
9.2.1.	Energía solar fotovoltaica.....	22
9.2.2.	Energía solar térmica.....	22
9.3.	Energía no Renovable.....	22

10.	Marco Legal .....	30
10.1.	Normatividad .....	30
11.	Marco Contextual.....	36
12.	Metodología .....	37
12.1.	Medición de Huella de Carbono .....	38
12.2.	Capacidad de Generación de Energía Solar Fotovoltaica.....	38
12.3.	Construcción de Modelo Técnico-económico .....	38
13.	Resultados .....	39
13.1.	Medición de Huella de Carbono: .....	40
13.2.	Capacidad de Generación de Energía Solar Fotovoltaica .....	40
13.2.1.	Área Disponible para la Implementación del Sistema Fotovoltaico.....	40
13.2.2.	Generación de Energía Fotovoltaica Mensual: .....	41
13.2.3.	Potencia a Instalar: .....	42
13.3.	Construcción de Modelo Técnico-económico .....	43
13.3.1.	Monto de Recursos Para la Inversión: .....	43
13.3.2.	Garantías: .....	46
13.3.3.	Financiación: .....	46
13.3.4.	Tiempo de Retorno de la Inversión:.....	47
13.3.5.	Flujo de Ahorros: .....	48
14.	Discusión de Resultados.....	56

15. Conclusiones .....	57
16. Recomendaciones.....	58
17. Glosario .....	58
Panel solar: .....	58
18. Referencias Bibliográficas .....	61

### **Tablas**

Tabla 1. Descripción y cantidad de elementos para la inversión. ....	45
Tabla 2. Recursos para la inversión. ....	45
Tabla 3. Garantía. ....	46
Tabla 4: Flujo de Ahorros. ....	49
Tabla 5: Cuadro comparativo entre la Proyección Energética y las Emisiones de CO2 Reducidas. ....	55

### **Ilustraciones**

Ilustración 1: Secuencia Instalación Equipos.....	35
Ilustración 2: Beneficios de la Energía Solar en Colombia .....	36
Ilustración 3: Planos de la cubierta de la UCM.....	40
Ilustración 4: Universidad Católica de Manizales. ....	41
Ilustración 5: Generación estimada Mensual. ....	42
Ilustración 6: Retorno de la inversión sin incentivos tributarios.....	47
Ilustración 7: Retorno de la inversión con incentivos tributarios. ....	47
Ilustración 8: Emisiones de CO2 Reducidas. ....	53

Ilustración 9: Producción de KWh durante 25 años.....	53
---	----

## 1. Resumen

El presente trabajo tiene como propósito realizar un diagnóstico para la implementación de un proyecto de generación de energía solar fotovoltaica autosostenible para el campus de la Universidad Católica de Manizales -UCM-. En el desarrollo del trabajo se develarán los beneficios de carácter económico, financiero, tributario y ambiental que genera la instalación del arreglo fotovoltaico en el campus de la UCM. Asimismo, al final de la presente monografía se encontrarán una serie de resultados, conclusiones y recomendaciones que estarán sostenidas en la proyección de un modelo técnico- económico.

**Palabras claves:** Energía solar fotovoltaica, autosostenible, medio ambiente, beneficios, económico, financiero y tributario.

## 2. Abstract

The purpose of this work is to carry out a diagnosis for the implementation of a self-sustainable photovoltaic solar energy generation project for the campus of the Catholic University of Manizales -UCM-. In the development of the work, the economic, financial, tax and environmental benefits generated by the installation of the photovoltaic arrangement on the UCM campus will be revealed. Likewise, at the end of this monograph you will find a series of results, conclusions and recommendations that will be supported by the projection of a technical-economic model.



**Keywords:** Photovoltaic solar energy, self-sustaining, environment, benefits, economic, financial and tax.

### 3. Introducción

En el presente trabajo se desarrollarán diferentes temas que contribuirán a contextualizar y a socializar en que consiste la propuesta para la UCM, en la implementación de un sistema solar fotovoltaico, para qué sirve, que beneficios trae y como se llevaría a cabo.

La investigación parte de un escenario en el cual la sociedad presenta una crisis medioambiental a escala mundial, debido al uso y explotación desmedida de energías no renovables que no solo contaminan el medio ambiente, sino que también provienen de recursos naturales limitados. En este sentido, se reconoce que el trabajo investigativo es una alternativa que podría resolver dichas problemáticas, al indagar y visibilizar los beneficios que la energía renovable puede alcanzar en términos científicos, tecnológicos, económicos, financieros, tributarios y principalmente socio ambientales. Por lo tanto, mediante el análisis que se desarrollará en la presente monografía, se busca demostrar la importancia y efectividad que está tomando el uso de fuentes no convencionales de energía a través de la implementación de sistemas solares fotovoltaicos con el uso de paneles solares.

Es por ello que, el presente proyecto tiene como objetivo elaborar una matriz comparativa que revele los beneficios para la UCM en la migración a sistemas sostenibles desde los aspectos ambientales, económicos y tributarios. Se considera una apuesta por transformar la energía eléctrica tradicional, utilizando sistemas más sostenibles y amigables con el medio ambiente; pues, lo que para algunos era una utopía hace treinta años, hoy es una realidad que no está siendo utilizada, lo cual, se torna reprochable al no hacer uso de estas herramientas amigables con el

medio ambiente que contribuyen al crecimiento económico y al desarrollo sostenible al disminuir el consumo convencional de energía.

En esta medida, se propone como pregunta de investigación: ¿Cuáles son los beneficios de migrar a sistemas de energía solar fotovoltaica en un estudio de caso - UCM?, frente a ella se fijaron tres objetivos específicos. El primero de ellos busca realizar mediciones de la generación de emisiones de gas invernadero producidas por el consumo de energía eléctrica en la UCM; El segundo pretende determinar la capacidad máxima de generación de energía solar fotovoltaica que podría instalarse en las cubiertas del campus universitario UCM y por último, se proyecta construir un modelo técnico económico, financiero y con aplicación de beneficios tributarios a partir de la información obtenida.

Para el abordaje teórico-conceptual, legal y contextual de la presente propuesta investigativa, se recurrirá a una revisión documental de investigaciones, proyectos, planes, programas, política pública, normas y jurisprudencia, que brindarán soporte epistemológico para comprender y valorar desde otras perspectivas y ángulos los beneficios que genera el hecho de migrar a sistemas solares sostenibles. Asimismo, se devela la responsabilidad social del Estado y las instituciones que lo representan, en promover acciones y estrategias tendientes a migrar de manera paulatina a sistemas sostenibles que favorezcan al medio ambiente y a su vez, garanticen una mejor calidad de vida social y económica para el país y el mundo.

Para la realización de la investigación se propuso como diseño metodológico el paradigma cuantitativo, pues se pretende realizar mediciones numéricas, y proyectar valoraciones estadísticas que den cuenta de los beneficios económicos, financieros, tributarios y ambientales que genera la implementación de este proyecto. Así como también se busca seleccionar, organizar, clasificar y analizar la información obtenida, a fin de construir el modelo

técnico-económico. Finalmente se presentan los resultados y las principales conclusiones del estudio.

#### **4. Planteamiento del Problema**

Actualmente se puede decir que unas de las necesidades nacionales e internacionales con respecto al cuidado de recursos naturales producto de los protocolos y convenciones adoptados por Colombia, es la implementación de tecnologías limpias. Según la revista Semana (2020), nuestro país ocupa el puesto 34 entre los 184 países monitoreados en emisión de gases efecto invernadero y el sector energía contribuye en un 14% con su generación.

En el quinto informe de la evaluación del cambio climático que realiza las Naciones Unidas (ONU 2021), declara que debido al aumento de los gases efecto invernadero, es probable que la temperatura siga subiendo. Como resultado, los océanos se calentarán y el deshielo continuará. Así las cosas, se debe apostar a la construcción de una sociedad más sostenible y equitativa.

Según la Unidad de Planeación Minero Energética –UPME- (2015), en Colombia la capacidad de generación de energía eléctrica está compuesta en un 70% por energía hidráulica, 29% térmica y 1% biomasa. Las hidroeléctricas abastecen la mayor parte del consumo, pero las termoeléctricas respaldan la producción de electricidad, sobre todo en época de escasez hídrica. Fenómenos como el niño donde el desabastecimiento de agua genera incendios forestales, incremento en los precios de alimentos y donde el sector más afectado es el eléctrico, pone al país en riesgo de racionamiento y aumento de las tarifas en el cobro de energía.

Además de ello, la necesidad del uso de recursos naturales como consecuencia del desarrollo económico no se ha asumido con responsabilidad y por esto se detecta una especie de inercia en el deber ser de las cosas. Es así como se ven y escuchan teorías sobre responsabilidad

ambiental muy bonitas y necesarias pero que no son asumidas y apropiadas de modo responsable y prefiere mirarse a un lado y continuar de manera pasiva, finalmente es más fácil culpar al otro (gobierno-comunidad, entre otros).

## **5. Justificación**

Colombia está en un momento de su economía en el que la conservación del medio ambiente, el cuidado del planeta y sus recursos naturales toma mucha fuerza y el Estado, consciente de este cambio, abrió la puerta a nuevas iniciativas que promueven el uso de las energías renovables, como lo informa el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible –MADS-, en la Meta de Reducción de Emisiones (2015), indicando que la voluntad del Gobierno de aumentar la capacidad de energías renovables en su matriz energética y, por tanto, reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, lo que crea un abanico de posibilidades por el privilegio de su posición geográfica.

Aunado a lo anterior, el mundo actual ha venido enfatizando en la realización de proyectos que sean sostenibles, sustentables y amigables con el medio ambiente. Es por esto, que al implementar sistemas solares fotovoltaicos a través de paneles solares se obtienen grandes ventajas no solo económicas sino de tipo ambiental. Estos sistemas están constantemente generando energía pues como se estudiará, son sistemas que se nutren de luz natural, abundante a diario al recibir 120 Tera watts de radiación solar diaria lo que corresponde a 20 mil veces más de la energía que necesita el mundo entero.

Técnicamente hablando y según estudios realizados por Jhonnatan Gómez-Ramírez, Jairo D. Murcia-Murcia, Ivan Cabeza-Rojas (2016), la energía solar fotovoltaica ocupa el segundo lugar en lo que respecta a la generación de energía renovable después de la eólica. Esta puede ser utilizada en áreas residenciales, viviendas aisladas, instituciones educativas, industria,

telecomunicaciones, comercio, alumbrado público, transporte y aún en el campo agropecuario para implementar sistemas agroganaderos.

Por consiguiente, la Universidad Católica de Manizales tiene la posibilidad de ser una de las instituciones educativas de Manizales pioneras en implementar el sistema fotovoltaico de alta calidad, generando impactos positivos en la conservación y cuidado del medio ambiente, toda vez que, el funcionamiento diario del arreglo fotovoltaico depende exclusivamente de la energía solar natural. Lo que conlleva a que los habitantes de la ciudad de Manizales puedan efectivizar su derecho a vivir en un medio ambiente sano, libre de cualquier tipo de contaminación y que produzca placer no sólo de tipo visual, sino que permita una existencia con calidad de vida. En esta medida, este proyecto tiene un alto impacto de carácter integral, pues no solo la población estudiantil y la planta administrativa de la UCM se verán beneficiados, sino también la población manizaleña, pues el sistema solar fotovoltaico es un diseño que se alimenta de fuentes renovables, disminuyendo de manera drástica la emisión de gases con efecto invernadero, lo que permite que los habitantes respiren y vivan en un ambiente mucho más sano sin riesgo de verse afectada su salud e integridad física.

Adicional a lo anterior, el arreglo fotovoltaico tiene la ventaja y garantía de poder ser implementado en cualquier sitio de la tierra, pues la generación de energía proviene de la irradiación de sol, irradiación que está presente durante el día, en esta medida, se garantiza que la UCM no presentará inconvenientes en la ubicación del sistema solar fotovoltaico, pues el clima de Manizales proporciona las condiciones requeridas para su eventual funcionamiento.

Otra de las razones fundamentales por las cuales es conveniente que la UCM implemente el proyecto en sus estructuras físicas, es porque la inversión económica podrá ser recuperada a corto o mediano plazo como consecuencia en la disminución de costos de facturación y

beneficios tributarios. Así mismo, los requerimientos técnicos de mantenimiento que tiene son muy pocos y de baja inversión, pues cuentan con asistencia técnica permanente y garantía hasta de veinticinco años.

Así las cosas, la UCM como institución educativa tiene el deber de ser el modelo convincente para promover un cambio en la forma de pensar y actuar, así mismo romper con la indiferencia social y estructural que se limita a reproducir simples discursos, y apostar por activar las acciones necesarias para contribuir a la solución, implementando proyectos con procesos sostenibles. Proyectos como los enfocados en la implementación de sistemas no convencionales de generación de energía, que pueden contribuir de manera efectiva en el mejoramiento del medio ambiente, la economía y las finanzas de la institución.

## **6. Pregunta**

¿Cuáles son los beneficios de migrar a sistemas de energía solar fotovoltaica en un estudio de caso - UCM?

