

ESTUDIO DE RECONOCIMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA COMO  
ALTERNATIVA ENERGÉTICA PARA USO EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS  
DOMICILIARIAS

ALFONSO DURÁN CHICO  
BRAYMAN HERNEY ROMERO ROSERO

DIRECTOR: RAFAEL EDUARDO LADINO PERALTA

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS  
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES  
TECNOLOGÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL Y SERVICIOS PÚBLICOS  
BOGOTÁ D.C  
2016

APLICACIONES DE LA ENERGÍA SOLAR, EN EL BANCO SOLAR FOTOVOLTAICO  
DEL LABORATORIO DE SERVICIOS PÚBLICOS DE LA UNIVERSIDAD DISTRITAL  
COMO ALTERNATIVA PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS DOMICILIARIAS

ALFONSO DURÁN CHICO  
20131081057  
BRAYMAN HERNEY ROMERO ROSERO  
20131081222

TRABAJO DE GRADO EN LA MODALIDAD DE MONOGRAFÍA PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:  
TECNÓLOGO(S) EN GESTIÓN AMBIENTAL Y SERVICIOS PÚBLICOS

DIRECTOR:  
ING. MSC RAFAEL EDUARDO LADINO PERALTA

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS  
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES  
TECNOLOGÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL Y SERVICIOS PÚBLICOS  
BOGOTÁ D.C  
2016



## **Dedicatoria**

*A Dios, mi mamá, y a la vida que me han dado tanto.*

***Alfonso Durán Chico***

*Este proyecto de grado lo dedico primeramente a mi Dios  
quién supo guiarme y darme fuerzas para enfrentar las  
adversidades que se me presentaron y que gracias a él  
pude salir adelante.*

*A mis padres por el apoyo incondicional en cada proceso  
de mi vida, siempre alentándome a seguir adelante y ser  
una persona ejemplar.*

*A mi familia: con sus consejos, comprensión, ayuda  
permitieron de una u otra manera concluir esta etapa tan  
importante como lo es la universidad.*

*Gracias también a mis compañeros y profesores, quienes  
fueron parte fundamental en mi proceso como estudiante,  
quiero decirles que me llevo muchas experiencias  
agradables que me ayudan a forjar un mejor futuro*

***Brayman H. Romero***

## **Agradecimientos**

Los siguientes agradecimientos se escriben en primer lugar a Dios por darnos la oportunidad de permitimos culminar una nueva y valiosa etapa de nuestras vidas.

A nuestros familiares por la paciencia, dedicación y esfuerzo que nos brindaron para que nuestro paso por la Universidad fuera muy provechoso.

A la Universidad Distrital, a la Facultad de Medio Ambiente y a la Tecnología en Gestión Ambiental por abrir las puertas para que personas día tras día crezcan y se empoderen del conocimiento, de oportunidades y aprendizajes a nivel profesional, social, cultural e intelectual. Afortunadamente estuvimos dentro de ese grupo de personas.

A nuestros docentes, compañeros y amigos porque los pasos no se dan solos, y nadie se enaltece si la mano amiga de personas tan valiosas que nos ayudan a crecer, a pensar y actuar con valores de solidaridad, respeto, tolerancia, amor, justicia, verdad y paz.

Finalmente, a nuestro director Eduardo Ladino, a Sully Ardila auxiliar del laboratorio, así como a la monitora María Camila Brito, por apoyarnos incondicionalmente en la elaboración del presente trabajo.

## Tabla de Contenido

Resumen.....	1
Introducción .....	2
1. Objetivos.....	3
1.1 Objetivo general.....	3
1.2 Objetivos específicos .....	3
2. Planteamiento del Problema .....	4
3. Justificación .....	6
4. Marco de Referencia.....	8
4.1 Marco teórico .....	8
4.2 Estado del arte.....	11
5. Marco histórico.....	19
6. Marco legal e Institucional .....	23
6.1 Legislación Colombiana - Energías renovables.....	23
6.2 Instituciones .....	26
7. Marco conceptual .....	27
7.1 Fuentes de energía.....	27
7.2 Fuentes No Convencionales de Energía Renovable .....	28
7.3 Irradiancia y radiación solar.....	29
7.4 Energía solar fotovoltaica .....	29
7.5 Beneficios de la energía solar fotovoltaica .....	30
7.6 Utilización de la energía solar fotovoltaica: .....	31
7.7 Cambio Climático .....	32
7.8 Canasta energética .....	32
7.9 Zonas no interconectadas - ZNI.....	33
7.10 Instalaciones eléctricas domiciliarias - IELD .....	35
8. Metodología.....	36
8.1 Tipo de investigación.....	36
8.2 Método .....	37
8.3 Técnica.....	37
9. Resultados.....	38
10. Análisis de resultados .....	41
11. Conclusiones y recomendaciones .....	43
12. Bibliografía .....	45

