

**APROXIMACIÓN AL USO DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS EN EL  
SECTOR TERCIARIO O COMERCIAL**

**Autor: Juan Esteban Mejía Mesa**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**

**FACULTAD DE ARQUITECTURA**

**MEDELLIN**

**2020**



**APROXIMACIÓN AL USO DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS EN EL  
SECTOR TERCIARIO O COMERCIAL**

**Autor: Juan Esteban Mejía Mesa**

**Trabajo de grado para optar al título de Arquitecto.**

**Asesor: Luis Felipe Lalinde Castrillón  
Docente Facultad Arquitectura, Ing. Civil.**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**

**FACULTAD DE ARQUITECTURA**

**MEDELLIN**

**2020**

## DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Fecha: 16-05-20

Nombre: Juan Esteban Mejía Mesa

“Declaro que este trabajo de grado no ha sido presentado con anterioridad para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en ésta o en cualquiera otra universidad”. Art. 92, parágrafo, Régimen Estudiantil de Formación Avanzada.”

Firma del autor (es)

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Juan EM', written in a cursive style.

## **RESUMEN**

Esta investigación de tipo exploratoria, pretende demostrar bajo argumentos como el uso de las energías tradicionales está llegando a su fin, y como las energías renovables llegan para quedarse y seguir marcando el camino que la transición energética promueve y que actualmente se encuentra en moción.

De las energías renovables se decide centrarse en la energía solar fotovoltaica, dado que para nuestro territorio, Colombia; ésta representa un gran potencial, no solo por nuestras condiciones geográficas y topográficas sino por cómo además destacamos frente a otros países líderes en energía solar fotovoltaica.

Se busca cambiar la percepción general de las personas respecto a esta energía, basándonos en el camino que ya han recorrido las empresas pioneras en energía solar fotovoltaica, en como el sector comercial puede ser uno de los de mayor potencial dado su capacidad para invertir y como una infinidad de beneficios económicos y ambientales se dan a suscitar.

Palabras clave: Tradicional, Renovable, Geografía, Transición energética.

## **ABSTRACT**

This exploratory research aims to demonstrate under arguments how the use of traditional energies is coming to an end, and how renewable energies are here to stay and continue to mark the path that the energy transition promotes and that is currently in motion.

Of renewable energies, it was decided to focus on photovoltaic solar energy, given that for our territory, Colombia; This represents great potential, not only for our geographical and topographic conditions but also for how we stand out from other leading countries in photovoltaic solar energy.

It seeks to change the general perception of people regarding this energy, based on the path that the pioneering companies in photovoltaic solar energy have already traveled, on how the commercial sector can be one of the greatest potential given its ability to invest and how an infinity of economic and environmental benefits occur

Key words: Traditional, Renewable, Geography, Energy transition.

## TABLA DE CONTENIDO

1.	MARCO INTRODUCTORIO.....	10
1.1.	Descripción del problema .....	10
1.2.	Antecedentes .....	11
1.3.	Elementos o Variables.....	12
1.3.1	Variable 1 .....	12
1.3.2.	Variable 2.....	12
1.3.3.	Variable 3.....	12
1.4.	Delimitación .....	12
1.5.	Formulación del problema .....	13
1.6.	Objetivo General .....	13
1.7.	Objetivos específicos.....	13
1.8.	Justificación .....	13
1.9.	Metodología .....	14
2.	MARCO CONTEXTUAL .....	15
3.	MARCO TEÓRICO .....	22
4.	MARCO PRÁCTICO .....	27
5.	CONCLUSIONES .....	50
6.	BIBLIOGRAFIA .....	51

## LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1. Tipos de energía renovable. (Fuente, elaboración propia).

Figura 2. Proyectos de generación de energía inscritos. Imagen tomada de: La Republica, "Proyectos de energía solar fotovoltaica, los que más se están registrando en el país".

Figura 3. Acumulado de número de proyectos registrados según su tecnología Imagen tomada de: Registro de Proyectos de Generación Inscripción según requisitos de las Resoluciones UPME No. 0520, No. 0638 de 2007 y No. 0143 de 2016 Página 15 de 36 Actualización a mayo de 2017

Figura 4. Acumulado de potencia en MW (megavatios) según su tecnología. Imágen tomada de: Registro de Proyectos de Generación Inscripción según requisitos de las Resoluciones UPME No. 0520, [http://www.siel.gov.co/Generacion\\_sz/Inscripcion/2017/Registro\\_Proyectos\\_Generacion\\_Mayo2017.pdf](http://www.siel.gov.co/Generacion_sz/Inscripcion/2017/Registro_Proyectos_Generacion_Mayo2017.pdf).

Figura 5. Gráfico de distribución de los promotores según su tecnología. Imágen tomada de [http://www.siel.gov.co/Generacion\\_sz/Inscripcion/2017/Registro\\_Proyectos\\_Generacion\\_Mayo2017.pdf](http://www.siel.gov.co/Generacion_sz/Inscripcion/2017/Registro_Proyectos_Generacion_Mayo2017.pdf)

Figura 6. Imagen tomada de: La Nota Energetica: Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia. (Gallego Jaramillo)

Figura 7. Regiones y su disponibilidad de energía solar. Tomado de: La Guía Solar, Atlas de Radiación Solar

Figura 8. Distribución consumo energía primaria en el mundo. Fuente (elaboración propia).

Figura 9. Componentes de sistema fotovoltaico. Imagen tomada de: Google, componentes sistema fotovoltaico.

Figura 10. Cubierta. Imagen tomada de: Erco, energía

Figura 11. Vista aérea. Imagen tomada de: Erco, energía.

Figura 12. Vista aérea. Imagen tomada de: Erco, energía

Figura 13. Paneles en la circulación.. Imagen tomada de: Erco, energía

Figura 14. Esquema. Imagen elaboración propia.

Figura 15. Esquema. Imagen elaboración propia.

Figura 16. Sistema solar fotovoltaico Bloque 10. Imagen tomada de: Revista UPB

Figura 17. Registro Sistema solar fotovoltaico Bloque 10. Imagen tomada de: Imagen tomada de: [https://enlighten.enphaseenergy.com/pv/public\\_systems/QZaM256274/overview](https://enlighten.enphaseenergy.com/pv/public_systems/QZaM256274/overview)

Figura 18. Casa Yarumo en concurso. Imagen tomada de: Revista UPB

Figura 19. Estado actual; Ahora se conoce cómo Casa Habitat. Imagen tomada de: Revista UPB.

Figura 20. Planta de cubierta. Imagen elaboración propia

Figura 21. Panel. Imagen tomada de: Google

Figura 22. Panel. Imagen tomada de: Google

Figura 23. Panel. Imagen tomada de: Google

Figura 24. Panel. Imagen tomada de: Google

Figura 25. Panel. Imagen tomada de: Google

Figura 26. Panel. Imagen tomada de: Google

Figura 27. Inversor. Imagen tomada de: Google

Figura 28. Inversor. Imagen tomada de: Google

Figura 29. Inversor. Imagen tomada de: Google

Figura 30. Inversor. Imagen tomada de: Google

Figura 31. Inversor. Imagen tomada de: Google

Figura 32. Inversor. Imagen tomada de: Google

Figura 33. Inversor. Imagen tomada de: Google

Tabla 1. Productos y actividades por objetivo (elaboración propia)

Tabla 2. Tabla de normativas, decretos. Fuente (elaboración propia.)

Tabla 3. Tabla de normativas, resoluciones. Fuente (elaboración propia.)

Tabla 4. Ficha de caso estudio. Fuente (elaboración propia.).

Tabla 5. Ficha de caso estudio. Fuente (elaboración propia.) vatio hora, medida de energía

Tabla 6. Ficha de caso estudio. Fuente (elaboración propia.)

Tabla 7. Ficha de caso estudio. Fuente (elaboración propia.)

Tabla 8. Ficha de caso estudio. Fuente (elaboración propia.)

Tabla 9. Matriz de caso estudio. Fuente (elaboración propia.)

Tabla 10. Ficha de caso estudio. Fuente (elaboración propia.)

Tabla 11. Ficha de caso estudio. Fuente (elaboración propia.)

Tabla 12. Ficha de caso estudio. Fuente (elaboración propia.)

Tabla 13. Ficha de caso estudio. Fuente (elaboración propia.)

Tabla 14. Ficha de caso estudio. Fuente (elaboración propia.)

Tabla 15. Ficha de caso estudio. Fuente (elaboración propia.)

Tabla 16. Ficha de caso estudio. Fuente (elaboración propia.)

Tabla 17. Ficha de caso estudio. Fuente (elaboración propia.)

Tabla 18. Ficha de caso estudio. Fuente (elaboración propia.)

Tabla 19. Ficha de caso estudio. Fuente (elaboración propia.)

Tabla 20. Ficha de caso estudio. Fuente (elaboración propia.)

Tabla 21. Ficha de caso estudio. Fuente (elaboración propia.)

Tabla 22. Ficha de caso estudio. Fuente (elaboración propia.)



## **GLOSARIO**

SSFV: Sistema Solar Fotovoltaico

W: Vatios

kW: Kilo vatios

MW: Mega vatios.

Wp: Vatios pico.

VA: Voltiamperio.

Potencia nominal: La potencia nominal es la potencia máxima que demanda una máquina en condiciones de uso normales.

# 1. MARCO INTRODUCTORIO

## 1.1. Descripción del problema

En Colombia (Medellín) actualmente predominan el uso de las energías tradicionales, como lo son los combustibles fósiles, la quema de carbón, el gas natural y el petróleo, no obstante hay empresas, industrias y personas que ya han comenzado a implementar energías renovables, específicamente la energía solar, ya sea para reducir el costo de la red pública (beneficios económicos), para recibir beneficios tributarios (ley 1715 de 2014), para combatir el calentamiento global o para mejorar la salud pública.

Hoy en día la energía solar no es una alternativa altamente escogida por empresas, ya sea por el desconocimiento hacia ésta, la falta de formación, la poca y reciente normativa, el temor a incorporar nuevas tecnología o por la idea de que es bastante costosa y poco rentable, por medio de esta investigación se busca incentivar progresivamente su uso y dar a conocer sus ventajas, económicas, ambientales y tributarias.

Nuestro territorio tiene gran potencial para desarrollar energía solar, ya que el país recibe una irradiación 15% superior, a países líderes en energía solar como lo es Alemania, Italia o China, esto es debido a la ubicación geográfica, no contar con estaciones y contar con diversos pisos térmicos.

A continuación se exponen dos referencias que constatan la problemática descrita.

- Todavía hay creencia de que la energía solar es altamente costosa, solía serlo pero ya no lo es; se llegó a reducir en más de un 80% el costo de producirlos; su implementación a mediano y largo plazo reduce costos. (García, 2017)
- La energía solar es la fuente de energía más limpia y no pone en peligro ni incrementa el calentamiento global, debido a que no produce gases de efecto invernadero ni subproductos peligrosos para el medio ambiente.

Se piensa que para generar un verdadero impacto, tanto ambiental como económico, las empresas deberán tarde que temprano implementar la energía solar, ya sea para alimentar ciertas áreas específicas del edificio o lograr que se abastezca completamente el edificio.

La infraestructura energética del país es colosal teniendo en cuenta la inversión que se ha hecho a lo largo de los años, por lo tanto cambiar de fuente (agua a energía solar) en el corto plazo es insostenible, sin embargo son muchas las empresas, compañías y sociedades que han empezado a dotarse con esta energía.

## 1.2. Antecedentes

Las energías no renovables como dice su nombre, son finitas, en algún momento se agotarán todas las reservas existentes; los combustibles fósiles, la quema de carbón, el petróleo; éstas son el principal factor de la generación del efecto invernadero y el calentamiento global; por lo tanto la implementación de energías renovables es fundamental para preservar el planeta.

Las siguientes citas corroboran el daño que las energías no renovables le hacen al planeta y como las energías renovables, específicamente la energía solar se posicionará cada vez más.

- Con el acuerdo para el Cambio Climático de París en 2015 quedó claro que el desarrollo económico del mundo debe moverse a partir de energías renovables (Figura 1), para dejar atrás la generación a partir de combustibles fósiles, como carbón, petróleo o gas natural. (Celsia Empresa de energía Grupo Argos, 2016)
- La energía solar surge como una nueva alternativa de consumo de energía responsable con el medio ambiente, ante al impacto generado por la energía no renovable..