## **7. Objetivos**

### **7.1. Objetivo General**

Elaborar una matriz comparativa sobre los beneficios para la UCM en la migración a sistemas sostenibles desde los aspectos ambientales, económicos, financieros y tributarios.

### **7.2. Objetivos Específicos**

- Realizar mediciones de la generación de emisiones de gas invernadero producidas por el consumo de energía eléctrica en la UCM.
- Determinar la capacidad máxima de generación de energía solar fotovoltaica que podría instalarse en las cubiertas del campus universitario UCM

- Construir un modelo técnico, económico, financiero y tributario a partir de la información obtenida.

## **8. Marco Referencial**

### **8.1. Antecedentes**

La construcción del presente antecedente se surte a partir de la revisión documental rigurosa de estudios previos que tienen incidencia y relación con el objeto de estudio propio. En esta medida, se tomó como referencia un estudio de posgrado denominado ‘Análisis de factibilidad de un proyecto de autogeneración eléctrica fotovoltaica en Colombia para áreas productivas menores de 10.000 m<sup>2</sup>’ (Aguilar & Valencia, 2017). En el mismo, se desarrolla el proceso de implementación y utilización de energía renovable, en este caso, de paneles solares, el cual ha permitido que en países como Alemania sea todo un éxito el uso de la energía solar fotovoltaica, esto se debe a sus políticas claras en cuanto a la utilización del recurso. De esta manera, los autores Aguilar & Valencia (2017), afirman que su implementación se desarrolló en dos fases; la inicial en 1991 y la siguiente fase empezó en 1999; donde se destacan los siguientes puntos:

Fase inicial:

- Ley de suministro de energías renovables a la red pública, con la cual se obligaba a los gestores de las redes a comprar energía de fuentes renovables como prioridad.
- Garantizar una remuneración mínima a los productores. De este modo se pagaba un 10% más por la energía producida por los paneles solares que por la generada a partir de la hidráulica y la de combustibles fósiles (p. 44).

Teniendo en cuenta lo anterior, los autores Aguilar & Valencia (2017), afirman que la fase que se implementó en 1999, tenía como objetivo reforzar lo que se logró anteriormente y duplicar la utilización de la energía renovable para el año 2010, destacando:

- Un mayor énfasis en la diferenciación de la fuente de producción de energía, con lo cual la remuneración dependía del tipo de ubicación y el tamaño de la planta generadora de energía.
- La remuneración fija por kilovatios para los titulares de las plantas de energía renovable por un periodo de 20 años.
- Disminución progresiva de las tasas de remuneración para las plantas eléctricas renovables que entraran en operación desde el año 2005, con lo cual la remuneración del suministro garantizada se minimiza a medida que pasa el tiempo; es decir, si se tardaba más en conectar la planta a la red, se tendría menos remuneración.
- Los operadores de plantas de producción eran los responsables de los costos de conexión a la red y los operadores de las redes eran responsables de los costos de adaptación de las redes, así como de la creación de nuevas redes.
- Se mejoró la posición de los operadores de plantas, pues dejó de ser obligatorio el uso de contratos para la inyección de la energía.
- En el año 2009 se estableció como objetivo que para 2020, el 35% de la electricidad fuera de fuentes renovables.
- Se redefinió quién era pequeño productor y quién era gran productor (p. 45).

De la misma manera los autores Aguilar & Valencia (2017, p. 45), sostienen que se realizó la creación de una planta de energía eléctrica hasta el año 2050 para todo el país, cuyo



objetivo es la disminución del uso de combustibles fósiles, para evitar el efecto invernadero y contribuir con el cuidado del medio ambiente.

Por otra parte, los autores Aguilar & Valencia (2017) ,visibilizan a partir de su estudio otro ejemplo de países que le apuestan a la energía verde es Japón; debido a las consecuencias que sufrió el país por el devastador terremoto en el año 2011, el cual generó un desastre nuclear al afectar sus plantas de energía nuclear, generando que se replanteara la utilización de otros recursos energéticos; en el año 2014 Japón fue uno de los tres países con mayores instalaciones de paneles solares, con una inversión aproximada de 20 mil millones de dólares al año en proyectos de producción de energía fotovoltaica, mientras que en la producción de energía nuclear se ubica en porcentajes del 2,2% debido a que la mayorías de plantas fueron cerradas (pp. 45 – 46).

Asimismo, los autores Aguilar & Valencia (2017), señalan que tanto para los inversores como para los investigadores en América Latina, cuando se habla de energía renovable se utiliza como ejemplo a España, gracias a sus huertas solares se convierte en ejemplo y modelo a seguir. Su éxito se fundamentó en que estos sistemas de suelo se desarrollaron debido a incentivos como el pago por kilovatio hora producida, siendo una formula atractiva para los inversores tanto nacionales como extranjeros, donde la rentabilidad fue de valores superiores al 20% para tasas internas de retorno de 25 años (p. 46).

Este efecto multiplicador terminó en el año 2008, con la llegada de un nuevo marco regulatorio, que introdujo un límite de mercado de 500 megavatios por año. Esto, sumado a la gran crisis que vivió el país, hizo que el mercado de la producción de energía solar fotovoltaica prácticamente desapareciera durante el año 2009. (Aguilar & Valencia, 2017, p. 46)

De igual forma, los autores Aguilar & Valencia (2017), afirman que, los Estados Unidos en su lucha contra el calentamiento global utilizaron la estrategia de las energías fotovoltaicas, generando políticas claras que faciliten el uso del recurso. De acuerdo con el informe “How Smart Local Policies Are Expanding Solar Power in America” de Environment America Research & Policy Center y Frontier Group de abril 2016, las políticas clave que logran incrementar el uso de energía fotovoltaica en Estados Unidos son :

- Ampliar el apoyo financiero para la energía solar incluyendo créditos fiscales.
- Apoyar la investigación sobre innovación en energía solar, entre otros temas, buscando la mejor manera de integrar la energía solar a la red mejorando los métodos de almacenamiento, y estudiar cómo reducir las barreras de mercado.
- Dar ejemplo instalando sistemas solares en los techos de los edificios del Gobierno. Para el año 2025, esperan tener 130 MW de energía solar instalados.
- Aumentar el acceso a la energía solar mediante programas de apoyo a viviendas y comunidades.
- Defender y fortalecer los requerimientos del plan de energía limpia para poder cumplir con las metas ambientales del país.
- Hacer leyes obligatorias para que los Estados inviertan sus utilidades en energía solar donde sea posible.
- Promover una fuerte interconexión a nivel estatal y de las políticas de medición, para que los usuarios puedan ser compensados adecuadamente por la energía que le entregan a la red con sus excedentes de energía solar.
- Establecer políticas que amplíen el acceso a la energía solar a todos los estadounidenses, incluso a hogares con bajos recursos y a arrendatarios (pp.47- 48).

En Neemuch, India, se implementó la planta solar más grande del mundo. Ha tenido tanto éxito que en varias ocasiones ha ganado el primer puesto en proyectos exitosos de generación de energía fotovoltaica.

En Rusia en la ciudad de Homeland, se desarrolló con éxito una granja solar mediante la implementación de 52.000 módulos durables y de alta calidad.

En la región Attika de Grecia, se implementaron 22 plantas completas de energía fotovoltaica en una zona residencial e industrial.

En fin, son innumerables las experiencias exitosas en lo que se refiere a la implementación de proyectos de índole generados de energía renovable. Lo que nos permite demostrar la efectividad de estos.

En Colombia, este modelo se ha implementado en grandes empresas de manera exitosa puesto que lo hicieron mediante un modelo de negocio sostenible para unirse a la lucha contra el impacto del cambio climático y optar por los beneficios tributarios que otorga la Ley 1715 de 2014. Las empresas donde se implementó este sistema son: océano verde, este es un proyecto de casas campestres en Jamundí.

La nacional de chocolates en Rio negro, 8.000 módulos y 74 conversores y genera 2.132 kilovatios. Coherentes con la prioridad estratégica de sostenibilidad de la compañía de reducir el impacto ambiental, con este nuevo sistema se dejarán de emitir 1.229 toneladas de CO<sub>2</sub>, lo que equivale a sembrar al año un bosque de 40 hectáreas.

En el centro internacional de agricultura tropical CIAT se tiene un piso solar para autogeneración donde se generan 902 kilovatios, lo que se traduce en un ahorro al año de más de 50 millones de pesos en lo que corresponde al pago de la factura eléctrica convencional. En la universidad autónoma de occidente también se han instalado 1546 módulos solares lo que

produce 250 kilovatios y cubre el 15% del consumo total de energía. En Envigado, el centro comercial La reserva tiene un techo solar de 96 módulos que con la producción de energía reduce en 16 toneladas sus emisiones anuales de CO<sub>2</sub>.

En la tienda Década 10, Tuluá, se instalaron 385 paneles solares con rotundo éxito en su ejecución. El centro de convenciones de Cartagena no se ha quedado atrás en la lucha contra el cambio climático y es por ello que implementó paneles solares para evitar la emisión de 191 toneladas de CO<sub>2</sub> al año. Otras empresas como Pronavícola, Intergrafic, Frayle, Maranta, Pactia, Socya, El Castillo, Nuestro Montería, Argos Mulaló, generan energía solar mediante la implementación de paneles solares.

## **9. Marco Conceptual**

El presente estudio pretende identificar los beneficios para la UCM en la migración a sistemas sostenibles, específicamente al implementar un sistema de energía renovable como alternativa para transformar la energía eléctrica, lo cual, brinda múltiples utilidades y una rentabilidad potencial a nivel económico, financiero, tributario y ambiental. En esta medida, es necesario ampliar el marco epistemológico, conceptual y teórico con miras a profundizar la complejidad de los diferentes tipos de energía y su beneficio para lograr un verdadero desarrollo sostenible:

### **9.1.Desarrollo Sostenible**

Es entendido como la posibilidad de satisfacer las necesidades del presente, sin que se aumente de manera desproporcionada la utilización de nuestros recursos naturales más allá de las posibilidades del planeta, poniendo en riesgo la supervivencia de las futuras generaciones, en esta medida, el desarrollo sostenible tiene una perspectiva orientada a preservar el cuidado del entorno, y a su vez buscar un desarrollo que promueva el continuo mejoramiento de la calidad de

vida y bienestar social, desligando el crecimiento industrial y productivo de la degradación desenfadada del medio ambiente. Tal como lo afirma la siguiente cita: “El desarrollo sostenible satisface las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades” (Gro Harlem Brundtland, citado por Arregui G., 2006).

El desarrollo sostenible tiene como objetivo fomentar prácticas armónicas con el medio ambiente, encaminadas a conservar los recursos naturales, así como también a lograr un desarrollo social, económico, equitativo y accesible para todos. En este sentido, la creación de energías solar fotovoltaica es una propuesta amigable con el medio ambiente y comprometida con las futuras generaciones, pues busca precisamente apostar por una alternativa que busca transformar problemáticas medioambientales como el cambio climático y la producción de gases efecto invernadero, cuyas consecuencias son nefastas para la ecología social en general. En consonancia con lo anterior, se puede observar como la organización de Naciones Unidas persigue un compromiso integral por intentar mitigar las problemáticas ambientales y el cuidado de recursos naturales, un ejemplo de ello se encuentra en la promulgación de los 17 Objetivos del desarrollo sostenible, específicamente en el objetivo 7 que propone “energía asequible y no contaminante” (ONU, 2015).

## **9.2.Energía Renovable**

Este tipo de energía se obtiene de fuentes naturales inagotables y generan electricidad sin contribuir al calentamiento global y al deterioro generalizado del medio ambiente. Existen diferentes tipos de energía renovable, entre ellas se encuentra la energía solar fotovoltaica, energía eólica, energía hidráulica o hidroeléctrica, entre otras. Sin embargo, el presente trabajo pretende profundizar sobre la energía solar fotovoltaica:

La energía solar es considerada como una energía renovable, ya que esta es toda energía en la que la fuente primaria es producida por la naturaleza sin ningún tratamiento previo realizado por el hombre y la solar fotovoltaica es producida por el sol, resultado de reacciones nucleares de fusión que llegan a la Tierra a través del espacio en paquetes de energía llamados fotones (luz), que interactúan con la atmósfera y la superficie terrestre (Molina & Calderón, 2018)

**9.2.1. Energía solar fotovoltaica.** La energía solar fotovoltaica es entendida como un tipo de energía renovable, que se caracteriza por generar energía eléctrica a través de la conversión de la radiación del sol:

(...) este proceso se realiza mediante el efecto fotovoltaico, que consiste en la conversión de luz en electricidad. La luz solar está compuesta por fotones, estos poseen diferentes energías, que corresponden a las diferentes longitudes de onda del espectro solar. Cuando los fotones inciden sobre una célula solar, pueden ser reflejados o absorbidos, o pueden pasar a través de ella. Sólo los fotones absorbidos generan electricidad, la energía del fotón se transfiere a un electrón de un átomo de la célula (Cardona, 2018).

**9.2.2. Energía solar térmica.** Este tipo de energía utiliza la radiación del sol para producir calor, generando múltiples utilidades e impactos en las actividades cotidianas, entre ellas como producción de agua caliente, cocinar e incluso, para acondicionar los lugares mediante los cambios en la temperatura ambiente.