## Tabla de Ilustraciones

Tabla 1 – Evolución de la ESF .....	19
Tabla 2 - Clasificación de instalaciones eléctricas .....	35
Tabla 3 - Etapas de la metodología.....	36
Tabla 4 - Método.....	37

## Tabla de Figuras

Figura 1 - Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica.....	9
Figura 2 - Aplicaciones de la ESFV en el sector domiciliario.....	11
Figura 3 – Conexión para alimentar cargas en CC .....	14
Figura 4 - Conexión para alimentar cargas en CA.....	15
Figura 5 - Conexión para venta a la red.....	16
Figura 6 - Conexión bimodal a la red y baterías de respaldo.....	17
Figura 7 - Pirámide de Kelsen – Energías Renovables en Colombia .....	24
Figura 8 - Fuentes de energía.....	27
Figura 9 - Energías renovables y no renovables .....	28
Figura 10 - Proceso de obtención de la energía solar .....	29
Figura 11. - Efecto fotoeléctrico .....	30
Figura 12 - Beneficios Tecnología Fotovoltaica.....	31
Figura 13 - Calidad de la energía eléctrica .....	35
Figura 14 - Técnica .....	37
Figura 15 - Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica en instalaciones eléctricas domiciliarias .....	38

## Resumen

La energía solar fotovoltaica a nivel nacional tiene un gran potencial pues en Colombia hay zonas en las que los niveles de radiación solar están por encima del promedio mundial. Sin embargo, es un potencial desaprovechado pues la capacidad instalada de los sistemas fotovoltaicos aún está por debajo del 3% según (El Tiempo citando a IPSE, 2015)

El nivel de desaprovechamiento va en contra vía a las realidades del territorio, en donde el cambio climático nos convierte en uno de los países más vulnerables a sus efectos, y sumado a los demás fenómenos climatológicos que en los últimos años han sido tan dramáticos, haciendo que obligatoriamente replanteemos como sociedad el desarrollo social y económico, a través de una matriz energética más limpia y amigable con el medio ambiente que nos garantice un crecimiento sostenible como sociedad, y sostenible con el uso de los recursos naturales. Y es que, solamente dentro de esa línea podremos contribuir a la disminución de gases de efecto invernadero, y el deterioro ambiental que ha ocasionado el uso de fuentes convencionales de energía, en la cual está implícita la energía producida por medio de centrales hidroeléctricas que, aunque limpia, por lo menos en Colombia no es garantía sólida frente a fenómenos extremos de sequía, ya vividos recientemente.

La propuesta que plantea el desarrollo de este trabajo es reconocer la energía solar fotovoltaica como alternativa energética para uso en instalaciones eléctricas domiciliarias a través del banco solar fotovoltaico del laboratorio de servicios públicos de la universidad distrital (especialmente uso en zonas no interconectadas), y de esta forma consolidar un punto de partida para estudiantes, investigadores y comunidad universitaria en general.

Todo, plasmado en un manual de prácticas que fue el fruto de una revisión bibliográfica y la posterior formulación de prácticas moldeadas y depuradas en el manual.

**Palabras Claves:** Banco solar fotovoltaico, cambio climático, instalaciones eléctricas domiciliarias, radiación solar, zonas no interconectadas (ZNI).



## **Introducción**

El presente documento es un estudio exploratorio el cual busca reconocer en la energía solar fotovoltaica una alternativa energética para uso en instalaciones eléctricas domiciliarias a través de una recopilación de información y el desarrollo de prácticas en el Banco Solar Fotovoltaico 950-SPT1, del Laboratorio de Servicios Públicos de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

De igual manera es un trabajo formulado para contribuir al apoyo de las prácticas académicas dentro del laboratorio de Servicios Públicos, entorno al Banco Solar, a partir de sistematizar el conocimiento de este; así como reconocer la importancia de conceptualizar lo teórico-práctico de la Energía Solar Fotovoltaica (ESF) y la reflexión de las energías renovables en el contexto actual del cambio climático a nivel principalmente de la Universidad, asimismo como la dependencia energética en la generación hidroeléctrica que mantiene el país actualmente (Unidad de Planeación Minero Energetica - UPME, 2015) etc.; en los estudiantes, docentes, y comunidad en general que hace uso del laboratorio de servicios públicos. El trabajo busca fundamentar investigaciones posteriores en el ámbito local, nacional e internacional alrededor de la ESF, las Instalaciones eléctricas domiciliarias (IED), las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER) etc, para que se desarrollen posteriormente, especialmente en Zonas No Interconectadas (ZNI).