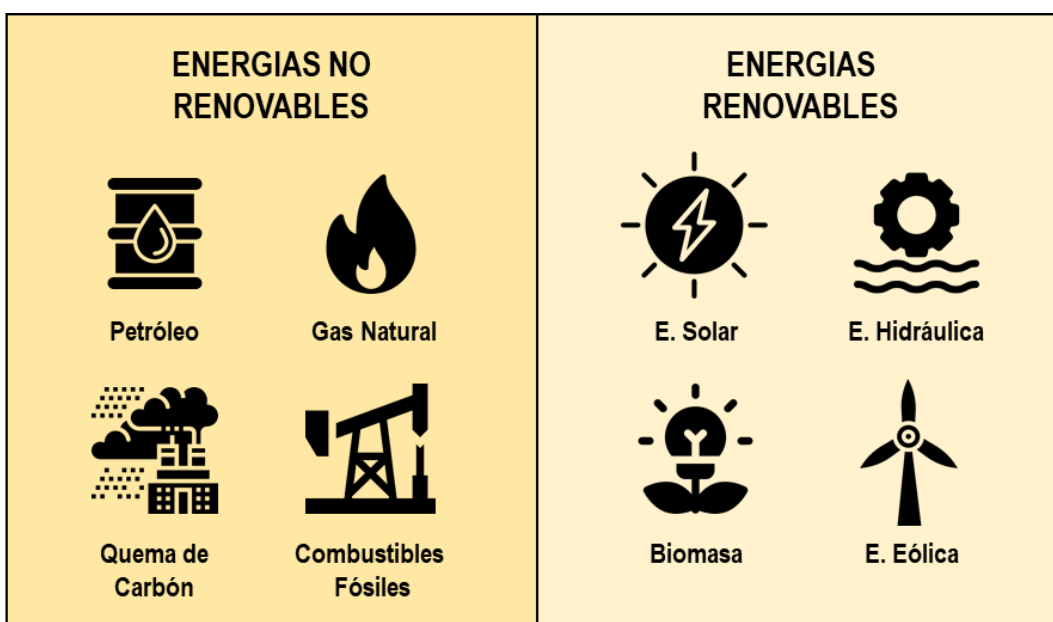


Figura 1. Tipos de energía renovable. (fuente, elaboración propia).

## **1.3. Elementos o Variables**

### **1.3.1 Posición geográfica.**

Colombia es un país privilegiado por su posición geográfica. No solo cuenta con gran variedad de climas, también presenta uno de los niveles de radiación solar más altos en el mundo, dándole una gran ventaja en el uso de energía solar

### **1.3.2 Referentes eficiencia energía solar en sector terciario (comercial).**

#### **Parque comercial El Tesoro:**

El parque comercial El Tesoro, implementaron en su cubierta en un área de 2570 m<sup>2</sup> un total de 1568 paneles fotovoltaicos, con el sistema dejaron de emitir más de 119 toneladas de CO<sub>2</sub>. La energía generada por este sistema solar fotovoltaico equivale al consumo eléctrico anual de 81 hogares.

#### **Parque La Reserva Mall**

El sistema consta de 96 módulos que suministran energía al centro comercial, ubicado en alto de Las Palmas, con lo cual se cubre el 50 por ciento de la demanda de energía de las zonas comunes, estos 96 paneles equivalen a 992 árboles sembrados al año.

### **1.3.3 Normativa:**

- En la década del 90, con la Ley 29 de 1990 y el Decreto 393 de 1991, el Gobierno Nacional impulsó la investigación en el uso racional de la energía a través de Colciencias. Desde entonces se han presentado una serie de leyes y políticas energéticas con el objetivo de generar estrategias para mejorar las condiciones de abastecimiento y disponibilidad de la energía eléctrica de carácter renovable.

- **Ley 1715 de 2014**

Tiene como objeto promover el desarrollo y uso de fuentes renovables de energía dentro del sistema energético colombiano y que cuenta con incentivos tributarios para las empresas que ejecuten este tipo de proyectos, tales como: la deducción especial de renta, exención del IVA y aranceles y un incentivo contable para la depreciación acelerada de activos.

## **1.4. Delimitación**

Se pretende desarrollar este estudio para la ciudad de Medellín y los municipios aledaños, se busca centrarse en la aplicación de la energía solar en el sector terciario (comercial) que responden a condiciones de entorno similares. El estudio se realizará a lo largo del ciclo de los PDT.

## **1.5. Formulación del problema**

Hoy en día predominan el uso de las energías no renovables, las energías renovables surgen como una gran alternativa para recibir beneficios tanto económico como tributarios o simplemente para realizar prácticas sostenibles con el medio ambiente.

Actualmente la energía solar no es una alternativa muy escogida por empresas, así sea por desconocimiento, temor o por la idea de que es muy costosa; ¿cómo con la ayuda de ésta investigación, se puede direccionar a las demás personas a implementarla y a buscar incentivar progresivamente su uso?

## **1.6. Objetivo General**

Se busca realizar un estudio donde se va a evaluar las posibilidades de aplicación de la energía solar a partir de un sistema fotovoltaico que genere energía en paralelo a la red eléctrica y reduzca parcial o completamente el consumo energético de la edificación.

## **1.7. Objetivos específicos**

Estudiar por medio de casos exitosos de aplicación de la energía solar: el funcionamiento, ahorro y eficiencia de estos, para conocer valores y datos que nos permitan entrelazar información.

Analizar mediante un estudio comparativo de variables técnicas, económicas y ambientales los paneles e inversores que se destacan en el mercado.

Proponer una guía de difusión para los centros comerciales acerca de la energía solar, donde se exhiban puntos básicos de esta energía, que responderán preguntas necesaria a la hora de conformar un sistema solar fotovoltaico.

## **1.8. Justificación**

### **¿Por qué la energía solar y el sector comercial?**

Se destaca el sector comercial, considerando el impacto que podría llegar a tener, debido a su capacidad para hacer una inversión a gran escala, los parques comerciales son de grandes áreas (cubierta), el punto ideal para implementarla; y se eligió la energía solar como energía renovable a trabajar, por su potencial, por la posición geográfica que es favorable, la alta radiación solar y demás

beneficios que trae su implementación. La energía solar se ha posicionado en los últimos 15 años como la energía renovable más utilizada, de acuerdo con la Agencia Internacional de las Energías Renovables (IRENA, 2017).

## 1.9. Metodología

Esta investigación será de tipo exploratorio, a partir de análisis de casos exitosos que permitan evaluar la aplicación de la energía solar en el sector terciario (comercial), para luego poder contar con suficiente información para proponer una guía básica de difusión para los centros comerciales, donde se informará de una manera más sencilla la energía solar fotovoltaica y su implementación.

Tabla 1. Productos y actividades por objetivo (elaboración propia)

<b>Objetivos</b>	<b>Actividades</b>	<b>Producto</b>
<b>1. Estudiar por medio de casos de estudio exitosos de energía solar: el funcionamiento, ahorro y eficiencia de estos.</b>	Analizar la información obtenida de los casos de estudio (ahorros, consumos), al conocer la actividad energética de éstos se puede empezar a cruzar información.	Comparativo de cifras reales obtenidas en los casos de estudio, donde se evidencia el beneficio de implementar la energía solar en diferentes escalas y magnitudes. Tablas de consumo en Kw de diferentes casos.
<b>2. Analizar mediante un estudio comparativo de variables técnicas, económicas y ambientales los paneles e inversores que se destacan en el mercado.</b>	Diagnóstico de paneles e inversores. Fichas técnicas de cada una (costo, eficiencia, potencia) Matriz comparativa	Agrupación fichas técnicas de paneles e inversores.
<b>3. Proponer una guía de difusión para los centros comerciales acerca de la energía solar, donde se exhiban puntos básicos de esta energía, que responderán preguntas necesaria a la hora de conformar un sistema solar fotovoltaico.</b>	Estructurar la información obtenida más valiosa de energía solar. Diseño de guía de difusión, por medio de esto se dará a conocer más la energía solar.	Guía física que facilitara el aprendizaje y conocimiento de cualquier individuo acerca de la energía solar y le dará respuesta a preguntas frecuentes que hay a la hora de realizar un SSFV.

## 2. MARCO CONTEXTUAL:

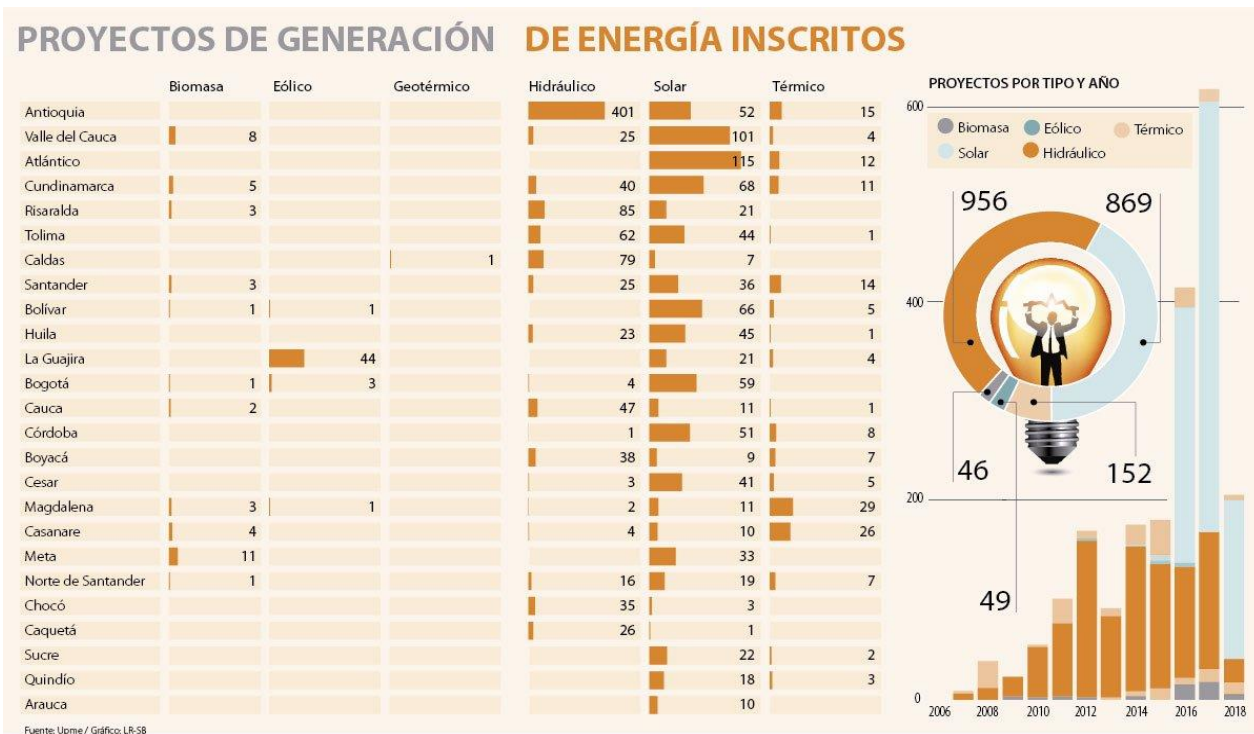
En este apartado de la investigación se hablará sobre nuestro territorio, nuestro país, se busca que se comprenda que las condiciones con las que contamos para implementar las energías renovables que por cierto son extremadamente buenas; en cuanto a nuestra ubicación geográfica, la normativa que nos “cobija” porque además de garantizar la mejoría por medio de la regulación busca que el ciudadano como tal se beneficie y por consiguiente todos; también se hablara de cómo se ha venido dando la implementación de las energías renovables en Colombia y cómo vamos por buen camino.

**2.1 Proyectos de energía solar, los más registrados en el país:** Gracias a sus recursos naturales y sus condiciones climáticas y geográficas, Colombia cuenta con diferentes opciones para generar energía renovable. Actualmente, la mayoría de nuevos proyectos de generación registrados son de solar fotovoltaica, pero hace un par de años, los proyectos más populares eran los de plantas hidráulicas.

De los más de 2.000 proyectos registrados la última década (es importante aclarar que no todos se realizan), la mayoría han sido para plantas hidráulicas (956), en el país hay actualmente 28 hidroeléctricas con capacidad de generar 13.354,48 megavatios y 113 pequeñas centrales hidroeléctricas. Dicho esto, no es sorpresa que al año 2018 el 70% de la capacidad efectiva neta del Sistema Interconectado Nacional (SIN) fuera generada con fuentes hidráulicas.