### **9.3. Energía no Renovable**

La energía no renovable se caracteriza por abastecerse de recursos naturales en una cantidad agotable, es decir, una vez consumidas en su totalidad, no podrán ser susceptibles de sustituirse por otras. Un ejemplo es el gas natural, carbón y petróleo:

Las energías no renovables son aquellas que existen en la naturaleza en una cantidad limitada, no se renuevan a corto plazo y por eso se agotan cuando se utilizan. La demanda mundial de energía en la actualidad se satisface fundamentalmente con este tipo de fuentes energéticas: el carbón, el petróleo, el gas natural y el uranio (Schallenberg Rodríguez & Piernavieja Izquierdo, 2008, citado por Benito, M. Ruiz, C. 2018).

La energía eléctrica tradicional proviene no solo de fuentes hidroeléctricas, sino de recursos que son limitados como los combustibles fósiles –carbón, petróleo y gas-, los cuales, terminan siendo nocivos para la humanidad, pues las altas emisiones de gases con efecto invernadero a nivel mundial se encuentran relacionados con la rebosada quema de combustibles fósiles que se utilizan para la electricidad.

Ahora bien, si bien es cierto que la mayor parte de las actividades humanas requieren de la energía eléctrica tradicional, no se puede desconocer que las consecuencias por utilizar este tipo de energía no renovable son sumamente dañinas para el medio ambiente y los seres vivos en general. Es por ello que, es necesario plantear proyectos, planes, programas y políticas que persigan un tipo de energía que no sea agotable, y que además, no sea perjudicial para el medio ambiente y el sistema ecológico.

Por los anteriores motivos, el presente trabajo más que promocionar una alternativa de energía renovable, pretende concientizar y visibilizar las problemáticas generales relacionadas con el medio ambiente, que de no tratarse con tecnología competente podría generar consecuencias irremediables, poniendo en riesgo incluso la propia existencia humana, en este sentido, aunque parezca redundante estar continuamente hablando de las afectaciones que cada día tiene el medio ambiente, este daño es real y las evidencias así lo demuestran; la situación ya no es simplemente una presunción del daño que se podría ocasionar, sino que lamentablemente

el cambio climático ya está ocasionando tantos desastres que hablar de medio ambiente es casi lo mismo que hablar de colapso mundial.

El mundo está a punto de sufrir un cambio climático irreversible debido a que, si suben en más de 2o C las temperaturas medias anuales, tanto los países en vía de desarrollo como los desarrollados tendrán que hacer frente a un aumento de los desastres naturales, con sequías más intensas y prolongadas, pérdida de cosechas y una pérdida masiva de especies (Cardona, 2018).

La Organización meteorológica mundial (OMM) en comunicados hechos en el año 2019 demostraron mediante resultados a estudios realizados, que los daños se pueden percibir en el aumento del nivel del mar debido al deshielo por la aparición de fenómenos meteorológicos extremos y los pronósticos no son buenos, dado que la Organización manifestó que la tendencia va encaminada al incremento de los niveles de temperatura, lo que hace más gravosa la situación. El calentamiento global ha incrementado la concentración de gases de una manera sin precedentes en la historia del medio ambiente. Organización Meteorológica Mundial -OMM- (2019), argumenta también, que la temperatura en los últimos años ha aumentado en un 1.1°C desde la etapa preindustrial y en 0.2°C con respecto al período comprendido entre 2011-2015. Sin embargo, en 2020 se registró persistencia en el nivel de temperatura, incluso, se afirma que este año es uno de los más cálidos:

El 2020 fue uno de los tres años más cálidos de los que se tiene constancia, a pesar del fenómeno de enfriamiento de La Niña. La temperatura media mundial fue de aproximadamente 1,2 °C superior a los niveles preindustriales (1850-1900). Los seis años transcurridos desde 2015 son los más cálidos de los que se tienen datos. La década de 2011 a 2020 fue la más cálida jamás registrada (OMM, 2021).



Las naciones unidas han realizado varias investigaciones con la unión de varios grupos científicos que se han dedicado exclusivamente a analizar el tema del cambio climático, y fruto de estas investigaciones se presentó el informe en la Cumbre sobre el Clima realizado en el año 2019, donde se hace una evaluación exhaustiva sobre el sistema tierra bajo la influencia del cambio climático y pudo determinarse que hay daños que ya son irreparables y se debe crear conciencia sobre la responsabilidad del hombre frente a estos fenómenos pues cuando se habla de protección del medio ambiente, realmente se está hablando de la conservación de la especie humana. Tal como se enuncia en la siguiente cita:

Debido a la concentración actual y a las continuas emisiones de gases de efecto invernadero, es probable que el final de este siglo la temperatura media mundial continúe creciendo por encima del nivel preindustrial. Como resultado, los océanos se calentarán y el deshielo continuará. Se estima que el aumento del nivel medio del mar será de entre 24 y 30 centímetros para 2065 y de 40 a 63 centímetros para 2100 con relación al periodo de referencia de 1986-2005. La mayoría de los efectos del cambio climático persistirán durante muchos siglos, incluso si se detienen las emisiones (ONU, 2019).

Dentro del informe se plantearon datos como el incremento continuo de los niveles de dióxido de carbono CO<sub>2</sub> y de otros gases de efecto invernadero que nunca habían presentado tales niveles de incremento, a grosso modo se puede valorar en un 20% comparado con los cinco años anteriores al periodo analizado.

Las concentraciones de los principales gases de efecto invernadero siguieron aumentando en 2019 y 2020. El promedio mundial de las fracciones molares de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) ya ha superado las 410 partes por millón (ppm), y si se mantiene la tendencia de la

concentración de CO<sub>2</sub> de los años anteriores, podría alcanzar o superar las 414 ppm en 2021, según se desprende del informe. (OMM, 2021)

Aunado a lo anterior, el Secretario General de la Organización Meteorológica Mundial - OMM- (2019), indico que: “Las causas y los efectos del cambio climático se están multiplicando en lugar de reducirse”, Y añadió que se ha acelerado el aumento del nivel del mar y que se teme que se produzca una reducción abrupta de la cubierta de hielo en la Antártida y en Groenlandia, que a su vez exacerbará el aumento del nivel del mar en el futuro”. Como se acredita en el informe de la OMM (2021):

La capa de hielo de Groenlandia continuó perdiendo masa. Si bien el balance de masa superficial se acercó a la media a largo plazo, la pérdida de hielo debido a desprendimientos de témpanos se situó en el extremo superior del registro satelital de 40 años. En total, se perdieron aproximadamente 152 Gt de hielo de la capa de hielo de Groenlandia entre septiembre de 2019 y agosto de 2020 (OMM, 2021)

Además de las consecuencias adversas a nivel medioambiental descritas en los párrafos anteriores, también es necesario visibilizar otros efectos a nivel mundial que conlleva el calentamiento global, tales como las sequias, y las fuertes lluvias que han arrasado con miles de vidas humanas y pérdidas agrícolas:

En 2020 se produjeron lluvias intensas e importantes inundaciones en grandes zonas de África y Asia. Las fuertes lluvias e inundaciones afectaron a la mayor parte del Sahel y del Gran Cuerno de África y provocaron una invasión de langostas del desierto. En el subcontinente indio y las zonas vecinas, China, la República de Corea, Japón y algunas zonas de Asia Suroriental también se registraron precipitaciones inusualmente elevadas en diferentes momentos del año (OMM, 2021)

Es por esto que se deben generar proyectos que permitan alivianar la carga que está soportando el medio ambiente y así impedir que sus impactos sigan incrementando hasta el punto donde nuestra existencia se vea potencialmente vulnerada. La energía solar fotovoltaica se convierte en una buena alternativa para disminuir los efectos que la energía eléctrica tradicional ha generado durante años, pues no solo ayuda a la mitigación del cambio climático, sino que al hacer uso de fuentes de energía naturales, no se agotarán tan fácilmente los recursos no renovables, genera ahorros económicos y se conserva y protege el medio ambiente y la existencia humana.

Se ha argumentado que este tipo de energía contribuye de forma positiva al bienestar social en la medida que reduce las externalidades negativas sobre el medio ambiente. Frente a otras fuentes de energía, la fotovoltaica no genera emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), efecto invernadero, lluvia ácida y óxidos de azufre (Gómez-Ramírez, Murcia-Murcia, & Cabeza-Rojas, 2016).

El secretario general de las Naciones Unidas (2019), también manifestó que es decisivo reducir la emisión de gases de efecto invernadero los cuales proceden especialmente de la producción de energía convencional, la industria y el transporte. Es importante hacer énfasis en este punto puesto que, Colombia es uno de los países que adquirió el compromiso en el protocolo de Kioto hoy acuerdo de París, de llevar a cabo actividades que permitan mitigar los efectos del cambio climático mediante la implementación de proyectos como el que se está planteando en este documento, con el que se podría aportar a las metas requeridas y así ser parte de la solución, por nuestro bien y el de las generaciones futuras.

Colombia se adhirió al Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (Ley 629 de 2000). El objetivo de este Protocolo era reducir las

emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI), por lo cual las energías renovables se convirtieron en una opción estratégica para Colombia (Cardona, 2018).

Igualmente, la Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono es una de las políticas del Gobierno Nacional lideradas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, que busca enfrentar el cambio climático y evitar el crecimiento acelerado de gases de efecto invernadero. Por lo tanto, la migración a una energía solar fotovoltaica termina siendo una propuesta viable y factible porque no solo dialoga de manera armónica con los proyectos y objetivos contemplados en las políticas de desarrollo del país, sino que también busca mitigar directamente las consecuencias que ha generado la energía eléctrica tradicional, como las constantes emisiones de Gases con efecto invernadero, lo que estimula consecucionalmente el cambio climático en el mundo. Es decir, con esta propuesta de entrada se estaría luchando contra las consecuencias nefastas que ha dejado la manipulación incorrecta y desbordada de los recursos naturales.

En esta medida, las instituciones educativas deben dar ejemplo de compromiso con las políticas nacionales y acuerdos señalados, al contribuir en el desarrollo de algunos ODS como el 7 energía asequible y no contaminante, las 11 ciudades y comunidades sostenibles.

La matriz técnica con la cual la UCM se verá beneficiada, tiene como propósito conservar el medio ambiente a través del aprovechamiento de recursos renovables como la energía solar fotovoltaica. La cual, presenta diversos impactos a nivel ambiental, ‘‘Las energías renovables se caracterizan por ser una alternativa de generación de energía limpia lo cual permite que no genere gases de efecto invernadero, ni tampoco dióxido de carbono que ocasionen daños en el medio ambiente’’ (Cardona, 2018).

Igualmente, la migración hacia un sistema sostenible en la UCM dentro de sus estrategias económicas podrá verse compensada con la disminución en el costo de la factura de energía eléctrica tradicional.

Aunado a lo anterior, el proyecto de paneles solares trae varios beneficios como ya se ha mencionado, pero desde el punto de vista financiero es importante afirmar que una de las tendencias de la industria es la practicidad y economía que deben representar las actividades que se desarrollen en la misma, un modelo de alta gerencia es implementar proyectos que sean innovadores, económicos y ambientales y esta propuesta contiene los tres elementos. La inversión que se hace en la ejecución de este proyecto sólo se da en la primera fase y esto garantiza, si se hace correctamente y con una simple revisión y mantenimiento anual, la generación de energía por 25 años siguientes, tiempo en el cual, la tecnología tendrá tantos avances que se implementaran nuevas opciones que produzcan los mismos efectos o aún mejores y la UCM estará a la par de dicha actualización. Un ejemplo de ello se puede ver en el estudio que profundiza sobre el “IMPACTO ECONÓMICO-ECOLÓGICO POR EL USO DE ENERGÍA SOLAR EN LA COMARCA LAGUNERA, MEXICO” (2007):

El sistema de energía solar tiene costos de operación muy bajos, casi nulos y esta es otra de sus ventajas ya que si se sustituye la energía eléctrica por la solar, se dejan de pagar a la Comisión Federal de Electricidad, para un espacio como el CAIS-ZA-URUZA, \$21,396.00 por año, monto que representa un ahorro o beneficio de la energía solar (Ruiz T., Rios F., Trejo C., & Esquivel A., 2007, p. 245)

Otro aspecto a analizar es el merit-order effect, el cual consiste en que la reducción de costos no sólo se verá reflejada al disminuir la utilización de la energía tradicional por la utilización de la energía solar fotovoltaica sino que a medida que se vaya disminuyendo la

demanda de la primera, necesariamente debe bajar el costo del consumo puesto que en el mercado, la segunda opción de energía, se compensa a un bajo costo y si los productores de la energía convencional quieren seguir existiendo, deberán tener costos a precio competitivo lo que significa que la empresa que se provea técnicamente de los paneles solares como método de generar energía, se verá compensada en varios aspectos, de un lado el económico, de otro el financiero, además el tributario, igualmente grandes beneficios a nivel ambiental.

## **10. Marco Legal**

Hablar del marco legal de cualquier proyecto es hablar de la columna vertebral del mismo, puesto que sin la base jurídica no es factible que estos proyectos se vuelvan realidad.