Esta investigación parte de la línea de investigación de la generación de energía y bajo el criterio del método científico como procedimiento fundamental para esta investigación, y se ha simplificado en los siguientes pasos: planteamiento del problema, recopilación de información, análisis de la información e interpretación de datos, prácticas con el equipo y conclusiones, además de unas recomendaciones previas.

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo general**

Exponer las aplicaciones de la Energía Solar Fotovoltaica como alternativa para uso en instalaciones domiciliarias eléctricas mediante el desarrollo de prácticas con el banco solar fotovoltaico del laboratorio de servicios públicos.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Identificar las zonas del territorio Nacional con mayor potencial para el desarrollo de la energía solar fotovoltaica.
- Realizar varias prácticas con el banco solar fotovoltaico del Laboratorio de Servicios Públicos, conectando aparatos o electrodomésticos propios de una instalación domiciliaria.
- Hacer un Manual de prácticas académicas de las prácticas realizadas con el Banco solar fotovoltaico.

## 2. Planteamiento del Problema

La preocupación mundial por el cambio climático y la producción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) como aportante principal a la concentración atmosférica de gases de efecto invernadero, ha llevado a muchos países a tomar decisiones y acciones para diversificar sus canastas energéticas e iniciar así una “transición energética” hacia fuentes de Energías ambientalmente sostenibles (UPME, 2015).

Colombia no ha sido ajena a esta preocupación, como lo demuestra la ley 1715 de 2014 “*Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional*” aunque la intención de Colombia es buena, el proceso de transición se encuentra en una etapa embrionaria respecto a las Energías Renovables, lo cual sugiere una estrategia de aprendizaje en tecnologías, conocimientos y aplicaciones de las fuentes no convencionales de energía, en cuanto a las aplicaciones de la energía solar se refiere, se deben desarrollar proyectos pilotos con medición y monitoreo que permitan informar a los usuarios de la viabilidad técnico-económica de cada una de las aplicaciones.

Al mismo tiempo, las universidades pueden investigar sobre nuevas aplicaciones, nuevos materiales y nuevos diseños, adecuados a nuestras condiciones, teniendo en cuenta las “potenciales amenazas del Cambio Climático sobre el comportamiento de los aportes hídricos del país y por ende las fallas de energía que producen las plantas hidroeléctricas, lo que indica la conveniencia de una mayor diversificación de las fuentes de generación”. (UPME C., 2010)

Es por ello que resulta pertinente la complementariedad de generación hidroeléctrica con generación de tipo solar fotovoltaica, eólica en la eventualidad de vientos fuertes, además de otros tipos de FNCER, como escudo de protección ante la ocación de ocurrencia de fenómenos de variabilidad climática, como el Fenómeno del niño, buscando adaptarnos de la mejor forma al cambio climático y sobre todo de manera sostenible.

En ese orden de ideas es imprescindible empezar con ese gran reto, el cual se espera que brinde una nueva visión para investigadores, académicos, gobierno y comunidad en general para su posible desarrollo en instalaciones eléctricas domiciliarias.

¿Qué podemos hacer los estudiantes? La respuesta a la anterior pregunta no solo se puede quedar en el término “investigar”, debemos generar conocimiento práctico con los espacios que nos brinda la Universidad, un conocimiento que sea fácil de entender y sirva de punto de partida para posteriores inmersiones en el campo de la energía solar fotovoltaica.

### 3. Justificación

“A junio de 2015, la capacidad de generación eléctrica del Sistema Interconectado Nacional (SIN) fue del 70,35% para la generación hidráulica, y de 18,45% para la generación térmica, las plantas menores y cogeneradores el resto” (Unidad de Planeación Minero Energetica - UPME, 2015, pág. 14).

Es entonces que ante este panorama de dependencia en la generación hidroeléctrica; sumado a que la proyección de demanda de energía de acuerdo al Ministerio de Minas y Energía (MinMinas) entre los años 2010 y 2020 se ubicará en una tasa media de crecimiento de 3,5% y de 3,1% para el periodo 2021 a 2030, respectivamente (2011, p. 157).