Sin embargo, desde 2016 la tendencia ha cambiado, ya que se han registrado más proyectos de generación que hacen uso de la radiación solar que proyectos que utilizan agua. De hecho, de los 548 proyectos que están vigentes, 374 son solares, mientras que 128 son hidráulicos. (Revista La Republica, 2018)

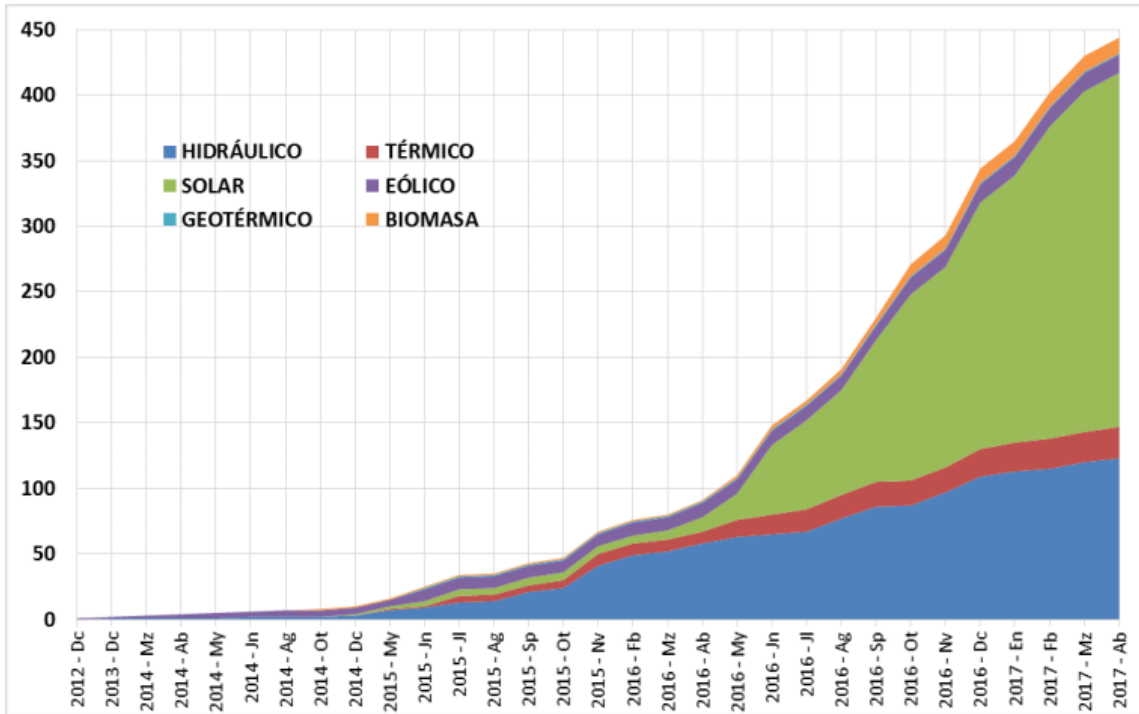
A continuación, en las siguientes imágenes se expone el crecimiento de la energía solar en el país.



**Figura 2. Proyectos de generación de energía inscritos.** Imagen tomada de: La Republica, “Proyectos de energía solar fotovoltaica, los que más se están registrando en el país”

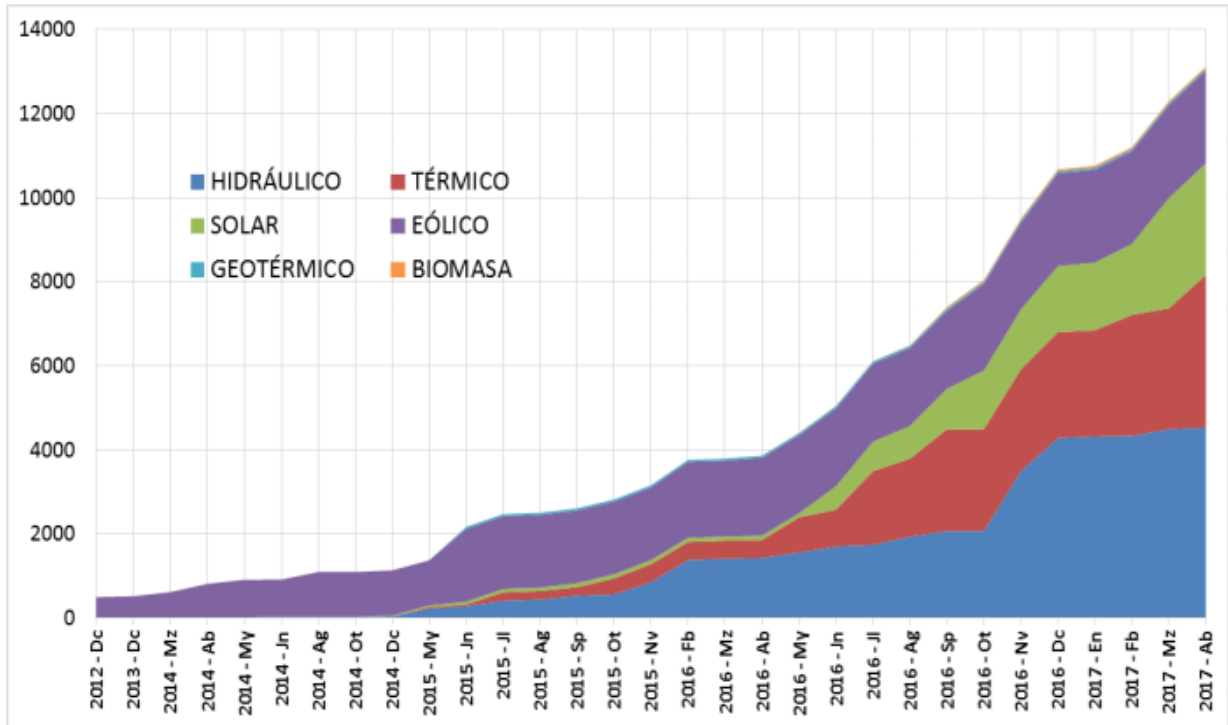
En la figura 2 se destaca a Antioquia como el departamento con más proyectos de generación de energía inscritos en su totalidad, dónde se resalta la energía hidráulica (401). Por otro lado, La Guajira se destaca como el departamento con más proyectos de energía eólica (44) y el Valle del Cauca y Atlántico son los departamentos líderes en energía solar (101) y (105). También se puede observar cómo desde el año 2016 la energía solar comenzó a tomar fuerza en el país de forma preponderante.





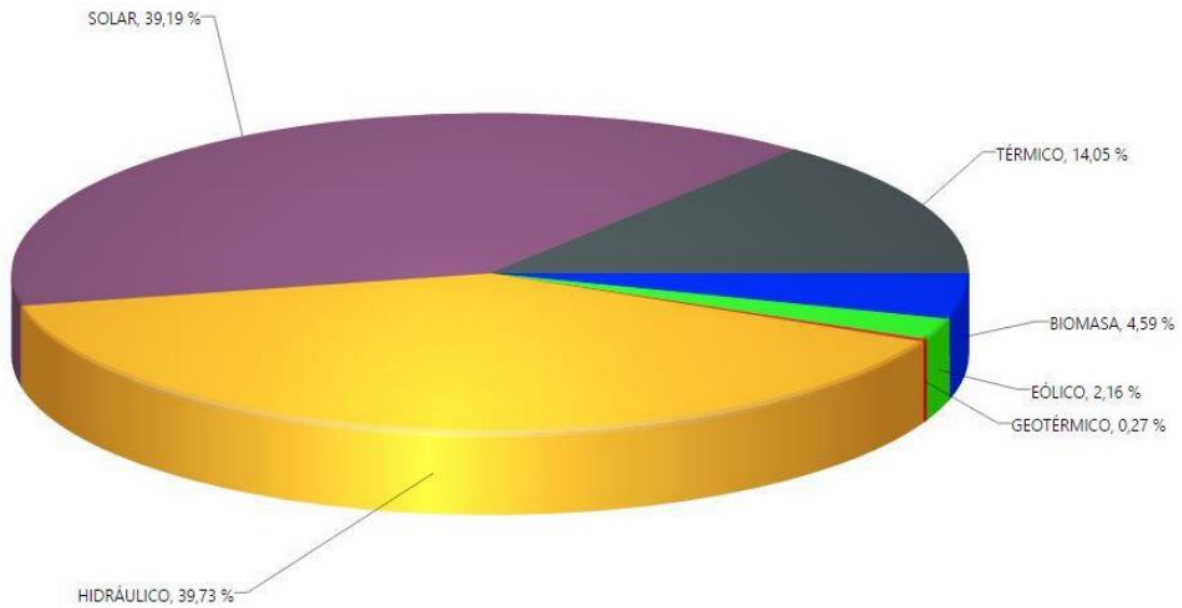
**Figura 3. Acumulado de número de proyectos registrados según su tecnología** Imagen tomada de: *Registro de Proyectos de Generación Inscripción según requisitos de las Resoluciones UPME No. 0520, No. 0638 de 2007 y No. 0143 de 2016* Página 15 de 36 Actualización a mayo de 2017

En la figura 3 se muestra como desde el año 2015-2016 los proyectos de generación de energía comenzaban a tomar fuerza, sobretodo la energía hidráulica (Azul oscuro) y la energía solar (Verde). A mediados del 2016 los proyectos de energía solar empiezan a consolidarse en el país.



**Figura 4. Acumulado de potencia en MW (megavatios) según su tecnología.** Imagen tomada de: *Registro de Proyectos de Generación Inscripción según requisitos de las Resoluciones UPME No. 0520*, [http://www.siel.gov.co/Generacion\\_sz/Inscripcion/2017/Registro\\_Proyectos\\_Generacion\\_Mayo2017.pdf](http://www.siel.gov.co/Generacion_sz/Inscripcion/2017/Registro_Proyectos_Generacion_Mayo2017.pdf)

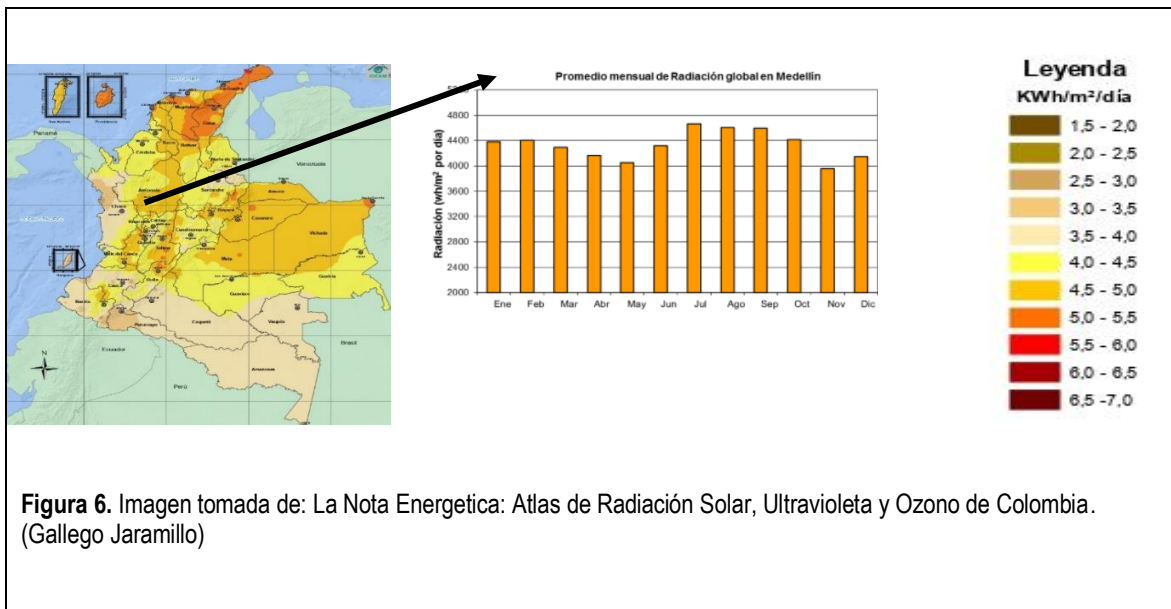
En la figura 4 se exhibe el acumulado de potencia en MW, de acuerdo a cada tipo de energía, y se destaca en este la energía eólica, con un acumulado promedio de 13000 MW; es interesante ver como los proyectos de energía solar se quedan un poco atrás, con 10000 MW de potencia acumulada, en comparación con la eólica; sin embargo tal cómo se ha constatado en las figuras anteriores, la energía solar es mucho más implementada en el país.



**Figura 5. Gráfico de distribución de los promotores según su tecnología.** Imágen tomada de [http://www.siel.gov.co/Generacion\\_sz/Inscripcion/2017/Registro\\_Proyectos\\_Generacion\\_Mayo2017.pdf](http://www.siel.gov.co/Generacion_sz/Inscripcion/2017/Registro_Proyectos_Generacion_Mayo2017.pdf)

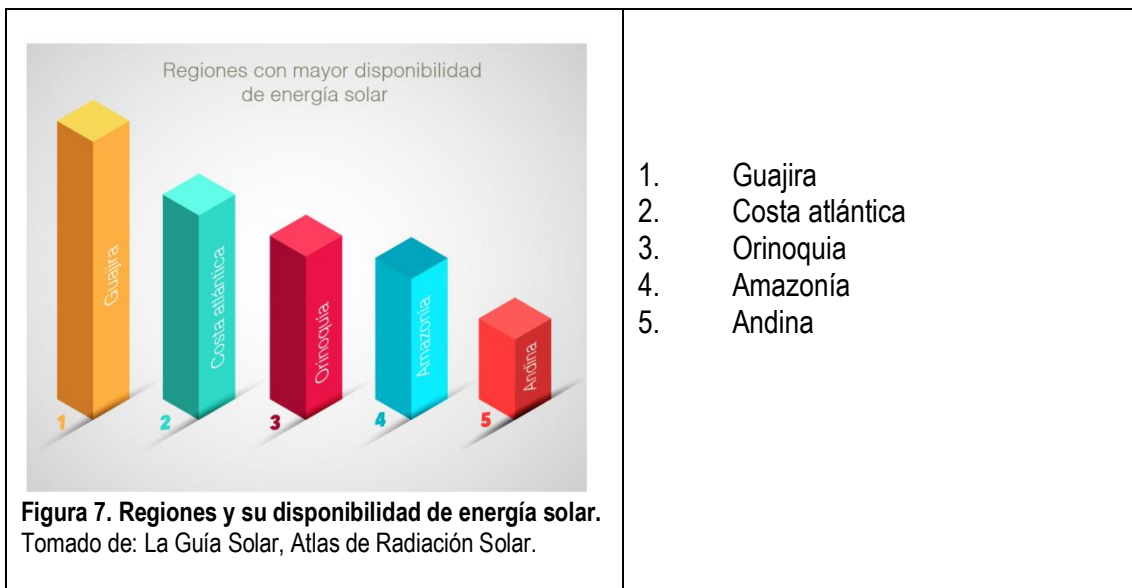
La figura 5 se refiere a el porcentaje de los promotores según cada energía, energía solar 39.19%.