En este orden de ideas y como ya se había mencionado, la crisis del cambio climático ha afectado al mundo entero y Colombia siendo una región tan rica en recursos naturales no ha tomado las medidas necesarias para poder proteger y conservar todos sus recursos. Una de las múltiples formas que se puede ejecutar para hacer parte de la solución es la implementación de proyectos que contribuyan a compensar los daños causados por las emisiones de CO<sub>2</sub> y en el protocolo de Kioto hoy Acuerdo de París, Colombia es uno de los países que se comprometió a realizar dichas actividades. A continuación, y con el ánimo de contextualizar todo el proceso jurídico en lo que se refiere al tema en estudio, se hace un pequeño muestreo en orden cronológico de aquellas normas que más impacto han causado frente a la implementación de fuentes no convencionales de energía.

### **10.1. Normatividad**

La Ley Ordinaria 1 /1984, en su artículo 63 implementó:

- Promoción de la aplicación de fuentes alternas de energía mediante la utilización de recursos energéticos localmente disponibles, especialmente en áreas donde los servicios públicos son deficientes.
- Evaluar y supervisar la ejecución de proyectos en zonas aisladas.
- Evaluar el potencial de FNCE.
- Efectuar estudios para el desarrollo de las FNCE con el fin de formular políticas a nivel nacional.

Ley 29 de 1990 y el Decreto 393 de 1991, se creó con el fin de impulsar la investigación en lo que se refiere al uso racional de energía (URE).

Mediante la Ley 164 de octubre de 1994 y el artículo 1o de la Ley 7a de 1994. Se aprobó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 1992. Encaminado a enfrentar los GEI (Gases de efecto Invernadero) y el cambio climático por medio de una política global.

Leyes 142 y 143 fueron reestructuradas en 1994 y se estableció cuáles eran los límites en cuanto a actividades de funcionamiento del sector energía eléctrica: generación, transmisión, distribución y comercialización para las SIN y ZNI. Se le asignó a la UPME elaborar el Plan Energético Nacional (PEN) y el Plan de Expansión del sector eléctrico.

La Ley 143 de 1994, la cual establece el régimen de las actividades de generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad, de acuerdo con actividades legales correspondientes al MME (Ministerio de Minas y Energía).

El INEA elaboró el Plan de Desarrollo de Energías Alternativas el cual fue publicado en 1995.

Se creó el Plan Energético Nacional (PEN) 1997 – 2010 Autosuficiencia Energética Sostenible, el cual es un documento que presenta ideas, perspectivas, retos, requerimientos y

competencias sobre el desarrollo futuro del sector energético colombiano, en este se ratificó la Convención Marco por parte del Congreso, respecto a las emisiones del GEI.

En diciembre del año 2000, se aprobó la Ley 620, 'Protocolo de Kioto, Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático', favoreciendo a Colombia en cuanto a uso del Mecanismo Desarrollo Limpio previsto en dicho Protocolo.

Colombia se acogió al Protocolo de Kioto, el cual ratificó mediante la Ley 697 del 2000. Se busca disminuir los efectos del cambio climático por la contaminación ambiental.

La ley 697 de 2001, fomenta el uso racional y eficiente (URE) de energía en Colombia. El cual adoptó normas y estrategias para garantizar la satisfacción de las necesidades energéticas (eficiencia).

Decreto 3652 y 3683 de 2003, los cuales establecen el programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y demás Formas de Energía No Convencionales con el fin de impulsar el uso de las fuentes alternativas de energía.

La resolución 18 0919 de junio de 2010, promueve la utilización de energías alternativas.

Después de este análisis de lo que ha ocurrido a nivel de medio ambiente desde hace varios años, nos vamos a detener en lo que nos concierne y es la base legal de la implementación de Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE). En el año 2014 el gobierno nacional sancionó la Ley 1715 la cual tiene como fin la promoción y desarrollo de proyectos que se refieran a las fuentes no convencionales de energía solar en todo el territorio nacional. En esta ley se definen las fuentes no convencionales de energía renovables como todos aquellos recursos de energía que sean renovables y que sean ambientalmente sostenibles, tales como la biomasa, los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, la energía eólica, la geotérmica, la solar y los mares. Otras como las sincrónicas que son aquellas que se producen por su movimiento natural y



las no sincrónicas las que cuya generación no responde de manera natural y son controladas mediante inversores, como es el caso de la eólica y la solar.

Esta ley además otorga incentivos a quienes inviertan, implementen o construyan este tipo de sistemas los cuales se resumen así:

- Implementar sistemas solares fotovoltaicos
- Se puede deducir de la base gravable para calcular el impuesto de renta, hasta el 50% del valor de la inversión realizada, en proyectos de energías renovables no convencionales. Esta deducción se puede aplicar en el primer año, o hasta en 5 años siguientes al año gravable en el que se hayan realizado la inversión.
- Los generadores de energía renovable en pequeña y gran escala, podrán vender a la red eléctrica el excedente de energía que ellos no consuman (esquema de créditos de energía), según lo disponga la CREG.
- Los equipos, elementos, maquinaria y servicios nacionales o importados que se destinen a la pre-inversión, inversión, medición y evaluación de las fuentes no convencionales de energía, estarán excluidos de IVA.
- Depreciación acelerada de los activos en 5 años, con una tasa anual del 20%.

En el 2015 también se expidió la resolución 0549 la cual establece los porcentajes mínimos y medidas de ahorro en agua y energía a alcanzar en las nuevas edificaciones y adoptar la guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones.

Lo anterior es el soporte legal de lo que se desea implementar, esto es, generación de energía no convencional; ahora bien, en cuanto a la forma como se podrían establecer las negociaciones, se presentan diferentes modalidades las cuales pueden ser contrato de arrendamiento (techo o sitio donde se puedan implementar los paneles) y venta de energía

generada por los mismos y mantenimiento general dos veces al año; mediante esta modalidad la empresa que implementa los paneles es quien se haría acreedora al mayor porcentaje de incentivos tributarios de la ley 1715 de 2014 y también los incentivos tributarios de los bonos de carbono si a bien se tiene inscribir el proyecto como tal. Serían dos figuras:

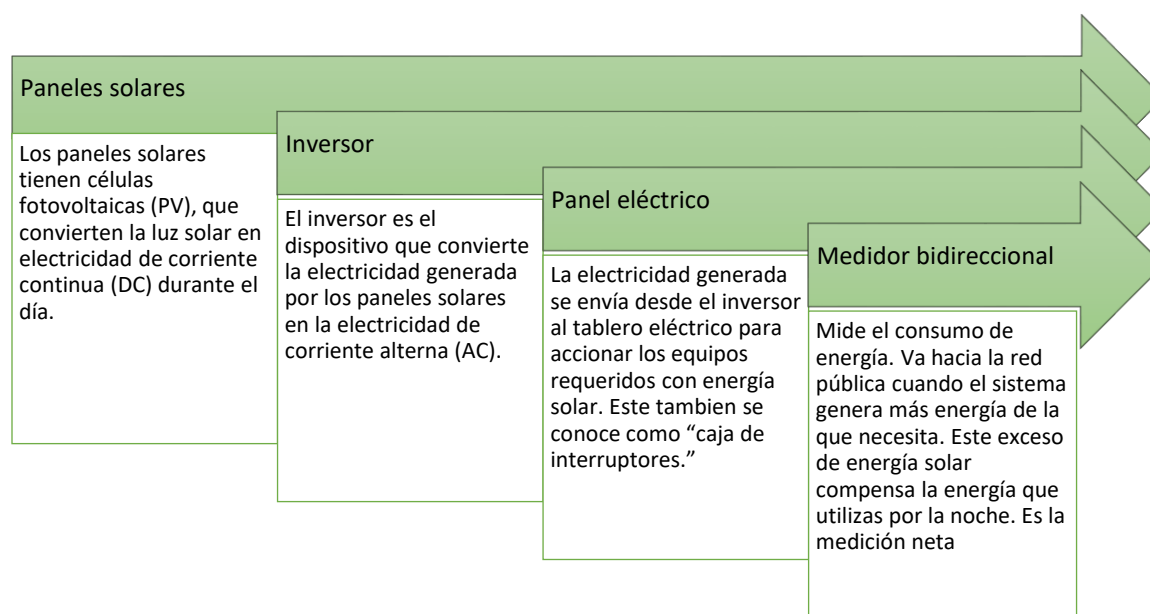
1. El contrato de arrendamiento de parte del inmueble o comodato y sólo venta de energía renovable enmarcado dentro de la prestación de servicios públicos.
2. Mediante esta opción se venden e instalan los equipos y posiblemente el mantenimiento anual se realizaría mediante un contrato de compraventa y uno de mantenimiento.

La primera opción se encuadra dentro de lo que se conoce como el Power Purchase Agreement en Colombia (PPA), contrato que se usa en la venta de energía renovable a largo plazo; Aguilar & Valencia (2017), plantea que es tal vez la mejor alternativa jurídica para este tipo de venta donde como se explicó se invierte en la energía pero no en los equipos y dentro del costo de la energía se involucran todos los gastos técnicos requeridos durante el tiempo pactado. Para que esta modalidad se cumpla hay que tener en cuenta la empresa que adquiere los equipos y la capacidad legal de quien quiere comprar la energía, pues debe llevarse a cabo un contrato de comodato generalmente del techo, por el tiempo que se vaya a vender la energía. Ambos contratos prorrogables, casi siempre se hace por un término de 15 a 30 años. Mediante este tipo de marco legal sugiere que la empresa vendedora de energía se inscriba en todos los programas de incentivos tributarios para que pueda gozar de estos y así compensar también la inversión inicial realizada.

Para la segunda opción se deberá entender que la empresa que suministra los equipos y que garantiza la instalación se someterá a todas las condiciones de ley en caso de que se quiera contratar con entidades públicas, pues debe acogerse a las condiciones del pliego de peticiones

que se emane de la empresa contratante. En este caso se debe conocer qué tipo de empresa es, para así saber cómo se contrataría.

A continuación, se hará un simple bosquejo de lo que técnicamente explicaría el proceso de los equipos que se instalan para la generación de la energía fotovoltaica.

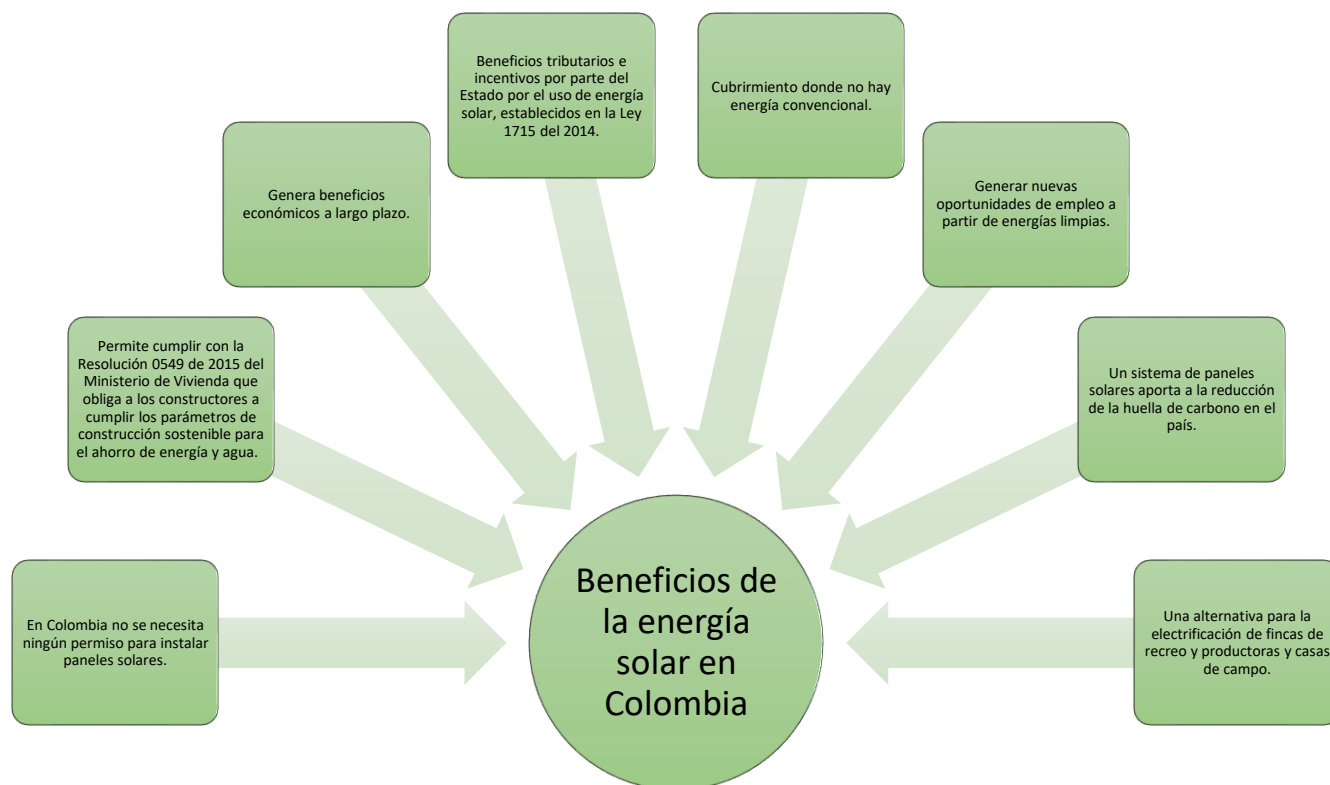


*Ilustración 1: Secuencia Instalación Equipos.*

*Fuente: autoría propia (2020)*

El siguiente es un resumen didáctico que nos permite enfatizar en los puntos más importantes en cuanto a los beneficios que trae la implementación de los equipos que generan

este tipo de energía solar.



*Ilustración 2: Beneficios de la Energía Solar en Colombia*

*Fuente: autoría propia (2020)*

## 11. Marco Contextual

El presente trabajo se pretende implementar en la Universidad Católica de Manizales, la cual está ubicada en la carrera 23 #60-63, Barrio La Estrella, Manizales, Caldas. Según la reseña histórica de la Universidad Católica de Manizales, el campus universitario de la IES ‘‘está conformado por 6 predios que suman un total de 55.369,14 metros cuadrados y cuenta con una infraestructura física representada en 24.176 metros cuadrados construidos, distribuidos en 14 edificaciones.’’ (UCM, 2021)

## 12. Metodología

El presente trabajo adopta un enfoque cuantitativo, toda vez que parte de un análisis objetivo y abstracto del objeto de estudio. Bajo este método se presentará un modelo que permita demostrar las bondades, eficiencia y economía producto de la implementación de un sistema solar fotovoltaico. Para ello, resulta fundamental utilizar herramientas estadísticas y numéricas que permitirán realizar estimaciones y pronósticos mediante aplicaciones prácticas. Igualmente, dichos resultados podrán ser susceptibles de generalizarse y comprobarse a partir de la implementación del proyecto.

Este trabajo también se sustenta de un análisis bibliográfico amplio y complejo con la finalidad de entender el origen, evolución y consecuencias actuales producidas por la emisión de gases de CO<sub>2</sub>, así como las medidas adoptadas para contrarrestar dichas emisiones.

De igual manera se realizó un análisis de convenios y tratados internacionales celebrados por Colombia que obligan a los Estados parte a tomar medidas de mitigación, reducción y control de las emisiones de gases efecto invernadero, identificando entre ellas la estructuración de proyectos de reducción de CO<sub>2</sub> a través de la implementación de sistemas de energía solar Fotovoltaica sostenible. Documentación de casos de éxito realizados en la zona, estudio de normatividad contable y tributaria aplicable al control, conservación y mejoramiento del medio ambiente.

Para la obtención de un resultado coherente, organizado y secuencial, se propuso 3 objetivos específicos que se abordaron mediante metodologías determinadas como se describen a continuación:

### **12.1. Medición de Huella de Carbono**

La medición de huella de carbono generada actualmente por la UCM, para ser comparada posteriormente con las emisiones que resultarían luego de instalar el sistema solar fotovoltaico sostenible a través de paneles solares. Para dicha medición se tendrán como fuentes de información datos proporcionados por la CHEC sobre consumos históricos de energía en la UCM.

### **12.2. Capacidad de Generación de Energía Solar Fotovoltaica**

Se llevará a cabo un estudio sobre la capacidad máxima de generación de energía solar fotovoltaica que podría instalarse en las cubiertas de campus universitario UCM. Con este fin se realizará un estudio técnico que involucra aspectos como estructura de la planta física actual, capacidad y estado de las cubiertas existentes, potencial para recibir recurso energético en la zona, sistema eléctrico y capacidad para adaptarse al nuevo proyecto.

### **12.3. Construcción de Modelo Técnico-económico**

Desarrollo de un modelo técnico económico con los datos obtenidos anteriormente complementados con modelos financieros, económicos y tributarios, que permitan analizar monto de recursos para la inversión, tiempo de retorno de la misma, flujos de caja requeridos para sostener la inversión, beneficios tributarios ambientales contemplados en la normatividad vigente a fin de acceder a descuentos tributarios como descuentos en renta, depreciación acelerada, exención de impuesto a las ventas y aranceles en la adquisición de dispositivos que hacen parte del sistema, en el marco de la Ley 1715 de 2014, Ley 1955 de 2019, Decreto 2143 de 2015 del Ministerio Minas y Energía, Hacienda y Crédito Público, comercio , industria y turismo y de ambiente y desarrollo sostenible, resoluciones UPME Y Ministerio de medio ambiente.

Ahora bien, para dar respuesta a dichos compromisos, se realizará un estudio y cotización por parte de una empresa capacitada, quienes determinarán a ciencia cierta los materiales y valores que componen la inversión inicial y como ello se recupera a través del ahorro anual de las facturas que se evita pagar por los servicios de energía convencional. Asimismo, teniendo en cuenta los beneficios tributarios que ofrece el ministerio de la ley, se realizará una conversión matemática para determinar las cifras y valores ahorrados, representados en los descuentos en renta, depreciación acelerada, exención de impuesto a las ventas y aranceles en la adquisición de dispositivos, tanto en la inversión inicial, como durante los 25 años de vida útil del sistema fotovoltaico.

Finalmente, para determinar el impacto ambiental, se identifica las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas durante 1 año por la UCM, cuyo valor será el que se evitará emitir durante el primer año de funcionamiento del sistema fotovoltaico. Posteriormente, dependiendo de la proyección de energía generada, se determina el porcentaje de emisiones reducidas anualmente y durante el tiempo de vida útil del arreglo fotovoltaico.

### **13. Resultados**

La información que a continuación se expondrá es producto de un estudio realizado con el apoyo de la empresa GEOMETRIK S.A.S, gerente técnico ingeniero Sebastián Cardozo (2021). Este estudio representa una proyección técnica a fin de dar cuenta de los beneficios económicos, financieros, tributarios y medioambientales que sustentan la presente propuesta académica, visibilizando las ventajas ambientales, económicas y tributarias de migrar a fuentes de energía solar fotovoltaica.

### 13.1. Medición de Huella de Carbono:

Durante el año 2020 la UCM consumió energía eléctrica correspondiente a 210.232,88 KWh, provocando una emisión de gases efecto invernadero de 81.517 kg. Este resultado se obtiene a partir del valor de energía eléctrica producido durante un año multiplicado por 388, cuyo resultado es dividido entre 1000000.

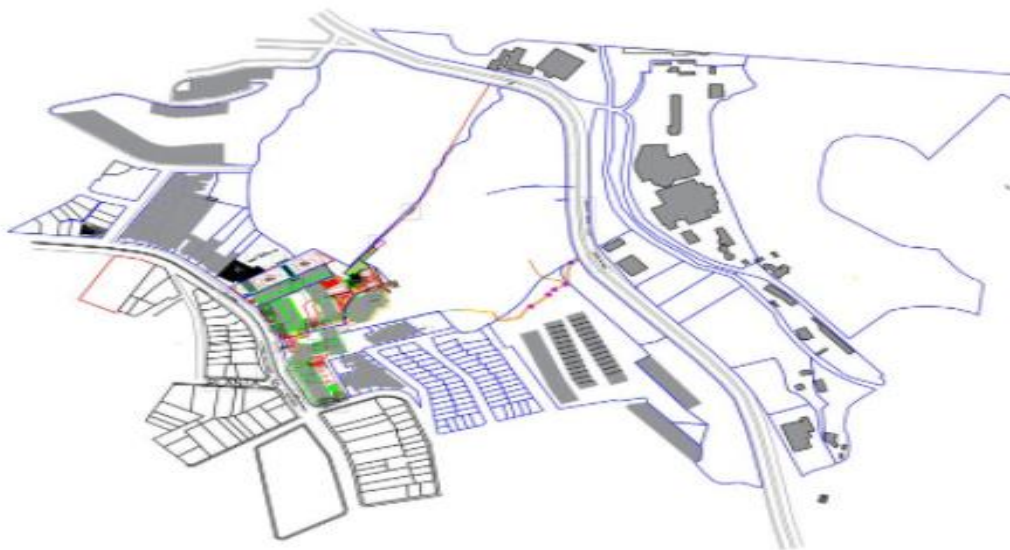
Fórmula establecida para calcular emisiones de CO<sub>2</sub>.

$$210.232,88 * 388 / 1000000$$

### 13.2. Capacidad de Generación de Energía Solar Fotovoltaica

#### 13.2.1. Área Disponible para la Implementación del Sistema Fotovoltaico.

Para determinar el área disponible de instalación de los paneles solares, se utilizaron los planos de cubierta aportados por la Universidad Católica de Manizales. Área calculada en 1.390 Metros cuadrados.



*Ilustración 3: Planos de la cubierta de la UCM.*

*Fuente: UCM, 2020*



En la siguiente imagen se puede observar la ubicación de los paneles solares en la Universidad Católica de Manizales:



*Ilustración 4: Universidad Católica de Manizales.*

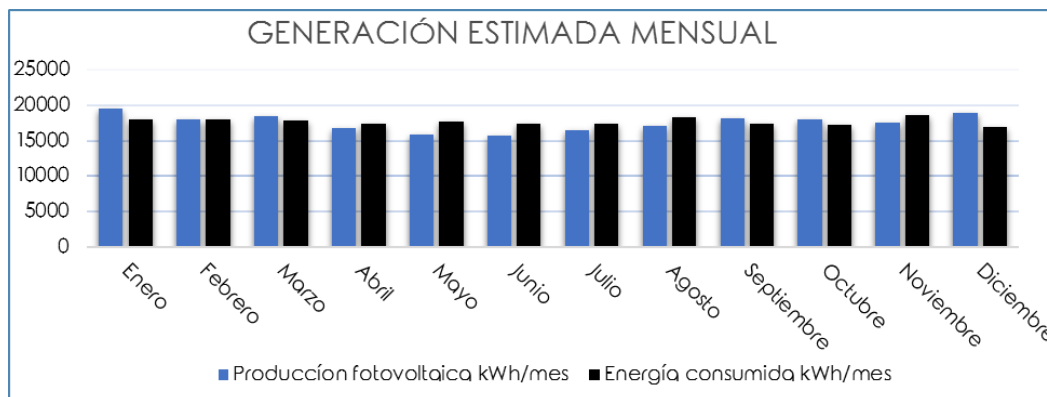
*Fuente: Geometrik, 2020*

La universidad Católica de Manizales cuenta con condiciones óptimas para implementar un sistema solar fotovoltaico, pues la instalación de los paneles solares tendrá garantizado una adecuada exposición al sol, sin la interferencia de algún objeto como árboles o edificaciones que produzca sombra e impida que llegue la luz solar. De otro lado, se observa que la Universidad Católica de Manizales cuenta con techos adecuados para soportar la instalación de este tipo de material.

### ***13.2.2. Generación de Energía Fotovoltaica Mensual:***

Una vez se tenga claridad sobre las particularidades contextuales y climáticas del lugar donde se pretende realizar la instalación, se procede a realizar un análisis numérico con el apoyo

de un software de EEUU denominado PVWatts para calcular el comportamiento energético mensual de la instalación fotovoltaica, como se puede observar en la siguiente tabla propia del estudio realizado por el señor Cardozo (2021):



*Ilustración 5: Generación estimada Mensual.*

*Fuente: Geometrik, 2020.*

En esta gráfica se puede apreciar que la producción fotovoltaica suple el 100% del consumo eléctrico de las instalaciones.

### ***13.2.3. Potencia a Instalar:***

A partir de las coordenadas geodésicas, el Software ayudó a determinar la potencia a instalar en 175.78 kWp sobre la cubierta de la Universidad Católica de Manizales. Esta potencia fijó el tamaño de arreglo fotovoltaico, es decir, la cantidad de paneles que se van a instalar estimado en 374 paneles solares.

En esta medida, la potencia a instalar dividida entre el número total de paneles que se utilizarán, dará como resultado la potencia que tendrá cada panel, en este caso, se estima una potencia de 470 vatios por cada uno.

El tipo de Módulo que se seleccionó para el estudio está compuesto de Silicio Cristalino (Marca Yingli o Jinko), el cual, se caracteriza por ser una de las marcas más usadas y eficiente para la generación de ESF.

El inversor que se eligió para la proyección del presente modelo es de una arquitectura basada en inversores de cadena (CPS). En este caso, los inversores son para tomar la energía que generan los paneles solares -corriente directa- y a su vez convertirlo en corriente alterna, sincronizándose con la luz eléctrica, y así poder consumir dicha energía.