**2.2 Posición Geográfica:** Colombia cuenta con un potencial positivo de energía solar fotovoltaica frente al resto del mundo. La mayor parte del territorio nacional cuenta con un recurso de brillo solar (horas de sol), gracias a su ubicación geográfica, sin estaciones y con diversos pisos térmicos son alrededor de 4 y 8 horas de sol al día en promedio diario anual, valores altos en comparación de países como Alemania el cual cuenta con 3 horas de brillo solar, esto quiere decir que equivale a una radiación promedio uniforme de 4,5 kWh/m<sup>2</sup> durante el año, la cual supera el valor promedio mundial de 3,9 kWh/m<sup>2</sup>/d.



**Figura 6.** Imagen tomada de: La Nota Energetica: Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia. (Gallego Jaramillo)

La UPME (Unidad de Planeación Minero Energética) que pertenece al Ministerio de Minas y energía de Colombia y el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) crearon en el 2005 un Atlas de radiación en Colombia que recopila la información básica de referencia para el aprovechamiento de la energía solar como una opción para el uso sostenible de los recursos energéticos de Colombia, estableciendo el valor promedio diario de radiación por regiones. Según el Atlas de radiación solar, los sectores en Colombia que cuentan mayor disponibilidad de energía solar son:



**Figura 7.** Regiones y su disponibilidad de energía solar. Tomado de: La Guía Solar, Atlas de Radiación Solar.

**2.3 Normativa y Marco Jurídico:** En la década del 90, con la Ley 29 de 1990 y el Decreto 393 de 1991, el Gobierno Nacional impulsó la investigación en el uso racional de la energía a través de Colciencias.

Desde entonces se han presentado una serie de leyes y políticas energéticas con el objetivo de generar estrategias para mejorar las condiciones de abastecimiento y disponibilidad de la energía eléctrica de carácter renovable.

### Ley 1715 de 2014

Tiene como objeto promover el desarrollo y uso de fuentes renovables de energía dentro del sistema energético colombiano y que cuenta con incentivos tributarios para las empresas que ejecuten este tipo de proyectos, tales como: la deducción especial de renta, exención del IVA y aranceles y un incentivo contable para la depreciación acelerada de activos.

El Congreso de la República de Colombia aprueba la Ley 1715 de 2014, “Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional”, Ley por medio de la cual se expide el marco normativo colombiano para la promoción y desarrollo de las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable en Colombia.

A la fecha el Gobierno y las entidades delegadas por la Ley para su reglamentación han expedido las siguientes normas:

**Tabla 2. Tabla de normativas, decretos.** Fuente (elaboración propia.)

Tipo de Normativa
Decreto
Decreto 2492 de 2014 “Por el cual se adoptan disposiciones en materia de implementación de mecanismos de respuesta de la demanda”.
Decreto 2469 de 2014 “Por el cual se establecen los lineamientos de política energética en materia de entrega de excedentes de autogeneración” Decreto 2143 de 2015 “Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015, en lo relacionado con la definición de los lineamientos para la aplicación de los incentivos establecidos en el Capítulo III de la Ley 1715 de 2014.” Decreto 1623 de 2015 “Por el cual se modifica y adiciona el Decreto 1073 de 2015, en lo que respecta al establecimiento de los lineamientos de política para la expansión de la cobertura del servicio de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional y en las Zonas No Interconectadas” Decreto 348 de 2017 “Por el cual se adiciona el Decreto 1073 de 2015, en lo que respecta al establecimiento de los lineamientos de política pública en materia de gestión eficiente de la energía y entrega de excedentes de autogeneración a pequeña escala”.
Decreto 1543 de 2017 “Por el cual se reglamenta el Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía, Fenoge”
Decreto 570 de 2018 “Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015, en lo relacionado con los lineamientos de política pública para la contratación a largo plazo de proyectos de generación de energía eléctrica y se dictan otras disposiciones”

**Tabla 3. Tabla de normativas, resoluciones.** Fuente (elaboración propia.)

Tipo de Normativa
Resolución
Resolución UPME (Unidad de planeación minero energética) 0281 de 2015 “Por la cual se define el límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala”
Resolución CREG (Comisión de regulación de energía y gas) 024 de 2015 “Por la cual se regula la actividad de autogeneración a gran escala en el Sistema Interconectado Nacional (SIN). Resolución CREG 167 de 2017 “Por la cual se define la metodología para determinar la energía firme de plantas eólicas”
Resolución CREG 201 de 2017 “Por la cual se modifica la Resolución CREG 243 de 2016, que define la metodología para determinar la energía firme para el Cargo por Confiabilidad, ENFICC, de plantas solares fotovoltaicas” Resolución CREG 015 de 2018 “Por la cual se establece la metodología para la remuneración de la actividad de distribución de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional”. Ver capítulo 10 para metodología de cálculo del servicio de respaldo. Resolución CREG 030 de 2018 “Por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional” Resolución CREG 038 de 2018 “Por la cual se regula la actividad de autogeneración en las zonas no interconectadas y se dictan algunas disposiciones sobre la generación distribuida en las zonas no interconectadas”
Resolución Ministerio de Ambiente 1312 de 11 agosto de 2016 “Por la cual se adoptan los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA, requerido para el trámite de la licencia ambiental de proyectos de uso de fuentes de energía eólica continental y se toman otras determinaciones”.
Resolución Ministerio de Ambiente 1283 de 8 agosto de 2016 “Por la cual se establece el procedimiento y requisitos para la expedición de la certificación de beneficio ambiental por nuevas inversiones en proyectos de fuentes no convencionales de energías renovables – FNCER y gestión eficiente de la energía, para obtener los beneficios tributarios de que tratan los artículos 11, 12, 13 y 14 de la Ley 1715 de 2014 y se adoptan otras determinaciones”
Resolución Ministerio de Ambiente 1988 de 2017. PAI 2017 – PROURE (Programas para Exclusión IVA)
Resolución UPME 585 de 2017 (Procedimiento ante UPME Exclusión de IVA)
Resolución Ministerio de Ambiente 2000 de 2017 (Procedimiento ante ANLA (Autoridad nacional de licencias ambientales) para exclusión de IVA)

### 3. MARCO TEÓRICO:

**3.1 Transición Energética:** Está demostrado por medio de estudios e investigaciones el daño directo que generan las energías no renovables, como los combustibles fósiles, la quema de carbón, el petróleo, y el gas natural son los principales factores influyentes de la generación del efecto invernadero (emisión Co<sub>2</sub>) y el calentamiento global.

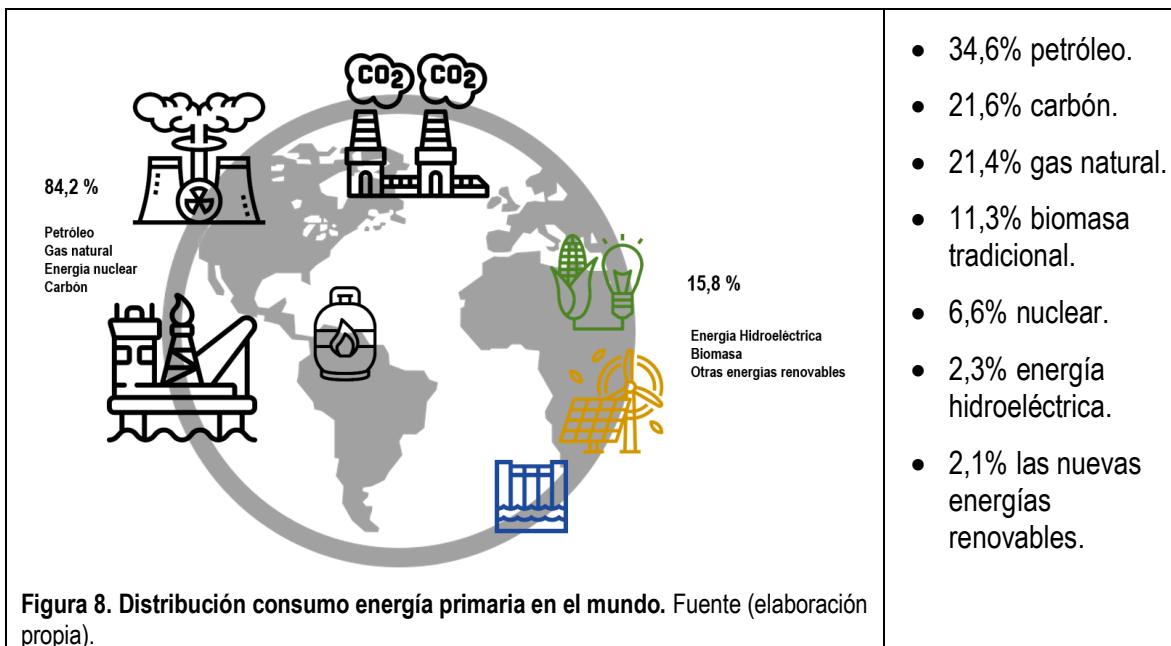
Pasar del uso de combustibles fósiles, a energías renovables, tales como la solar o eólica, es el reto que plantea la transición energética.

La transición energética es el cambio estructural de los sistemas energéticos a largo plazo, En Colombia ya se ha empezado a dar los primeros pasos hacia la transición energética, muchas empresas, asociaciones e independientes ven en la energía solar un ahorro considerable y un beneficio enorme para el medio ambiente.

- El Índice de Transición de Energía (ETI) del Foro Económico Mundial, sitúa a Colombia en el puesto 34 entre los 115 países que forman parte de esta clasificación, por encima de Canadá, México, Perú y Brasil. (Suárez, 2019)

La Transición Energética es la transición a una economía sostenible por medio de la energía renovable, la eficiencia energética y el desarrollo sostenible. Su objetivo es la abolición del carbón, la energía nuclear, el gas natural y otros recursos no renovables.

La distribución del consumo de energía primaria en el mundo en el año 2000 fue la siguiente: (Organización de las naciones unidas ONU, 2012)



Somos un país que cuenta con gran potencial para desarrollar energías renovables y con esto viene un reto, la Ministra de Energía y Minas, María Fernanda Suarez lo confirma, “Tenemos la sexta matriz energética más limpia del mundo, porque el 70 por ciento de nuestra electricidad viene de la generación hidroeléctrica”

Suárez destacó la "enorme oportunidad" del desarrollo de energías renovables que pueden ayudar a diversificar la matriz energética del país. "La velocidad del viento de La Guajira, es dos veces más que la media mundial", subrayó. "Tenemos la voluntad política, pero podemos ser más agresivos debido a las oportunidades que tenemos"

Asimismo, apuntó al hecho que "tenemos un sector privado que está invirtiendo en el sector eléctrico". Un ejemplo de ello es la planta solar de El Paso, la más grande construida hasta la fecha en el país. Compuesta por cerca de 250.000 paneles solares, la planta producirá alrededor de 176 GWh al año, abasteciendo a cerca de 400.000 personas. (Suárez, 2019)

**3.2 Energía Solar Fotovoltaica:** La energía solar fotovoltaica se obtiene a partir de la radiación electromagnética procedente del sol. Los paneles solares son dispositivos semi conductores, tienen la capacidad de conducir electricidad. Funciona cuando los rayos del sol (fotón) se reflejan en el panel, el electrón se "excita" se desplaza y genera corriente eléctrica. La conversión fotovoltaica consiste en la transformación directa de la energía luminosa en energía eléctrica. Se utilizan para ello unas placas solares formadas por células fotovoltaicas (de silicio o de germanio).