Potencia a instalar:	175.78 kWp
Tipo de módulos:	Silicio Cristalino (Marca Yingli o Jinko) Tamaño 2 ml x 1 ml. Área 2M2
Inversor:	Arquitectura basada en inversores de cadena (CPS)
Sistema de montaje:	Estructura fija en techo.
Área aproximada requerida:	1390 Metros cuadrados.
Producción de energía anual aprox:	210232 kWh
% de Demanda Promedio a cubrir Aproximada por el sist. FV:	100 %

### **13.3. Construcción de Modelo Técnico-económico**

#### ***13.3.1. Monto de Recursos Para la Inversión:***

En el siguiente cuadro se exponen los materiales esenciales para la construcción del modelo, la cantidad y el presupuesto:

<b>Item</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
1	Panel solar monocristalino Trina Solar o Yingli de 470 Wp	374
2	Inversores CPS SCA36KTL- DO/US-480	2
2	Inversores CPS SCA60KTL- DO/US-480	1
3	Sistema de monitoreo de generación	1
4	Materiales y protecciones eléctricas	1
5	Acometida DC	1
6	Acometida AC	1
7	Diseño eléctrico	1
8	Diagramas unifilares	1
9	Coordinación de protecciones	1
10	Análisis de corto circuito	1
11	Medidor bidireccional certificado	1
12	Solicitud de conexión	1
13	Estudio de conexión simplificado	1
14	Instalación	1
15	Certificación RETIE	1

16	Póliza de garantía de generación eléctrica, póliza de cumplimiento y póliza de buen manejo de anticipos	1
17	Todas las diligencias y trámites necesarios con el operador de red para la conexión efectiva del sistema y entrega del sistema en operación a completa satisfacción	1
18	Trámite ante la UPME para acceder a los beneficios tributarios	1

Tabla 1. Descripción y cantidad de elementos para la inversión.

Fuente: Geometrik, 2020

Tamaño del sistema	<b>175,780 kWp</b>
Producción anual de energía (kWh)	<b>210232,88</b>
<b>Total Ítems 1 y 2</b>	<b>US 79.604</b>
<b>TOTAL Ítems restantes</b>	<b>US 91.296 + IVA</b>
<b>SUBTOTAL</b>	<b>US 170.900</b>
<b>TOTAL</b>	<b>US 188.246</b>

Tabla 2. Recursos para la inversión.

Fuente: Geometrik, 2020.

- **Nota:** El proyecto queda excluido totalmente de IVA si se presenta y aprueba previamente ante la UPME, sin embargo, el IVA puede ser descontado posteriormente por medio de diferentes recursos contables. Paneles solares e inversores están excluidos automáticamente de IVA de acuerdo al PND 2018 – 2022
- **Nota 2:** El presupuesto incluye un estudio de conexión simplificado que permitirá visualizar las posibles restricciones que podría tener el operador de red para la conexión de los sistemas. Si llegase a existir algún tipo de restricción y esta no se puede solucionar conjuntamente con el Operador de red (CHEC), habría que ajustar el tamaño del sistema fotovoltaico.

**13.3.2. Garantías:** El siguiente cuadro expone el tiempo de garantía que tendrá cada material esencial para la construcción del modelo fotovoltaico:

<b>Componentes</b>	<b>Garantía</b>
Módulos fotovoltaicos cristalinos	*10/25 años
Inversores sinusoidales	5 años
Cableado	25 años
Estructura de montaje en alum.	12 años
Instalación	10 años

*Tabla 3. Garantía.*

*Fuente: Geometrik, 2020*

\*Los módulos tienen garantía de 10 años por defectos de manufactura y por producción de energía de 25 años al 80% de la potencia nominal.

**13.3.3. Financiación:** Las alternativas de financiación sería Leasing o crédito verde a través de Bancolombia, BBVA o CHEC lo cual está sujeto a aprobación por parte del Banco. Puede utilizarse también el modelo PPA, consistente en un contrato de compraventa de energía donde una parte será la que genera la electricidad y la otra que será el propietario de la cubierta adquiere la energía generada por el primero. En este caso, el propietario de la cubierta y consumidor final (UCM) no tendrá que generar ningún tipo de inversión y compraría el KW de energía a precios muy inferiores a los del operador tradicional.

### 13.3.4. Tiempo de Retorno de la Inversión:



Ilustración 6: Retorno de la inversión sin incentivos tributarios.

Fuente: Geometrik, 2020

La presente gráfica representa el retorno de la inversión sin incentivos tributarios analizados anualmente. En este caso se observa que en los primeros 6 años de estar en funcionamiento el sistema fotovoltaico se recupera la inversión. Sin embargo, a partir del año 7 en adelante hasta cumplir los 25 años de vida útil del sistema solar, se observa que, se genera un ahorro anual, el cual aumenta de manera proporcional con el tiempo que transcurre. Estimándose un ahorro acumulado al año 25 de \$ 3.532.471.194.

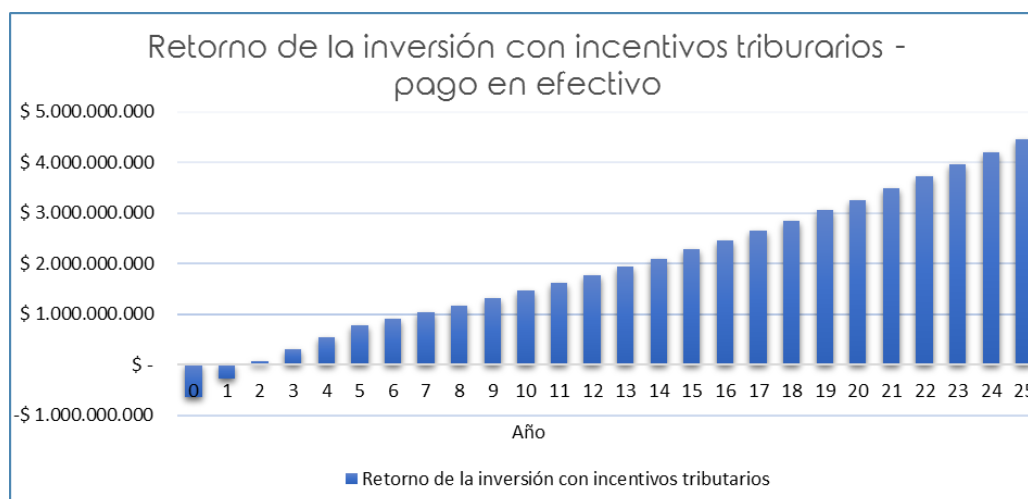


Ilustración 7: Retorno de la inversión con incentivos tributarios.

Fuente: Geometrik, 2020

La presente gráfica representa el retorno de la inversión con incentivos tributarios analizados anualmente. En este caso, se observa que en los primeros 2 años de estar en funcionamiento el sistema fotovoltaico se recupera la inversión. Sin embargo, a partir del año 3 en adelante hasta cumplir los 25 años de vida útil del sistema solar, se observa que, se genera un ahorro anual, el cual aumenta de manera proporcional con el tiempo que transcurre.

Estimandose un ahorro acumulado al año 25 de \$ 4.465.472.382.

### **13.3.5. Flujo de Ahorros:**

Los siguientes valores contemplan los flujos de caja requeridos para sostener la inversión, y los ahorros generados:

Año No.	Producción KWh/año estimado	Ahorro en la factura *inflación anual 5%	Retorno de la inversión sin incentivos tributarios	Retorno de la inversión con incentivos tributarios
0			-\$ 696.510.084	-\$ 632.329.156
1	210232,9	\$ 102.231.877	-\$ 594.278.207	-\$ 285.385.896
2	208130,6	\$ 106.270.036	-\$ 488.008.171	\$ 65.595.523
3	206049,2	\$ 110.467.702	-\$ 377.540.469	\$ 302.529.057
4	203988,8	\$ 114.831.176	-\$ 262.709.292	\$ 543.826.064
5	201948,9	\$ 119.367.008	-\$ 143.342.285	\$ 789.658.904
6	199929,4	\$ 124.082.005	-\$ 19.260.280	\$ 913.740.908
7	197930,1	\$ 128.983.244	\$ 109.722.964	\$ 1.042.724.152



8	195950,8	\$ 134.078.082	\$ 243.801.046	\$ 1.176.802.234
9	193991,3	\$ 139.374.166	\$ 383.175.213	\$ 1.316.176.401
10	192051,4	\$ 144.879.446	\$ 528.054.659	\$ 1.461.055.847
11	190130,8	\$ 150.602.184	\$ 678.656.843	\$ 1.611.658.031
12	188229,5	\$ 156.550.970	\$ 835.207.813	\$ 1.768.209.001
13	186347,2	\$ 162.734.734	\$ 997.942.546	\$ 1.930.943.735
14	184483,8	\$ 169.162.756	\$ 1.167.105.302	\$ 2.100.106.490
15	182638,9	\$ 175.844.684	\$ 1.342.949.986	\$ 2.275.951.175
16	180812,5	\$ 182.790.549	\$ 1.525.740.536	\$ 2.458.741.724
17	179004,4	\$ 190.010.776	\$ 1.715.751.312	\$ 2.648.752.500
18	177214,4	\$ 197.516.202	\$ 1.913.267.514	\$ 2.846.268.702
19	175442,2	\$ 205.318.092	\$ 2.118.585.606	\$ 3.051.586.794
20	173687,8	\$ 213.428.156	\$ 2.332.013.762	\$ 3.265.014.950
21	171950,9	\$ 221.858.569	\$ 2.553.872.331	\$ 3.486.873.519
22	170231,4	\$ 230.621.982	\$ 2.784.494.313	\$ 3.717.495.501
23	168529,1	\$ 239.731.550	\$ 3.024.225.863	\$ 3.957.227.051
24	166843,8	\$ 249.200.947	\$ 3.273.426.810	\$ 4.206.427.998
25	165175,4	\$ 259.044.384	\$ 3.532.471.194	\$ 4.465.472.382

*Tabla 4: Flujo de Ahorros.*

*Fuente: Geometrik, 2020*

*NOTA: Los presentes valores deberán ser actualizados en su momento de aplicación, puesto que corresponden al año 2020.*

El modelo técnico económico sistematizado anteriormente, da cuenta de una especificidad numérica, estadística y gráfica, cuyos resultados representan los valiosos beneficios a nivel económico, financiero y tributario, que por su relación intrínseca, serán analizados integralmente en los siguientes apartados.

Por un lado, los beneficios económicos y financieros que se obtendrán a partir de la implementación del presente estudio, serán ahorros proyectados en los próximos 25 años de funcionamiento del arreglo fotovoltaico, los cuales, se obtienen mediante el ahorro mensual del pago de facturas que se producirían si la UCM no continuara abasteciéndose de energía convencional.

El ahorro en la factura durante el primer año será de \$102.231.877, valor calculado con una inflación anual del 5%. Dicho valor será abonado al valor de la inversión que es de \$ 696.510.084, quedando un valor adeudado de -\$ 594.278.207. De la misma forma, en el segundo año, se realizará un abono de \$ 106.270.036, quedando un pasivo de -\$ 488.008.171. En el tercer año se realizará un abono de \$ 110.467.702, adeudando un valor de -\$ 377.540.469 y sucesivamente hasta pagar el valor total de la inversión en el año 6.

A partir del año 7 en adelante se generarán ahorros, los cuales, durante los 25 años de vida útil del sistema solar fotovoltaico, constituyen un total de \$ 3.532.471.194. Este ahorro permitirá mejorar el flujo de caja, toda vez que, ya no se desembolsa dinero para pago de facturas de energía de luz. Esta descripción corresponde a la columna Retorno de la inversión sin incentivos tributarios.

Aunado a lo anterior, el retorno de la inversión con incentivos tributarios, es otro de los beneficios económicos y financieros que se avistan con la presente propuesta. Pues como se

evidencia en el cuadro, la inversión del sistema fotovoltaico es de \$ 632.329.156, cuyo valor se recupera en un tiempo mucho más corto, exactamente los primeros 2 años de funcionamiento del modelo. Toda vez que, para la recuperación de la inversión no solo se tiene en cuenta el ahorro anual de la factura que se hubiese tenido que pagar al utilizar energía convencional, sino que también suma un importante aporte los beneficios tributarios que se perciben de manera anual. Posterior al año 3 en adelante, se generarán ahorros anuales, los cuales, durante los 25 años de vida útil del sistema solar fotovoltaico corresponden un total de \$ 4.465.472.382.

Por consiguiente, el presente proyecto constituye una propuesta con múltiples ventajas económicas, porque no solo se recupera la inversión en poco tiempo, sino que también genera flujos de caja disponibles que pueden ser aprovechados en otras inversiones.

Por otro lado, desde el marco normativo se promueve e incentiva al uso de fuentes no convencionales de energía (FNCE), un ejemplo de ello, es la Ley 1715, la cual impulsa el uso de energías limpias, otorgando beneficios tributarios en impuesto de renta, depreciación, aranceles e IVA. Dicha legislación da cuenta de ello como a continuación se expone:

Artículo 11 Ley 1715 de 2014: Los contribuyentes del impuesto sobre la renta que realicen inversiones en investigación. Desarrollo e inversión para la producción y utilización de energía a partir FNCE o gestión eficiente de la energía, tendrán derecho a deducir hasta el 50% del valor de las inversiones en el pago de su impuesto de renta. El valor para deducir anualmente no puede ser superior al 50% de la renta líquida del contribuyente. Dicha deducción puede aplicarse por los 5 años siguientes al año gravable en que se haya efectuado la inversión.

Artículo 12 Ley 1715 de 2014: Estarán excluidas del impuesto al valor agregado IVA las compras de bienes y servicios, equipos, maquinaria, elementos y/o servicios nacionales o importados necesarios para la puesta en marcha.

Artículo 13 Ley 1715 de 2014 Exención del pago de los Derechos Arancelarios de Importación de maquinaria, equipos, materiales e insumos destinados exclusivamente para labores de pre inversión y de inversión de proyectos con FNCE.

Artículo 14 Ley 1715 de 2014: Gasto que la ley permite deducir al momento de declarar el impuesto sobre la renta, a través de la figura depreciación acelerada en una proporción del valor del activo que no puede superar el 20% anual.

Tal como lo ilustra la tabla de flujo de ahorros en la columna retorno de la inversión con incentivos tributarios, a partir del tercer año la caja del proyecto empieza a tener comportamiento positivo, indicando que la inversión ya se ha recuperado. Si se compara este flujo con el de retorno de la inversión sin incentivos tributarios, puede observarse como el retorno de la inversión presenta flujos positivos a partir del año seis. De esta manera puede observarse como la instalación del sistema solar basado en paneles solares, no solo genera ahorros en consumos mensuales de energía, sino que está contribuyendo al retorno de la inversión a mediano plazo, si se hace uso de los beneficios tributarios otorgados por la legislación.

Sin embargo, los beneficios económicos, financieros y tributarios no son los únicos que se resaltan en el presente proyecto, pues el sistema fotovoltaico tiene un impacto positivo en el medio ambiente, especialmente en la disminución drástica de emisiones de CO<sub>2</sub>, ello en razón a que el modelo se alimenta de energías limpias, ilimitadas y renovables como lo es la luz solar.

La medición de huella de Carbono que se expone en la siguiente gráfica, da cuenta de la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> por cada año y durante el tiempo de vida útil del arreglo fotovoltaico. Dichos resultados se obtienen a partir de comparación de la cantidad de CO<sub>2</sub> que se evita producir por un **kl** de hora generado.

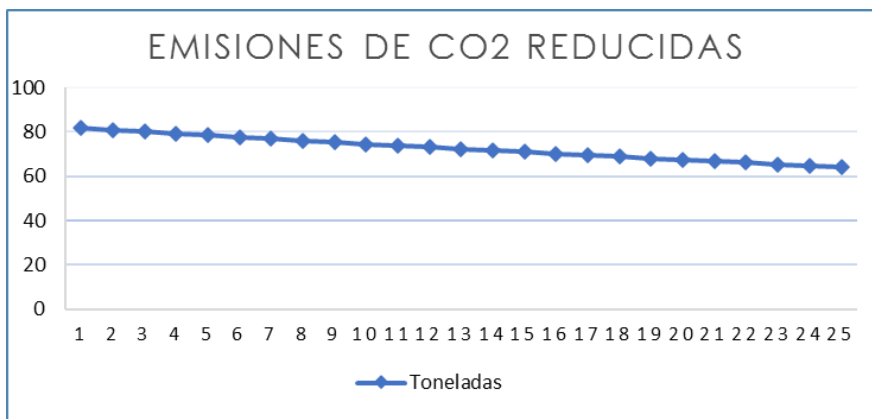


Ilustración 8: Emisiones de CO2 Reducidas.

Fuente: Geometrik, 2020.

Las emisiones de CO2 que provoca la energía convencional en un año en la Universidad Católica de Manizales son de 81.517 kg, valor que será reducido durante el primer año de funcionamiento del sistema solar fotovoltaico. Igualmente, se estima que durante los 25 años de vida útil del sistema solar fotovoltaico se reducirán emisiones de CO2 en 1812,32 toneladas.

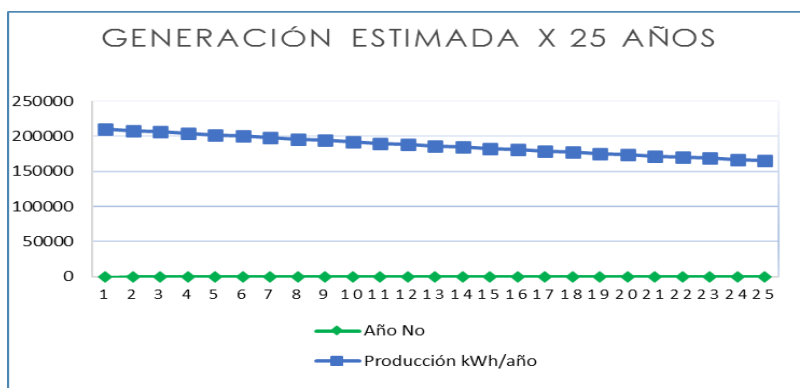


Ilustración 9: Producción de KWh durante 25 años.

Fuente: Geometrik, 2020.

Esta gráfica representa la producción de KWh durante la vida útil del arreglo fotovoltaico, en este caso, se evidencia que la instalación fotovoltaica estima un tiempo de vida de 25 años, los cuales, en su transcurrir constante, afectará la producción de unidad de potencia

fotovoltaica, disminuyendo su producción por cada año que pase. Tal cual como se aprecia en la gráfica, en donde en el año 1 de instalación, se está produciendo una unidad de energía de 210.231,88 KWh, mientras que en el año 25 estaría produciendo una unidad de energía de 165.175,3783 KWh. Lo que permite concluir que, a medida que pase el tiempo, la producción de energía fotovoltaica disminuirá.

	Proyección de Generación Energética del Sistema X Año	Emisiones de CO2 Reducidas
Año No°	Producción KWh/año	Toneladas
1	210.232,88	81,5703574
2	208.130,5512	80,7546539
3	206.049,2457	79,9471073
4	203.988,7532	79,1476363
5	201.948,8657	78,3561599
6	199.929,377	77,5725983
7	197.930,0833	76,7968723
8	195.950,7824	76,0289036
9	193.991,2746	75,2686146
10	192.051,3619	74,5159284
11	190.130,8482	73,7707691
12	188.229,5398	73,0330614
13	186.347,2444	72,3027308
14	184.483,7719	71,5797035
15	182.638,9342	70,8639065
16	180.812,5449	70,1552674
17	179.004,4194	69,4537147
18	177.214,3752	68,7591776
19	175.442,2315	68,0715858
20	173.687,8092	67,39087
21	171.950,9311	66,7169613
22	170.231,4218	66,0497916
23	168.529,1075	65,3892937
24	166.843,8165	64,7354008

25	165.175,3783	64,0880468
Generación estimada x 25 años	4670925,549	1812,31911

Tabla 5: Cuadro comparativo entre la Proyección Energética y las Emisiones de CO2 Reducidas.

Fuente: Geometrik, 2020.

- En el año 1 la Proyección de Generación Energética será de 210232,88 KWh, y se reducirá 81,5703574 kg de emisiones de CO2.
- En el año 5 la Proyección de Generación Energética será de 201.948,8657 KWh, y se reducirá 78,3561599 kg de emisiones de CO2.
- En el año 10 la Proyección de Generación Energética será de 192.051,3619 KWh, y se reducirá 74,5159284 kg de emisiones de CO2.
- En el año 15 la Proyección de Generación Energética será de 182.638,9342 KWh, y se reducirá 70,8639065 kg de emisiones de CO2.
- En el año 20 la Proyección de Generación Energética será de 173.687,8092 KWh, y se reducirá 67,39087 kg de emisiones de CO2.
- En el año 25 la Proyección de Generación Energética será de 65.175,3783 KWh, y se reducirá 64,0880468 kg de emisiones de CO2

Tanto en las gráficas como en el cuadro anterior se aprecia que durante los 25 años de vida útil del arreglo fotovoltaico, se va reduciendo la proyección de generación energética y las emisiones de CO2 que se evitan producir, pues a medida que va pasando los años y debido al mismo desgaste del sistema, no es posible producir la misma cantidad de energía requerida por la Universidad Católica de Manizales y debido a ello, es necesario la utilización de energía convencional para suplir la cantidad faltante. Dicha energía continuará produciendo pequeñas

cantidades de CO<sub>2</sub>, y es por esta razón, que en la gráfica se observa valores de reducción de CO<sub>2</sub> que disminuyen proporcionalmente con el paso del tiempo.

Aunque las finalidades de la energía convencional y la energía solar fotovoltaica son las mismas, las formas de obtenerlo y las consecuencias medioambientales son distintas, pues la energía convencional contribuye con las emisiones de CO<sub>2</sub>, mientras que los sistemas solares fotovoltaicos provienen de energías limpias, que no contaminan el medio ambiente, y provienen de recursos naturales ilimitados como la energía solar.

NOTA: El presente estudio no describe un diseño detallado, sino que realiza unas estimaciones proyectivas del arreglo fotovoltaico.

#### **14. Discusión de Resultados**

El sistema solar fotovoltaico estaría compuesto por 374 paneles con una potencia de 175.78 kWp, supliendo el 100% del consumo eléctrico de las instalaciones de la UCM. La inversión inicial sin incentivos tributarios es de \$ 696.510.084, cuyo valor podrá ser recuperado en los primeros 6 años de funcionamiento del arreglo fotovoltaico, mediante el ahorro anual de las facturas que evita pagar la institución utilizando energía convencional. Sin embargo, se prevé una inversión inicial aplicando los incentivos tributarios de \$ 632.329.156, cuyo valor será recuperado en los primeros 2 años. El dinero que se ahorra de manera posterior a la recuperación de la inversión, permitiría obtener un flujo de caja disponible, brindando apertura a nuevas inversiones que la universidad considere pertinente, para garantizar calidad en sus servicios, bienestar y un desarrollo sostenible justo y equilibrado.

En esta medida, el modelo fotovoltaico beneficia de manera multidimensional la UCM, porque no solo tiene un impacto económico, financiero y tributario favorable, sino que a nivel ambiental, tiene repercusiones positivas, toda vez que, al tratarse de una energía renovable



limpia, se evitara producir emisiones de CO<sub>2</sub>, lo que contribuye a disminuir la cifra de contaminación ambiental. Igualmente, se espera que paulatinamente se migre a este tipo de energía renovable, pues no solo es ilimitado y autosustentable, sino que también evita la explotación de recursos naturales como petróleo, gas y carbón, de los cuales se sostiene la energía convencional, y cuyas reservas en un futuro estarán agotadas.

## **15. Conclusiones**

La presente propuesta académica permitió obtener claridad sobre los beneficios a nivel ambiental, cuyos resultados se pudieron identificar a partir de las mediciones de generación de gases con efecto invernadero producidas por el consumo de energía eléctrica por parte de la UCM, los cuales, se disminuirían totalmente al instalar el arreglo fotovoltaico en las cubiertas del campus universitario-UCM; sin embargo, para determinar la viabilidad y eventual funcionamiento del sistema en las instalaciones de la universidad, fue necesario identificar la capacidad máxima de generación de energía solar fotovoltaica, el cual fue de 175.78 kWp, y cuyo valor suple las necesidades energéticas que consume la UCM.

De igual manera, con intención de proyectar la instalación en la universidad Católica de Manizales, se construyó un modelo técnico-económico del arreglo fotovoltaico en donde se evidencian los beneficios económicos, financieros y tributarios, identificándose que, en tanto a corto, como a mediano tiempo se recupera la inversión inicial para la instalación del arreglo fotovoltaico en la UCM. Pese a ello, también se perciben ahorros económicos una vez se recupera la inversión, generando flujos de caja disponibles para ser posteriormente utilizados en otras inversiones que la UCM considere conveniente en términos de garantizar un servicio de alta calidad y amigable con el medio ambiente.

## 16. Recomendaciones

Se recomienda que se amplíe epistemológicamente los impactos positivos que se genera en la salud de las personas al instalar energías renovables autosustentables, ya que, si bien se reconoce que disminuye la emisión de gases de CO<sub>2</sub>, se desconoce los impactos en la salud física de las personas, así como en el ecosistema.

Por otra parte, es importante tener en cuenta que para acceder a los beneficios tributarios brindados en la Ley 1715 de 2014, es fundamental cumplir con los requisitos solicitados por la unidad de planeación minero energética.

Finalmente, se recomienda que al momento de ejecutar el proyecto, se inspeccione que la zona de ubicación de los paneles solares para el sistema solar fotovoltaico, este libre de postes o árboles que puedan interferir con la luz directa sobre el panel solar y afectar el funcionamiento eficaz del mismo.

## 17. Glosario

Con el entendido de la importancia de la implementación de este tipo de proyectos se explicará de manera sencilla, varios términos que se emplean en el desarrollo del proyecto y a los que se invita se empiece a socializar entre todos los interesados en el tema.

**Panel solar:** ‘es el elemento principal que compone la planta de autogeneración solar fotovoltaica. Este panel es un elemento construido como un “sándwich” de materiales, entre ellos comúnmente el silicio, que al estar en contacto con la radiación solar produce energía eléctrica’

(Yingli Solar, 2016, citado por Aguilar & Valencia, 2017, p. 24).