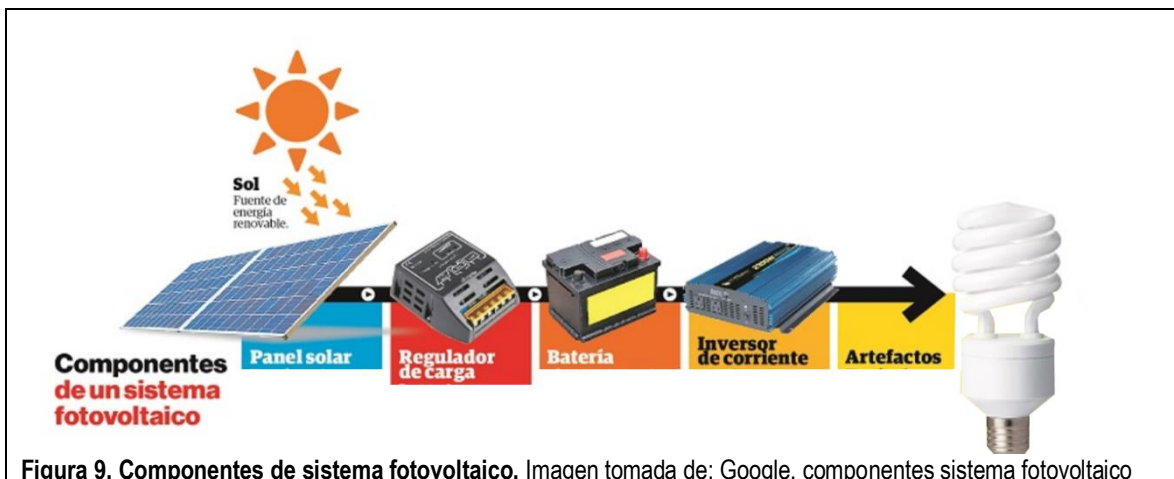


Figura 9. Componentes de sistema fotovoltaico. Imagen tomada de: Google, componentes sistema fotovoltaico

Se estima que para el 2030, la energía solar podría suministrar electricidad a dos tercios de la población mundial.



**3.3 Paneles Solares y funcionamiento:** Un panel solar es un elemento encargado de captar la radiación solar y transformarla en energía útil, la mayoría son fabricados en silicio.

Los paneles solares generan corriente continua, que se puede tratar a corriente alterna para ser aprovechada o se puede suministrar y vender directamente a la red (EPM).

Los tipos de paneles manejan eficiencias entre el 16% y 19%.

- Panel mono cristalino: Este panel cuenta con unas excelentes características técnicas para climas que habitualmente tienen nubes, tormentas y con temperaturas máximas no muy altas, esto es debido a que la sensibilidad del panel solar monocristalino consigue la máxima radiación solar en bajas temperaturas y no resiste demasiado bien el sobrecalentamiento. Cuando un panel es monocristalino sus células serán de color negras.
- Panel poli cristalino: Este panel tiene una mayor resistencia al sobrecalentamiento y su funcionamiento es óptimo en climas habitualmente cálidos, pues los paneles solares policristalinos absorben el calor a mayor velocidad y cuentan con una mayor resistencia ante el sobrecalentamiento. Cuando el panel es policristalino sus células son de color azul oscuro.
- Panel silicio amorfo: Éstos son un tipo de panel fotovoltaico de lámina delgada y se reconocen por su color gris oscuro.  
Este tipo de panel puede responder con poca luz, y es el único tipo de panel fotovoltaico que se puede utilizar con iluminación artificial. Por otro lado, la configuración amorfa de la materia reduce el desplazamiento de las cargas y por lo tanto baja el rendimiento en un máximo del 10%.  
Este tipo de panel fotovoltaico pesa menos y se puede utilizar sobre sustratos curvos. Además, su coste de fabricación es menor al de los paneles cristalinos. Sin embargo, un inconveniente importante del panel de silicio amorfo es su rápida degradación que induce una disminución del rendimiento los primeros años.
- Panel de película delgada (silicio amorfo): También conocida como “thin film”, son estructuras de vidrio selladas transparentes con capas reducidas de silicio y contactos gaseosos de tecnologías de deposición plasmática que actúan en un medio gaseoso. El rendimiento de este panel se aproxima al 8%, siendo menor que el monocristalino (15%) y policristalino (12%), el detalle está en que el panel de película delgada llega a alcanzar tazas energéticas de producción eléctrica en KW/h mayores que del KW pico instalado (KW/h / KW/P) debido a que esta tecnología aprovecha mejor la luz difusa y tiene menores pérdidas por altas temperaturas.

- Panel de multi unión: Son células solares con múltiples uniones p-n hechas de diferentes materiales semiconductores. La unión pn de cada material producirá corriente eléctrica en respuesta a diferentes longitudes de onda de luz. El uso de múltiples materiales semiconductores permite la absorción de un rango más amplio de longitudes de onda, mejorando la luz solar de la célula a la eficiencia de conversión de energía eléctrica. Las paneles de unión tradicionales tienen una eficacia teórica máxima del 33.16%. Además teóricamente, el más alto puede alcanzar una eficacia límite del 86.8% bajo luz solar altamente concentrada.

**3.4 Inversores solares y su funcionamiento:** Los inversores solares fotovoltaicos son el componente necesario para transformar la corriente directa que genera un sistema solar fotovoltaico, en corriente alterna. De no contar con un inversor solar, será necesario que todos los consumos sean en corriente directa.

Existen tres tipos de inversor solar:

- Inversor central o de cadena: El inversor se encarga de transformar la electricidad de corriente directa producida por los paneles, en electricidad de corriente alterna. Para este tipo de inversor los paneles solares se encuentran agrupados y conectados por "cadenas" y solo tienen conexión a un solo inversor. Este es un sistema con alta eficiencia en conversión de corriente directa a corriente alterna, Pero no tiene capacidad para trabajar con paneles que se encuentren sombreados o en posicionamiento diferente.
- Micro inversores: Este tipo de inversor suele utilizarse principalmente en sistemas solares fotovoltaicos de no tan alto consumo, como el sistema solar fotovoltaico de una residencia. Se instala un micro inversor por cada panel solar del sistema fotovoltaico, estos convierten la corriente directa de los paneles solares en corriente alterna. Una de las principales ventajas de los micro inversores es que anulan los impactos negativos del sombreado parcial o completo en paneles y además permiten supervisar el rendimiento de cada panel.
- Inversor bidireccional o híbrido: Consiste en energía solar fotovoltaica combinada con sistemas de almacenamiento de energía. Utiliza la energía solar, la alimentación de corriente alterna y la batería para garantizar el suministro de energía continuo, y almacenar la energía no utilizada producida durante el día por el sistema solar en la batería y usarla cuando lo necesiten, incluso de noche, ayuda a aumentar el autoconsumo y lograr una mayor autosuficiencia energética.

## 4. MARCO PRÁCTICO

Para el desarrollo de la investigación en su etapa práctica, a continuación, se resaltan las actividades principales propuestas para cada objetivo.

A la hora de realizar un estudio de casos exitosos de aplicación de la energía solar, se analizar la información obtenida de los casos de estudio (ahorros, consumos), que deben evidencia de la actividad energética de éstos, y así iniciar con la comparación y análisis. Luego se buscaba obtener como producto unas fichas específicas a cada caso para poder así realizar un comparativo de cifras reales de los casos de estudio, donde se evidencia el beneficio de implementar la energía solar en diferentes escalas y magnitudes; y finalmente unas tablas de consumo en Kw de los diferentes casos.

Para poder realizar un análisis comparativo de los paneles e inversores que más se destacan, se trazaron unas actividades que fueron: Realizar un diagnóstico de paneles e inversores donde se estudie el costo, la eficiencia y la potencia; donde luego se buscaba obtener como producto una agrupación de fichas técnicas, al tener la información ordenada se facilita el entendimiento, luego se podrá comparar los datos más determinantes.

Para lograr proponer una guía de difusión para los centros comerciales acerca de la energía solar, en donde se busca exhibir los puntos más básicos de esta energía, se trazaron las siguientes actividades: Estructurar la información obtenida más valiosa de energía solar, saber qué tipo de información es de mayor importancia para los empresarios en este caso; y luego diseñar la guía de difusión. Al final se buscaba obtener como producto una guía física que facilitara el aprendizaje y conocimiento de cualquier individuo con interés en la energía solar, ésta le dará respuesta a preguntas frecuentes que hay que considerar para un SSFV.

## 4.1 Estudio de casos de aplicación de energía solar en el sector comercial

### 4.1.1 Centro Comercial El Tesoro

Este sistema solar fotovoltaico interconectado de 423.36 kWp de potencia, cuenta con 1568 paneles solares poli cristalinos de 270Wp, convierte la radiación solar en energía eléctrica, la cual es utilizada para atender aproximadamente el 24% de la Energía de las zonas comunes del centro comercial. (Tabla 3) En caso de que la demanda de energía en el lugar sea mayor a la que está generando con energía solar, se complementa con energía convencional de manera automática, logrando así, un suministro constante de energía.

**Tabla 4. Ficha de caso estudio.** Fuente (elaboración propia.) kWp: Potencia pico, Wp: Vatios pico, kWh: kilo vatio hora, medida de energía.

Centro Comercial El Tesoro	
Potencia	423.36 kWp
Generación de energía	2,116.800 kw/h
Área total centro comercial	184000 m <sup>2</sup>
# de paneles solares	1568
Área ocupada	2500 m <sup>2</sup>
Tipo de panel	Policristalino
Potencia panel	270 Wp
Uso de la energía producida	Zonas comunes
% de abastecimiento	24%
Prosumidores (vender restante a EPM)	No



Figura 10. Cubierta. Imagen tomada de: Erco, energía.



Figura 11. Vista aérea. Imagen tomada de: Erco, energía.

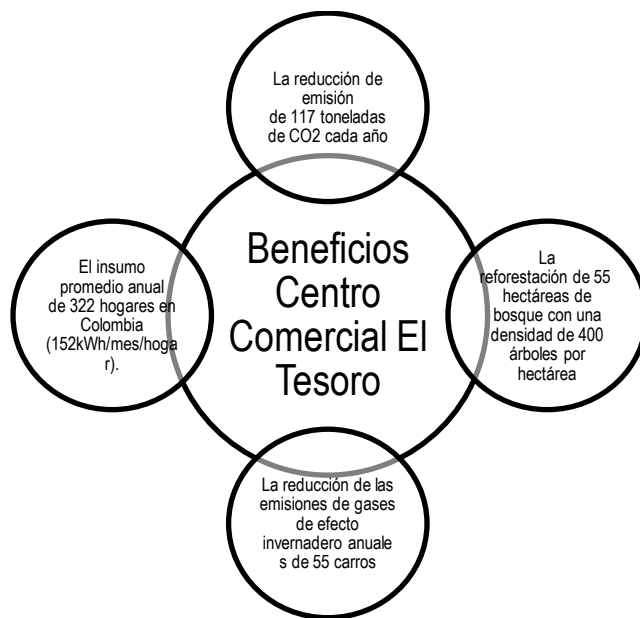
Cálculo (Kwp):

$423.36\text{Kw/día} \times 30 \text{ días} = 12700 \text{ Kw/mes}$

(Producido Kw por día, 5 horas) Panel de 270W:  $270\text{Kw} \times 5 \text{ horas de radiación pico} = 1350 \text{ Kwh}$  cada panel

$1568 \text{ Paneles} \times 1350 \text{ Kwh cada panel} = 2,116.800 \text{ Kwh}$

El esfuerzo del centro comercial el tesoro representa para el sistema energético de la ciudad y sobre todo para el medio ambiente las siguientes cifras:



#### 4.1.2 Colegio Sagrado Corazón Montemayor.

El Sistema solar fotovoltaico del Colegio Montemayor tiene una generación de 46.000 KW al año, este sistema interconectado genera 35.6 KW cada día y abastece un 60% del consumo energético de la institución.

El sistema consta de 132 paneles fotovoltaicos poli cristalinos de 270Wp, que están dispuestas en las circulaciones techadas, llamada alameda.

Ellos son prosumidores, esto quiere decir que además de alimentarse de la red puede almacenar la energía restante y venderle directamente a EPM, todo esto sucede a través de un contador bidireccional que se encarga de hacer el balance.

Funcionamiento básico del sistema

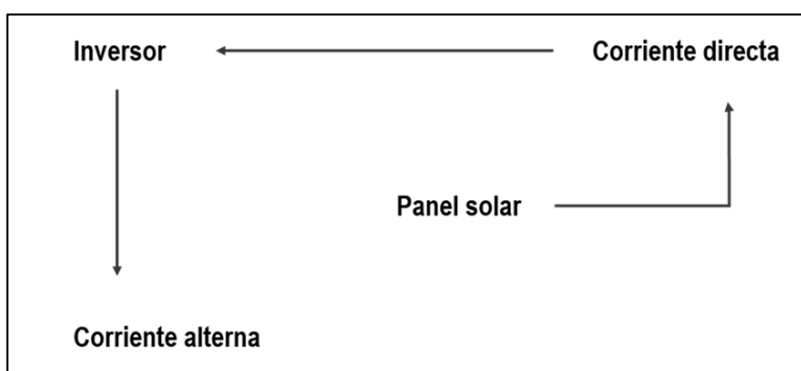


Figura 14. Esquema. Imagen elaboración propia.

Tabla 5. Ficha de caso estudio. Fuente (elaboración propia.) kWp: Potencia pico, Wp: Vatios pico, kWh: kilo vatio hora, medida de energía.

Colegio Sagrado Corazón Montemayor	
Potencia	35.6 kWp
Generación de energía	178200 kw/h
Área total Institución Educativa	2000 m <sup>2</sup> aprox.
# de paneles solares	132
Área ocupada	200 m <sup>2</sup> aprox.
Tipo de panel	Policristalino
Potencia panel	270 Wp
Uso de la energía producida	Totalidad de la institución
% de abastecimiento	60%
Prosumidores (vender restante a EPM)	Si



Figura 12. Vista aérea. Imagen tomada de: Erco, energía. .



Figura 13. Paneles en la circulación.. Imagen tomada de: Erco, energía. .

Cálculos (Kwp):

$35,6\text{Kw/día} \times 30 \text{ días} = 1080 \text{ Kw/mes}$

(Producido Kw por día, 5 horas) Panel de 270kW:  $270\text{Kw} \times 5 \text{ horas de radiación pico} = 1350 \text{ Kwh}$  cada panel

$132 \text{ Paneles} \times 1350 \text{ Kwh cada panel} = 178200 \text{ Kwh}$

El sistema solar fotovoltaico del colegio Sagrado Corazón Montemayor, representa unos beneficios para su institución y sobre todo para el medio ambiente en las siguientes cifras:



### 4.1.3 MicroRed Inteligente UPB

Es una pequeña red eléctrica que contiene diferentes elementos de generación y elementos de carga o de consumo, es una red de capacidad baja. La MicroRed se diferencia de un sistema fotovoltaico corriente debido a que solo alimenta una carga en particular, sólo cuenta con un sistema de generación distribuida y un sistema inteligente de alimentación; todas las cargas que regula están bajo el monitoreo en tiempo real del “cerebro”, que se llama (EMS) Energy Management System.

A esta red se le llama inteligente porque juega con todos los recursos, debido a que tiene la capacidad de monitorear la actividad de diferentes cargas y a partir de eso, despacha energía a las que más lo requieran.

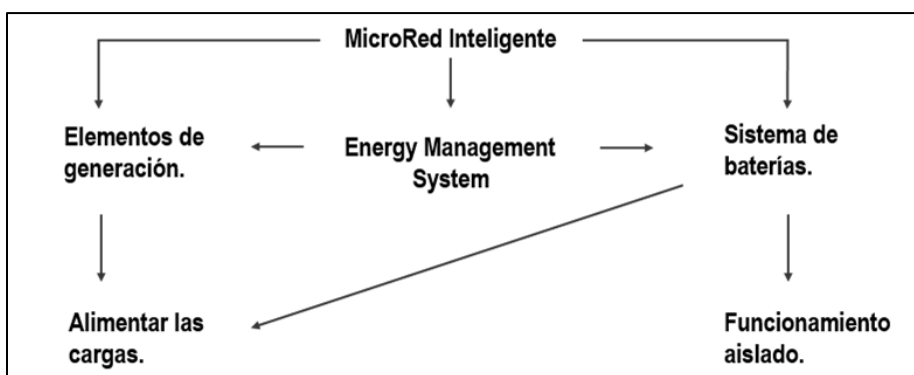


Figura 15. Esquema. Imagen elaboración propia.

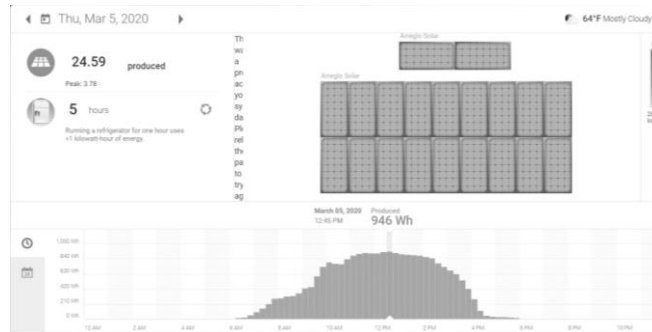
Tabla 6. Ficha de caso estudio. Fuente (elaboración propia.) kWp: Potencia pico, Wp: Vatios pico, kWh: kilo vatio hora, medida de energía.

<b>(Sistema generación solar fotovoltaica Bloque 10. (Facultad Arquitectura)</b>	
Potencia	5 kWp
Generación de energía	24500 kw/h
# de paneles solares	20
Área ocupada	80 m <sup>2</sup> aprox.
Tipo de panel	Silicio poli cristalino
Potencia panel	245 Wp
Uso de la energía producida	Iluminación y tomas de uso general del piso 3 y 4.
% de abastecimiento	-
Prosumidores (vender restante a EPM)	No





**Figura 16. Sistema solar fotovoltaico Bloque 10.** Imagen tomada de: Revista UPB.



**Figura 17. Registro Sistema solar fotovoltaico Bloque 10.** Imagen tomada de: [https://enlighten.enphaseenergy.com/pv/public\\_systems/QZaM256274/overview](https://enlighten.enphaseenergy.com/pv/public_systems/QZaM256274/overview)

Se puede ver como hay un monitoreo constante en cuanto a los registros del sistema solar fotovoltaico del Bloque 10, la MicroRed tiene esta posibilidad y es registrar los vatios por hora que se dan a lo largo de un día.

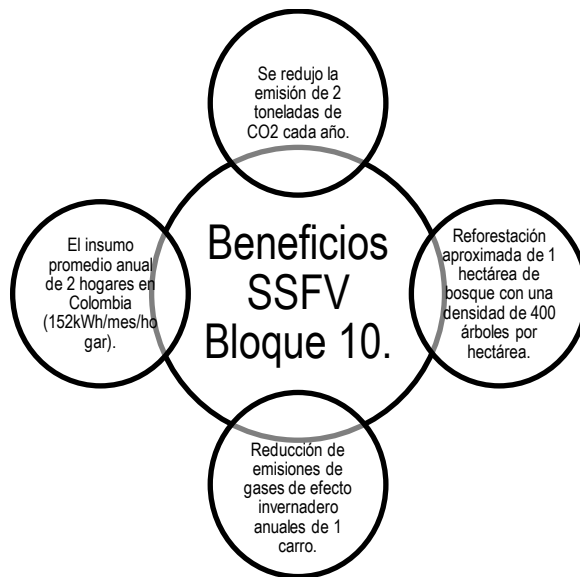
Cálculos (Kwp):

$$5\text{Kw/día} \times 30 \text{ días} = 150 \text{ Kw/mes}$$

(Producido Kw por día, 5 horas) Panel de 245kW:  $245\text{Kw} \times 5 \text{ horas de radiación pico} = 1225 \text{ Kwh}$  cada panel

$$20 \text{ Paneles} \times 1225 \text{ Kwh cada panel} = 24500 \text{ Kwh}$$

A pesar de que no se reportaron los beneficios ambientales oficiales del sistema, se estima que fueron los siguientes:



#### 4.1.4 Casa Yarumo UPB

En 2015 la universidad pontificia bolivariana participo en el Solar Decathlon, concurso con un prototipo de vivienda autosostenible llamada “Casa Yarumo”.

La intención principal del concurso era diseñar una vivienda que fuera capaz de ser autosuficiente energéticamente, teniendo en cuenta el consumo lumínico y el gasto energético producido por los electrodomésticos.

Tenía un área de 80 m<sup>2</sup>, fue pensado para 5 personas. Su sistema solar fotovoltaico suplía la carga energética demandada, con un total de 9 paneles conectados en serie de 265Wp.

Esos paneles están conectados a un inversor que permite que la energía sea distribuida en toda la vivienda.

**Tabla 7. Ficha de caso estudio.** Fuente (elaboración propia.) kWp: Potencia pico, Wp: Vatios pico, kWh: kilo vatio hora, medida de energía.

Casa Yarumo. UPB	
Potencia	2 kWp
Generación de energía	11925 kw/h
Área total	80 m <sup>2</sup>
# de paneles solares	9
Área ocupada	14,7 m <sup>2</sup>
Tipo de panel	Silicio poli cristalino
Potencia panel	265 Wp
Uso de la energía producida	Todas las necesidades energéticas
% de abastecimiento	100%

Prosumidores (vender restante a EPM)	No
--------------------------------------	----



Figura 18. Casa Yarumo en concurso. Imagen tomada de: Revista UPB.



Figura 19. Estado actual; Ahora se conoce cómo Casa Habitat. Imagen tomada de: Revista UPB.

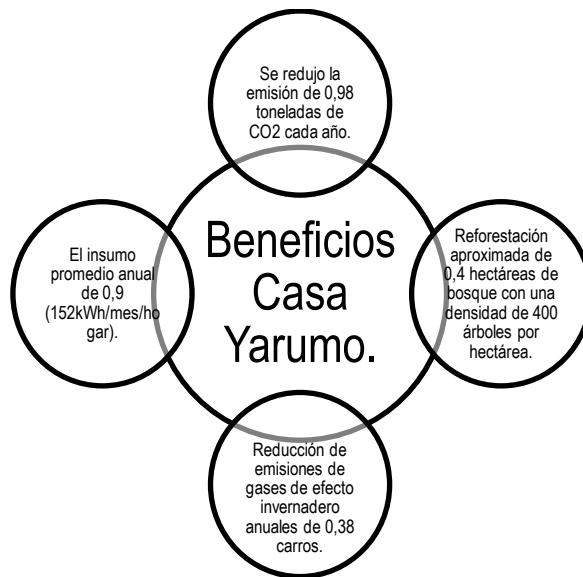
### Cálculos (Kwp):

$2\text{Kw/día} \times 30 \text{ días} = 60 \text{ Kw/mes}$

(Producido Kw por día, 5 horas) Panel de 265W:  $265\text{W} \times 5 \text{ horas de radiación pico} = 1325 \text{ Kwh}$  cada panel

$9 \text{ Paneles} \times 1325 \text{ Kwh cada panel} = 11925 \text{ Kwh}$

A pesar de que no se reportaron los beneficios ambientales oficiales del sistema, se estima que fueron los siguientes:



#### 4.1.5 Planta de Producción Tocancipá:

El objetivo de este diseño era revelar el potencial de generación de energía eléctrica a partir de un sistema solar fotovoltaico para una planta de producción de pan, ubicada en la Vereda Canavita, Tocancipá a 2561m sobre el nivel del mar y con una temperatura promedio de 13.0 grados centígrados.

El área total de cubierta de la planta es de 14.192 m<sup>2</sup>, entre los cuales están incluidas las áreas ocupadas por 2 lucarnas. El tipo de cubierta es a dos aguas con una pendiente de -4,0°.

El lugar contaba con condiciones favorables para el desarrollo de un proyecto solar fotovoltaico donde hay un valor de radiación promedio por día de 4,59 kWh/m<sup>2</sup>/día y el acumulado para el año es de 1.675,35 kWh/m<sup>2</sup>/año.

En el área de la cubierta hay 5067 paneles (2 m<sup>2</sup> c/u). Esto indica un tamaño potencial del sistema de entre 1,39 y 1,48 MWp, con capacidad de generar entre 1.849.261 y 1.968.997 kWh al año.

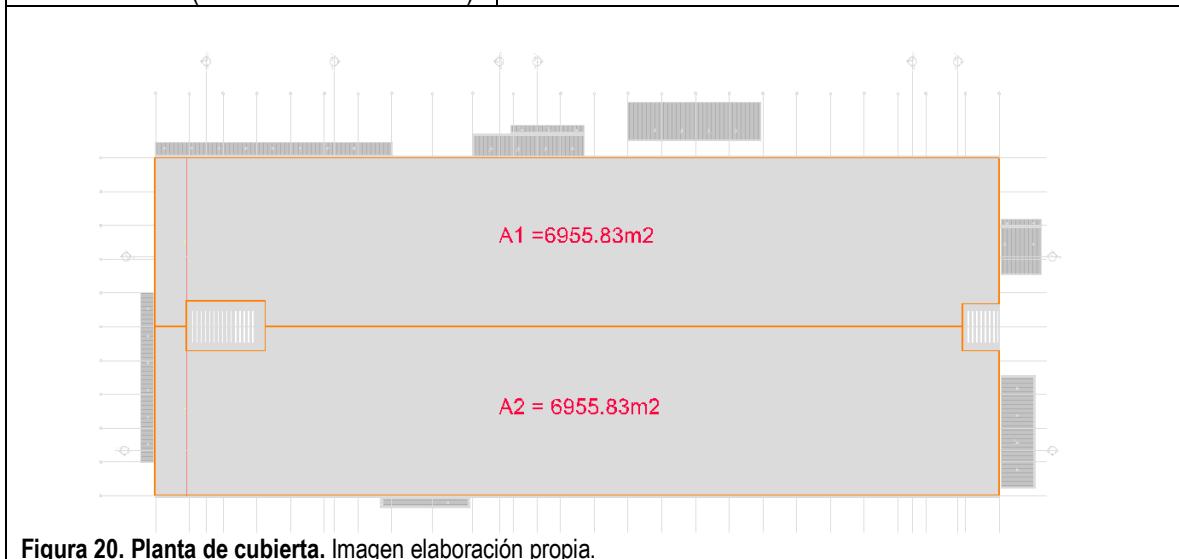
- **Carga eléctrica previa de la planta.** La red eléctrica interna de la planta, en Cundinamarca, consta de dos transformadores de potencia de 11,4 kV a 440-254 V con una potencia de 500 kVA y uno de 11,4 kV a 208-120 V a una potencia de 630 kVA, que sirven para alimentar tres tableros generales.