### **Los sistemas fotovoltaicos (FV):**

Un sistema fotovoltaico es un conjunto de dispositivos que aprovechan la energía producida por el sol y la convierten en energía eléctrica. Los sistemas fotovoltaicos se

basan en la capacidad de las celdas fotovoltaicas de transformar energía solar en energía eléctrica. En un sistema conectado a la red eléctrica esta energía, mediante el uso de un inversor, es transformada a corriente alterna (AC), la cual puede ser utilizada en hogares e industrias (Gélvez, 2019)

**kW:**

Es la unidad con que se mide la potencia eléctrica en el mercado colombiano.

Es también la base para explicar la cantidad de energía consumida en kWh. Un kWh equivale a 1000 vatios. Un vatio es la potencia eléctrica producida por una diferencia de potencial de 1 voltio y una corriente eléctrica de 1 amperio (Wikipedia, 2016)

**kWh:**

Es la unidad que se usa en Colombia para facturar la cantidad de energía eléctrica consumida por los usuarios. Para esta investigación se define una capacidad de generación de 1.000.000 de kWh por año. Esta magnitud es tomada como una propuesta metodológica que permitirá escalar los resultados como múltiplos de este valor para futuras proyecciones y que está en el límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala, el cual es de 1000 kWh o 1 MW (UPME, 2015).

**Técnicamente un kWh:**

Es una unidad de energía. Equivale a la energía desarrollada por una potencia de un kilovatio (kW) durante una hora, equivalente a 3,6 millones de julios. El kilovatio-hora se usa generalmente para la facturación de energía eléctrica, ya que es más fácil de utilizar que la unidad de energía del sistema internacional de unidades, el julio, la cual corresponde a un vatio- segundo (W s). El julio es, por tanto, una unidad demasiado

pequeña, lo que obligaría a emplear cifras demasiado grandes. Kv Kilovoltio = 1.000 voltios. (EPM, 2016c).

**kWp:**

Es la unidad de medida de potencia con la cual se nombra la capacidad de un sistema de generación solar fotovoltaica. Se denomina potencia pico y corresponde a la máxima potencia que genera un panel solar en las horas de máxima insolación, en promedio 1000 w/m<sup>2</sup> (energía incidente por metro cuadrado) y a 25 oC de temperatura ambiente.

(Aguilar & Valencia, 2017, p. 25)

**Leasing:** Según San Juan, P. (2018), el leasing permite que dispongamos de bienes, en este caso una instalación fotovoltaica, mediante un contrato de alquiler o arrendamiento en el que se prevé la opción de compra por parte del arrendatario.

**PPA:**

Enertiva, energía alternativa lo define de la siguiente manera:

Por sus siglas en inglés Power Purchase Agreement, es un contrato de compra de energía, el cual representa un contrato privado por el cual un vendedor se compromete a vender energía a un comprador, y éste a consumirla durante un período de tiempo determinado y precio acordado que es rentable para ambas partes, es decir, obteniendo el comprador un precio más económico que el del mercado habitual y el vendedor obtiene un precio que hace rentable el proyecto (Enertiva, 2017).

## 18. Referencias Bibliográficas

Aguilar, L. H., & Valencia, H. C. (2017). *Análisis de factibilidad de un proyecto de autogeneración eléctrica fotovoltaica en Colombia para áreas productivas menores de 10.000 m<sup>2</sup>*. Medellín: UNIVERSIDAD EAFIT .

Cardona, L. F. (2018). *DIAGNÓSTICO, PERSPECTIVAS Y DESEMPEÑO DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN EL DEPARTAMENTO DE CALDAS*. Manizales: Universidad Autónoma de Manizales.

Cardona, L. F. (2018). *DIAGNÓSTICO, PERSPECTIVAS Y DESEMPEÑO DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN EL DEPARTAMENTO DE CALDAS*. MANIZALES, COLOMBIA: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MANIZALES.

Decreto 393/1991, 8 de febrero, Por el cual se dictan normas sobre asociación para actividades científicas y tecnológicas, proyectos de investigación y creación de tecnologías. EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=67131>

Decreto 3652 /2003, 17 de diciembre, por el cual se reglamenta el Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas Rurales Interconectadas, FAER. Diario oficial 45405. 18, Diciembre. Presidente de la República de Colombia. [http://www.suin-](http://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=1783826)

[juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=1783826](http://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=1783826)

Decreto 3683/2003, 19 de diciembre, Por el cual se reglamenta la Ley 697 de 2001 y se crea una Comisión Intersectorial, Presidente de la República de Colombia.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=11032>

Enertiva. (13 de SEPTIEMBRE de 2017). *Enertiva. energia alternativa*. Obtenido de ¿QUÉ ES UN PPA SOLAR? INNOVANDO MODELOS DE NEGOCIO: <http://enertiva.com/que-es-un-ppa-solar/>

Gallegos, O. A. (2006). *Sostenibilidad y estudios de impacto*. Fundación Universitaria Católica del Norte .

Gélvez, F. R. (2019). *FINANCE LEASING COMO ESTRATEGIA ENERGÉTICA SUSTENTABLE EN LA INFRAESTRUCTURA TERRITORIAL A TRAVÉS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS*. Bucaramanga: UNIVERSIDAD DE SANTANDER (UDES).

Gómez-Ramírez, J., Murcia-Murcia, J. D., & Cabeza-Rojas, I. (2016). *LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN COLOMBIA: POTENCIALES, ANTECEDENTES Y PERSPECTIVAS*. Universidad Santo Tomás. Bogotá Colombia: Facultad de Ingeniería Mecánica.

IBÁÑEZ, S. F. (2019). *MODELO DE NEGOCIO PARA PROPICIAR LA CONEXIÓN A RED DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN UNIDADES DE VIVIENDA SUBSIDIADAS DEL DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO*. BARRANQUILLA: Universidad de la Costa.

IDEAM. (2015). Mapa Brillo Solar De Colombia Multianual. 1.

IDEAM. (2015a). Mapa Brillo Solar de Colombia Multianual. 1.

IDEAM I. de H. M. y E. A. (2015b). ATLAS DE RADIACIÓN SOLAR, ULTRAVIOLETA Y OZONO DE COLOMBIA.

IDEAM, I. de H. M. y E. A. (2010). Atlas climatológico de Colombia. Retrieved from <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>.

IDEAM, I. de H. M. y E. A. (2015). Atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia .

Ing. Javier Gil Rodríguez. (2018). *MODELOS DE NEGOCIOS DE LA ENERGIA SOLAR Y OPORTUNIDADES DE EMPRENDIMIENTO EN LA NUEVA REALIDAD DEL MERCADO ENERGÉTICO COLOMBIANO*. Bogotá. Colombia : CEO Suncol Energy.

Jhonnatan Gómez-Ramírez, Jairo D. Murcia-Murcia, Ivan Cabeza-Rojas. (2016). *LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN COLOMBIA: POTENCIALES, ANTECEDENTES Y PERSPECTIVAS*. Bogotá Colombia: Universidad Santo Tomás.

La Ley Ordinaria 1 /1984, 16 de enero, por la cual se reforma la Estructura Administrativa del Ministerio de Minas y Energía y se determinan las funciones de sus dependencias. Diario oficial 51.030. Sistema Único de Información Normativa.

<http://www.suin.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Leyes/1786113>

Ley 29/1990, 27 de febrero, por la cual se dictan disposiciones para el fomento de la investigación científica y el desarrollo tecnológico y se otorgan facultades extraordinarias. CONGRESO DE COLOMBIA.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=254>

Ley 164 /1994, 27 de octubre, por medio de la cual se aprueba la "Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", Congreso de Colombia.

<https://www.lexbase.co/lexdocs/indice/1994/10164de1994>

LEY 7 /1944, 30 de noviembre, sobre vigencia en Colombia de los Tratados Internacionales, y su publicación, Congreso de Colombia. Diario Oficial No. 25.716 de 12 de diciembre de 1944.

[https://www.cancilleria.gov.co/sites/default/files/Normograma/docs/ley\\_0007\\_1944.htm](https://www.cancilleria.gov.co/sites/default/files/Normograma/docs/ley_0007_1944.htm)

Ley 142 /1994, 11 de Julio, Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. Congreso de la República de Colombia.

<https://www.habitatbogota.gov.co/transparencia/normatividad/normatividad/ley-142-1994>

Ley 143/1994, 11 de julio, Por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y se dictan otras disposiciones en materia energética.

Diario Oficial No. 41.434, de 12 de julio de 1994. [https://www.minenergia.gov.co/documentos/10180/667537/Ley\\_143\\_1994.pdf](https://www.minenergia.gov.co/documentos/10180/667537/Ley_143_1994.pdf)

Ley 629/2000, 27 de diciembre, por medio de la cual se aprueba el "Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático". Kyoto el 11 de diciembre de 1997. Desarrollada por la Resolución 2734 de 2010 y por la Resolución 2733 de 2010. <https://www.lexbase.co/lexdocs/indice/2000/10629de2000>

Ley 697/2001, 3 de octubre, mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial No. 44.573, de 05 de octubre de 2001. Congreso de Colombia.

[http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_0697\\_2001.html](http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0697_2001.html)

Ley 1715/2014, 13 de mayo, Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. Congreso de Colombia.

[http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_1715\\_2014.html](http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html)

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible -MADS-. (21 de julio de 2015). *Colombia se compromete a reducir el 20% de sus emisiones de gases de efecto invernadero para el año 2030*. Obtenido de Minambiente:

<https://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/1913-colombia-se-compromete-a-reducir-el-20-de-sus-emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-para-el-ano-2030>

Molina, G. M., & Calderón, K. J. (19 de abril de 2018). ANÁLISIS BENEFICIO-COSTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN EL CAMPUS AGUAS CLARAS DE LA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SEDE VILLAVICENCIO, META. VILLAVICENCIO.

Naciones Unidas -ONU-. (2019). *Cambio climático*. Obtenido de Naciones Unidas:

<https://www.un.org/es/global-issues/climate-change>

Naciones Unidas; ONU. (2021). *Cambio climático*.



- ONU. (2015). *Cambio Climático, La huella humana en los gases de efecto invernadero*. Naciones Unidas.
- Organización Meteorológica Mundial -OMM-. (22 de septiembre de 2019). *El clima mundial: entre 2015 y 2019 se ha acelerado el cambio climático*. Obtenido de Organización Meteorológica Mundial: <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/el-clima-mundial-entre-2015-y-2019-se-ha-acelerado-el-cambio-clim%C3%A1tico>
- Organización Meteorológica Mundial - OMM-. (19 de ABRIL de 2021). *Los indicadores empeoraron y los impactos del cambio climático se agravaron en 2020*. Obtenido de Organización Meteorológica Mundial: <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/los-indicadores-empeoraron-y-los-impactos-del-cambio-clim%C3%A1tico-se>
- Perea, J. S. (2016). *Esquemas de inversión para la micro generación fotovoltaica de energía eléctrica en el sector residencial colombiano*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia .
- Resolución 18 - 0919 de 2010, 1 de junio, por la cual se adopta el Plan de Acción Indicativo 2010-2015 para desarrollar el Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás Formas de Energía No Convencionales. Ministro de Minas y Energía.  
<https://www.leyex.info/leyes/Resolucionmme180919de2010.htm>
- Resolución 0594/2015, 1 agosto, Por la cual se reglamenta el Capítulo 1 del Título 7 de la Parte 2, del Libro 2 del Decreto número 1077 de 2015, en cuanto a los parámetros y lineamientos de construcción sostenible y se adopta la guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones. Ministro de Vivienda, Ciudad y Territorio.  
<https://vlex.com.co/vid/resolucion-numero-0549-2015-579785318>
- Ruiz T., J., Rios F., J. L., Trejo C., R., & Esquivel A., O. (2007). IMPACTO ECONÓMICO-ECOLÓGICO POR EL USO DE ENERGÍA SOLAR EN LA COMARCA LAGUNERA, MEXICO. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, VI(2), 239-245.
- Semana . (2020). Deforestación: motor de emisión de dióxido de carbono en Colombia. *Revista Semana* .

TIEMPO, R. EL. (2015). La energía natural que mueve al mundo. Bogotá . Retrieved from <http://www.eltiempo.com/contenido-comercial/especiales-comerciales/energia-solar-en-colombia/15901037>.

UCM. (2021). *Universidad Catolica de Manizales*. Obtenido de [https://www.ucm.edu.co/programa/ingenieria-ambiental/?gclid=Cj0KCQjwpreJBhDvARIsAF1\\_BU3dxjfFaKL9xc0BFMBCWNHn0FGHN5AMsT2GLWMrmDD\\_EVmLTut1oyUaAoKGEALw\\_wcB](https://www.ucm.edu.co/programa/ingenieria-ambiental/?gclid=Cj0KCQjwpreJBhDvARIsAF1_BU3dxjfFaKL9xc0BFMBCWNHn0FGHN5AMsT2GLWMrmDD_EVmLTut1oyUaAoKGEALw_wcB)

UPME. (2015). *PLAN ENERGETICO NACIONAL COLOMBIA: IDEARIO ENERGÉTICO 2050*. Bogotá: REPÚBLICA DE COLOMBIA.

UPME. (2018). Informe de registro de proyectos de generación.

UPME. (2018). Informe de registro de proyectos de generación.

Wikipedia (24 de octubre, 2016). Vatio. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Vatio>