Los tres tableros generales de alimentadores se encuentran conectados a distintos tableros de distribución y estos, a su vez, conectan hasta los circuitos ubicados a lo largo de la planta donde se encuentran los equipos y luminarias.

- Con una potencia instalada de las cargas eléctricas de **1.400 kW**; se tienen en cuenta los siguientes equipos:  
Luminarias: 66,69 kW  
Toma corrientes generales: 114,00 kW  
Relacionados a la operación: 1228,50 kW  
Total: 1409,19 kW

**Tabla 8. Ficha de caso estudio.** Fuente (elaboración propia.)

<b>Planta de Producción Tocancipá</b>	
Potencia	1480 kWp
Generación de energía	8.107.200 kw/h
# de paneles solares	5067
Área ocupada	14192 m <sup>2</sup> aprox.
Tipo de panel	Poli cristalino
Potencia panel	320 Wp
Uso de la energía producida	-
% de abastecimiento	-
Prosumidores (vender restante a EPM)	No



Cálculos:

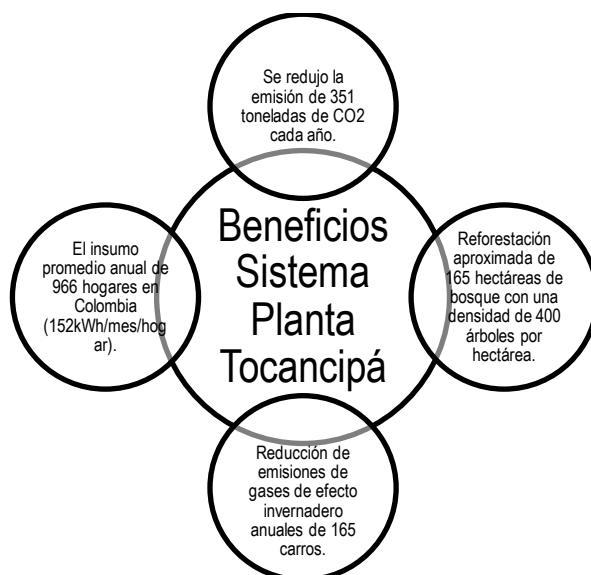
1480Kw/día x 30 días= 44400 Kw/mes

(Producido Kw por día, 5 horas) Panel de 320W: 320Kw x 5 horas de radiación pico= 1600 Kwh cada

panel

5067 Paneles x 1600 Kwh cada panel= 8.107.200 Kwh

A pesar de que no se reportaron los beneficios ambientales oficiales del sistema, se estima que fueron los siguientes:



#### 4.1.6 Matriz comparativa casos de estudio

Se elabora una matriz comparando las tipologías de cada sistema solar fotovoltaico de los casos de estudio, esto nos permitirá reunir la información necesaria para orientar al usuario sobre opciones a la hora de desarrollar un sistema solar fotovoltaico.

Tabla 9. Matriz de caso estudio. Fuente (elaboración propia.)

Proyecto	Numero de paneles	Potencia kWp	Panel Wp	% Abasto	m <sup>2</sup> del sistema	Tipo conexión	Batería
Centro Comercial El Tesoro	1568	423.6kWp	270Wp	25% (Zonas comunes)	2570 m <sup>2</sup>	Inversor	No
Colegio Sagrado Corazón Montemayor	132	35.6kWp	270Wp	60%	200m <sup>2</sup>	Inversor Bidireccional	No
MicroRed SSFV Bloque 10	20	5kWp	245Wp	-	80m <sup>2</sup>	Micro inversores	No
Casa Yarumo	9	2kWp	265Wp	100%	14.7 m <sup>2</sup>	Inversor	Si
PlantaTocancipá	5067	1480kWp	320Wp	23.5%	14192	Inversor	Si

Se eligieron los aspectos y variables a analizar de la tabla debido a la importancia que representan a la hora de considerar un sistema solar fotovoltaico.

La importancia de la matriz se reduce a como se puede diferenciar los diferentes sistemas; cómo el sistema de colegio Sagrado Corazón se diferencia de los demás, debido a que cuenta con un inversor bidireccional que le permite vender el restante de energía a la red, cómo un proyecto de la magnitud de la planta de Tocancipá, que es 3 veces superior al sistema de El Tesoro aporta unos beneficios grandísimos para el medio ambiente.

#### 4.2 Exploración de Paneles e Inversores para infraestructura solar

Diagnóstico de paneles e inversor: costo, eficiencia, potencia

Tabla 10. Ficha de caso estudio. Fuente (elaboración propia.)


<b>A-300P ULTRA Panel Solar 24V. Atersa</b>	
<p><u>Características eléctricas:</u>            Potencia nominal: 300 W            Eficiencia del módulo: 15,42 %            Corriente punto de máxima potencia: 8,21 A            Tensión punto de máxima potencia: 36,52 V            Corriente en cortocircuito: 8,89 A            Tensión de circuito abierto: 44,97 V</p>	
<p><u>Características físicas:</u>            Dimensiones (mm): 1965x990x40            Peso (Kg): 22,5            Área (m²): 1,95            Cristal delantero: Cristal templado ultra claro 3,2 mm.            Marco: Aleación de aluminio anodizado.            Costo: \$934.078,00</p>	

Figura 21. Panel. Imagen tomada de: Google

Tabla 11. Ficha de caso estudio. Fuente (elaboración propia.)

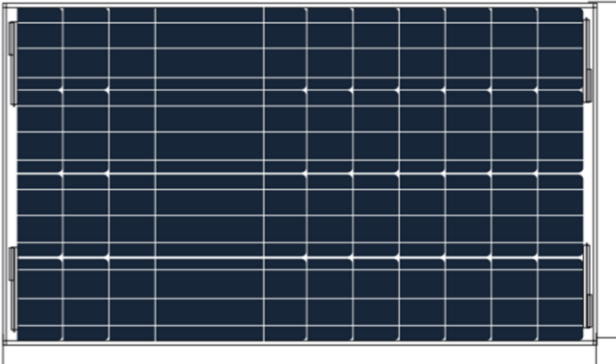
<b>Panel Solar EX285P(B)-72 de 300W Policristalino. Exiom Solutions</b>	
<p><u>Características eléctricas:</u>                      Potencia nominal: 300 .W                      Eficiencia del módulo: 15.50 %                      Corriente punto de máxima potencia: 7.85 A                      Tensión punto de máxima potencia: 36,7 V                      Corriente en cortocircuito: 8,76 A                      Tensión de circuito abierto: 45,30 V</p>	
<p><u>Características físicas:</u>                      Dimensiones (mm): 1956x992x45                      Peso (Kg): 26,00                      Costo: \$ 1.130.550</p>	

Figura 22. Panel. Imagen tomada de: Google

Tabla 12. Ficha de caso estudio. Fuente (elaboración propia.)

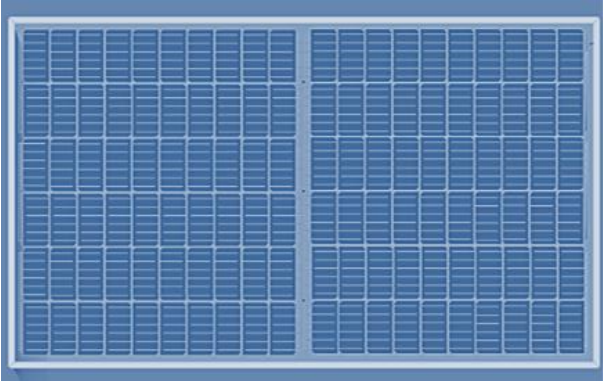
<b>Panel LongiSolar LR6-60HBD de 305-325W Módulo Bifacial.</b>	
<p><u>Características eléctricas:</u>                      Potencia nominal: 305-325 .W                      Eficiencia del módulo: 18.0-19.2%</p>	
<p><u>Características físicas:</u>                      Dimensiones (mm): 1698x996x30mm                      Peso (Kg): 22,00</p>	

Figura 23. Panel. Imagen tomada de: Google



Tabla 13. Ficha de caso estudio. Fuente (elaboración propia.)


<b>YL245P-29b Yingli Solar (SSFV Bloque 10 UPB)</b>	
<p><u>Características eléctricas:</u>                      Potencia nominal: 245.W                      Eficiencia del módulo: 18.0-19.2%                      Tipo: Silicio poli cristalino</p>	
<p><u>Características físicas:</u>                      Peso (Kg): 18,5                      Dimensiones (m): 1,65x0,99x0,04m</p>	

Figura 24. Panel. Imagen tomada de: Google

Tabla 14. Ficha de caso estudio. Fuente (elaboración propia.)


<b>JKM-265P-60 Junko Solar (Casa Yarumo UPB)</b>	
<p><u>Características eléctricas:</u>                      Potencia nominal: 265.W                      Eficiencia del módulo: 16.2%                      Tipo: Silicio poli cristalino</p>	
<p><u>Características físicas:</u>                      Peso (Kg): 18,5                      Dimensiones (m): 1,65x0,99x0,04m</p>	

Figura 25. Panel Imagen tomada de: Google

Tabla 15. Ficha de caso estudio. Fuente (elaboración propia.)


<b>JKM 320 PP-72 Jinko Solar (Planta Tocancipá)</b>	
<p><u>Características eléctricas:</u>                      Potencia nominal: 325W                      Eficiencia del módulo: 16.49%                      Temperatura de Operación: 23°C – 80°C                      Tipo: Poli cristalino</p>	
<p><u>Características físicas</u>                      Peso (Kg): 30                      Dimensiones (m): 1,96x0,92x0,04m</p>	

Figura 26. Panel. Imagen tomada de: Google

Tabla 16. Ficha de caso estudio. Fuente (elaboración propia.)


<b>Inversor de Conexión a Red FRONIUS Symo 10-3-M 10kW</b>	
<p><u>Características:</u>                      Potencia nominal CA: 10.000 W                      Máxima potencia de salida: 10.000 VA                      Máxima corriente de salida: 20 A                      Máxima tensión de salida: 280 V                      Frecuencia: 50 Hz / 60 Hz                      Garantía: 5 años.                      Precio: \$7.458.020,00</p>	

Figura 27. Inversor. Imagen tomada de: Google

Tabla 17. Ficha de caso estudio. Fuente (elaboración propia.)


<b>On Grid Solar Inverter Solis-10KW</b>	
<p><u>Características:</u>                      Potencia nominal CA: 10.000 W                      Máxima potencia de salida: 10.000 VA                      Máxima corriente de salida: 18 A                      Máxima tensión de salida: 270 V - 330                      Frecuencia: 50 Hz / 60 Hz                      Garantía: 3 años.                      Precio: \$ 7.126.399,00</p>	 <p><b>Figura 28. Inversor.</b> Imagen tomada de: Google</p>

Tabla 18. Ficha de caso estudio. Fuente (elaboración propia.)


<b>Yasakawa Grid-Tie / 60kW / 480 Vac / Transformerless (Planta Tocancipá)</b>	
<p><u>Características:</u>                      Potencia de salida: 60 kW                      Máxima tensión de salida: 480 V                      Dimensiones: 1.000 mm x 600 mm x 260mm                      Corriente Máxima de Salida: 61 A                      Rango de Temperatura -40°C hasta 65°C                      Garantía: 10 años.                      Precio: \$ 15.675.00,00</p>	 <p><b>Figura 29. Inversor.</b> Imagen tomada de: Google</p>

Tabla 19. Ficha de caso estudio. Fuente (elaboración propia.)


<p><b>Inversor Cargador 3000W 24V MPPT 50A Must Solar</b></p>	 <p>Figura 30. Inversor. Imagen tomada de: Google</p>
<p><u>Características:</u>                  Pico de Potencia del Inversor: 6000VA                  Voltaje de Trabajo del Inversor: 24V                  Potencia de Salida continuada: 3000W                  Eficiencia del Inversor: Onda Senoidal Pura                  Peso del Inversor: 11Kg                  Dimensiones: 272 mm x 355 mm x 100 mm                  Precio: \$ 1.698,000</p>	


Tabla 20. Ficha de caso estudio. Fuente (elaboración propia.)

<p><b>Inversor Victron Quattro 8000VA 24V 200A</b></p>	 <p>Figura 31. Inversor. Imagen tomada de: Google</p>
<p><u>Características:</u>                  Pico de Potencia del Inversor: 16000VA                  Voltaje de Trabajo del Inversor: 24V                  Potencia de Salida continuada: 8000VA                  Eficiencia del Inversor: Onda Senoidal Pura                  Peso del Inversor: 45Kg                  Dimensiones del Inversor: 470 x 350 x 280 mm                  Precio: \$ 15.298,000</p>	

Tabla 21. Ficha de caso estudio. Fuente (elaboración propia.)

<b>Inversor Híbrido Trifásico 10kVA Infinisolar</b>	
<p><u>Características:</u> Pico de Potencia del Inversor: 15000W Voltaje de Trabajo del Inversor: 230V Potencia de Salida continuada: 10000W Eficiencia del Inversor: Onda Senoidal Pura Peso del Inversor: 45Kg Dimensiones del Inversor: 622 x 500 x 167.5 mm Precio: \$ 18.398,000</p>	 <p data-bbox="820 850 1291 871">Figura 32. Inversor. Imagen tomada de: Google</p>

Tabla 22. Ficha de caso estudio. Fuente (elaboración propia.)

<b>Micro Inversor APS YC600</b>	
<p><u>Características:</u> Pico de Potencia del Inversor: 15000W Voltaje de Trabajo del Inversor: 230V Potencia de Salida continuada: 10000W Eficiencia del Inversor: Onda Senoidal Pura Peso del Inversor: 45Kg Dimensiones del Inversor: 622 x 500 x 167.5 mm Precio: \$ 1.600,000</p>	 <p data-bbox="820 1575 1291 1606">Figura 33. Inversor. Imagen tomada de: Google</p>

#### 4.2.1 Casos hipotéticos de aplicación:

Luego de los casos estudiados y los diagnósticos de panel e inversor; se procede a proponer escenarios diferentes de consumo energético, donde se realiza un aproximado de la inversión sin incluir costos de instalación y demás para un centro comercial.

Se calculan Kwh de acuerdo a consumos diarios y mensuales.

#### Caso hipotético de consumo energético de Centro Comercial.

En un centro comercial que consume 887000 Kwh mes, se implementan paneles de 300 Kw, reciben en promedio 4 horas pico de radiación solar.

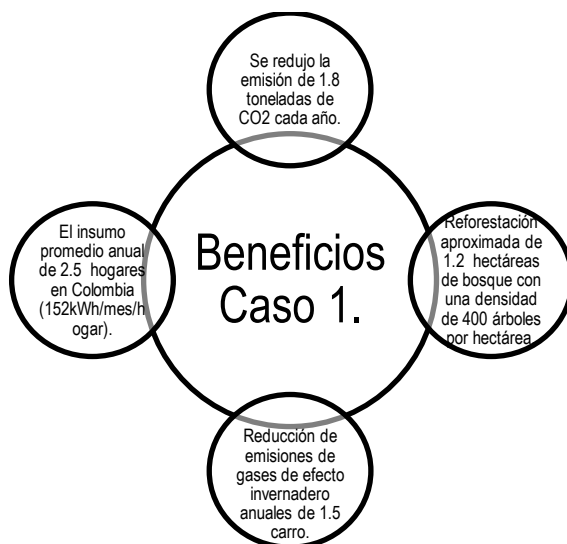
$887000 \text{ Kwh mes} / 30 \text{ días} = 29566 \text{ Kwh día}$

$\text{Panel } 300 \text{ Kwh} \times 4 \text{ horas pico de radiación solar} = 1200 \text{ Kwh cada panel}$

$29566 \text{ Kwh} / 1200 \text{ Kwh cada panel} = 25 \text{ paneles de } 300 \text{ Kwh}$  pueden abastecer el consumo diario de la edificación.

Si se utiliza el panel A-300P ULTRA. Atersa , con el costo de \$934.078,00, la inversión en paneles ronda aproximadamente los \$24'000.000, adicionalmente con el inversor Fronius, \$7.458.020,00.

Esto nos daría un total de \$31'458.000, sin incluir precios de instalación.



## Caso hipotético de consumo energético de Centro Comercial 2.

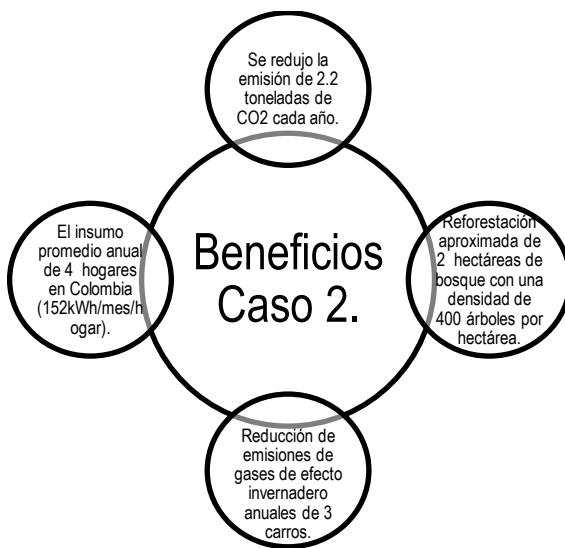
En un centro comercial que consume 964000 Kwh mes, se implementan paneles de 150 Kw, reciben en promedio 4 horas pico de radiación solar.

$964000 \text{ Kwh mes} / 30 \text{ días} = 32133 \text{ Kwh día}$

$\text{Panel } 150 \text{ Kwh} \times 4 \text{ horas pico de radiación solar} = 600 \text{ Kwh cada panel}$

$32133 \text{ Kwh} / 600 \text{ Kwh cada panel} = 55 \text{ paneles de } 150 \text{ Kwh}$  pueden abastecer el consumo diario de la edificación.

Si se utiliza el panel PS-150W, Hybritec, con el costo de \$528.000, la inversión ronda aproximadamente los \$29'040.000, sin incluir precios de instalación.



### 4.3 Requerimientos para diseñar un Sistema Solar Fotovoltaico

## GUÍA BÁSICA ENERGÍA SOLAR, PARA DISEÑAR SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

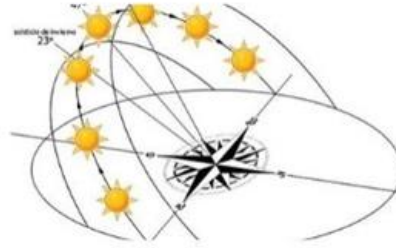
### 1 RECONOCIMIENTO DEL LUGAR Y ESTUDIO ASOLEAMIENTO.

Se busca determinar cuantas horas promedio al día va a recibir luz solar la edificación.

Al hacer el estudio de asoleamiento se deben tener en cuenta varios factores climáticos:

Ubicación geográfica, Temperatura y Topografía.

Después de definir estos factores se pasa al análisis de radiación solar y recorrido solar.



Las proyecciones varían según la ubicación.

A pesar de que el sol sale por el oriente y se pone por el poniente, su movimiento varía según la época del año.

### 2 DETERMINAR CONSUMO DE ENERGÍA

Ahora se debe identificar el consumo de energía de la edificación, se puede verificar con la cuenta de servicios públicos o se hace un cálculo estimado con los equipos que se consideren.

Por ejemplo:

Bombillas: 4 unidades x 4 horas x 60 W (100%) = 960 Wh

Televisión: 1 unidad x 3 h x 70 W (100%) = 210 Wh

Ordenador portátil: 2,5 h x 60 W (100%) = 150 Wh

Nevera: 24 h x 200 W (50%) = 2400 Wh

Total: 3720 Wh



Recibo de cuenta de servicios..

### 3 M<sup>2</sup> DISPONIBLES

Luego se debe determinar la cantidad de metros cuadrados que se dispondrán para la instalación de los paneles solares.

A partir de los casos de estudio, se tiene una idea clara sobre cómo podría ser la ubicación de los paneles, en diferentes tipos de proyectos.

El Centro Comercial El Tesoro, de sus 5000 m<sup>2</sup> construidos aproximadamente, destinó 2500 m<sup>2</sup> de su cubierta para la instalación de los paneles.



#### Panel Monocristalino:

Excelentes características técnicas para climas con nubes, tormentas y con temperaturas máximas no muy altas.



#### Panel Policristalino:

Resistencia al sobrecalentamiento y su funcionamiento es óptimo en climas cálidos, pues los paneles solares policristalinos absorben el calor a mayor velocidad



#### Panel Silicio amorfo:

Responden con poca luz, y es el único tipo de panel fotovoltaico que se puede utilizar con iluminación artificial, es de rápida degradación, induce a una disminución del rendimiento.





## ÁREA ÚTIL

4

Después de reconocer el área útil, se decide que tipo de panel e inversor se implementará al sistema, entendiendo que cada panel se adapta a un escenario diferente.

Se debe determinar la cantidad de metros cuadrados que se dispondrán para la instalación de los paneles solares, para saber cual será la potencia pico del sistema.

Aquí entra en juego el inversor, donde su potencia nominal marca el límite del sistema, es decir, no se puede producir más de lo que inversor puede convertir.

Potencia Pico:  
Cantidad de kW instalados en sistema.

Potencia Nominal:  
Potencia del inversor, capacidad de transformar energía.



## TIPOS DE INSTALACIÓN

5

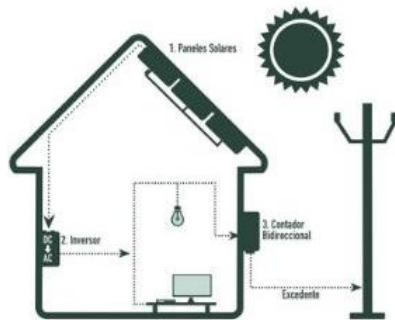
Existen dos tipos de instalaciones de sistemas de energía solar fotovoltaicas, en inglés reconocidas como, On grid (conectada) y Off grid (aislada).

### Las conectadas a la red eléctrica.

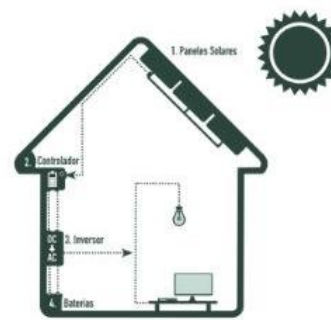
Éstos sistemas gracias a la Ley 1715 de Mayo 2014, tienen la posibilidad de la venta de excedentes de la producción eléctrica fotovoltaica, a la red de suministro.

### Las aisladas a la red eléctrica.

Cuenta con una batería que almacena la electricidad que se produce en el día y se puede consumir en la noche.



Ejemplo:  
El sistema solar fotovoltaico del Colegio Sagrado Corazón Montemayor.



Ejemplo:  
El sistema solar fotovoltaico de Casa Habitat y la Planta de Tocancipá.

## 5. CONCLUSIONES

Al estudiar y analizar una buena cantidad de casos exitosos de energía solar, se concluye y se rescata suficiente información como para tener claridad acerca de un sistema solar fotovoltaico de cualquier tipo, que aspectos lo componen, como se diferencian y que beneficios tanto económicos como ambientales se dan. Luego de tener un grupo de fichas sobre cada caso se pudo comenzar a tener claridad sobre el consumo energético y ahorro de estos, teniendo presente que tipo de paneles, inversor y sistema se pretendió en la instalación.

Se identifican casos exitosos como referencia para futuros proyectos de energía solar fotovoltaica.

Se realizó un estudio de paneles e inversores donde se incluyeron variables técnicas, económicas y ambientales, recopilando una serie de fichas técnicas que detallan la eficiencia, potencia y costo de éstos, que facilitaron a su vez la posibilidad de realizar casos hipotéticos de consumo donde se incluyeron algunos de los paneles e inversores estudiados y se calcularon los beneficios.

Se identifica gran cantidad tanto técnica como tecnológica en el mercado, esto representa un gran respaldo a la hora de decidirse por un sistema solar fotovoltaico.

Finalmente con el desarrollo de una guía de difusión, se buscaba exhibir los puntos básicos de esta energía y darle respuesta a preguntas frecuentes a la hora de diseñar un sistema solar fotovoltaico.

Esta guía nos ayudaría a entender de manera simple la composición de un sistema de estos y que aspectos se deben tener a consideración. .

## 6. BIBLIOGRAFIA

Ley 29 1990, Por la cual se dictan disposiciones para el fomento de la investigación científica y el desarrollo tecnológico y se otorgan facultades extraordinarias.

Decreto 393 de 1991, or el cual se dictan normas sobre asociación para actividades científicas y tecnológicas, proyectos de investigación y creación de tecnologías.

Ley 1715 de 2014, Promueve el desarrollo y la utilización de las Fuentes No Convencionales de Energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional

Suárez, María Fernanda 2019, ministra de energía y minas - Revista Dinero. “Lo que Colombia le enseña al mundo en transición energética”

Gallego Jaramillo, Abel, Ing. Lider de gestión, Transequipos S.A.

IRENA, Agencia Internacional de las Energías Renovables 2017

ONU, Organización de las Naciones Unidas, 2012 – “La transición energética. Una nueva cultura de la energía”

Celsia, Eficiencia energética; Empresa de energía Grupo Argos,

Unidad de planeaciones minero energética, 2017, Proyectos de Generación Inscripción según requisitos de las Resoluciones UPME.

García; María Elisa 2017, Gerente general, América Fotovoltaica.

Revista La Republica, 2018, "Proyectos de energía solar fotovoltaica, los que más se están registrando en el país"