Igualmente, de acuerdo al Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático, “por sus características físicas, geográficas, económicas, sociales y por su biodiversidad, Colombia es un país altamente vulnerable a los impactos del cambio climático” (Departamento Nacional de Planeación - DNP 2014, p.17) y demás fenómenos climáticos como “El Niño”, sequías, aumento de la temperatura local, incendios forestales, entre otros eventos; y lo que consecuentemente contribuirá a una amenaza que permita suplir la demanda energética a base de hidroeléctricas. ¿Qué hacer para enfrentarse a este desafío? El país sufrirá una disminución en la capacidad de abastecimiento eléctrico, en el marco de un escenario previsto y ya mencionado previamente.

La presente propuesta, pretende aumentar el conocimiento de las Energías Renovables No Convencionales, particularmente la Energía Solar, en torno al Artículo 1° de la Ley 1715 de 2014, el cual busca suscitar el desarrollo y la utilización de las Energías No Convencionales, “mediante su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero” (Ley 1715 de 2014) y la contribución efectiva que haga frente a los efectos del cambio climático, especialmente a nivel nacional.

Y es que según (Rodríguez, M. Mance, H. Barrera, X. y García, C. p.19, 2015) citando al IPCC en su informe escenario RCP 8.5 de 2014,

*...se prevé un cambio global en la temperatura media superficial del aire entre 1,4 °C y 2,6 °C para el periodo 2046-2065 en relación con el período 1986- 2005, y un cambio entre 2,6 °C y 4,8 °C para el periodo 2081-2100 en relación con el período 1986-2005. Es decir, en los peores escenarios, una persona que nazca en 2015 podría llegar a vivir en un mundo con un aumento de*

*temperatura mayor a 2 °C antes de cumplir cuarenta años de edad o mayor a 4 °C antes de cumplir setenta años.*

Sin embargo, todo esto depende de las acciones que tomemos en conjunto. De la efectividad de los acuerdos firmados en la pasada COP21 en París, de la incursión en tecnologías amigables con el medio ambiente, de la reconversión tecnológica, la movilización y participación activa de la ciudadanía y la reducción en emisiones de GEI.

Por lo tanto, al recopilar información primaria y secundaria además del desarrollo de prácticas en el Banco Solar Fotovoltaico del Laboratorio de Servicios Públicos de la Universidad, se buscará establecer el uso de la energía solar fotovoltaica como alternativa energética para uso en instalaciones eléctricas domiciliarias, así como influenciar a estudios más precisos y futuras investigaciones que contrarresten la llegada a escenarios tan desalentadores que podrán en riesgo no solo el abastecimiento energético, sino el crecimiento económico, la seguridad alimentaria, el clima, la biodiversidad y la vida en general por el uso de fuentes convencionales de energía.

Igualmente se realizará el presente trabajo de grado para contribuir con la misión de la Universidad, la cual busca la democratización del acceso al conocimiento y para que gracias al desarrollo del trabajo planteado nosotros como estudiantes podamos entregar un poco del conocimiento impartido y adquirido en la Universidad para nuestros compañeros interesados en el tema, y de esta forma poder aspirar a cumplir con nuestro plan de estudios y obtener el título de Tecnólogo en Gestión ambiental y Servicios Públicos.

## 4. Marco de Referencia

Para el desarrollo del presente documento y desarrollo del proyecto, el marco de referencia fue dividido en marco teórico, marco legal, marco institucional, marco histórico, marco geográfico y marco conceptual.

### 4.1 Marco teórico

Según (Colegio oficial ingenieros de telecomunicación, 2002, pág. 21) “la flexibilidad de tamaños y el carácter modular de los generadores Fotovoltaicos implica que se pueden construir sistemas de suministro de energía eléctrica en un gran rango de potencia”.

Eso significa que la energía solar FV puede aplicarse para alimentar desde una pequeña calculadora de mano, hasta grandes centrales eléctricas FV.

En ese aspecto las aplicaciones de la energía solar Fotovoltaica son muy diversas, y para hacer un análisis más conveniente la dividiremos en dos grandes partes, para luego formular una descripción más acertada sobre las aplicaciones domiciliarias en el BSF del Laboratorio de servicios públicos de la Universidad Distrital.

Las aplicaciones en general de la energía solar fotovoltaica se dividen en dos grandes segmentos;

- **Sistemas aislados o independientes de la red eléctrica:**

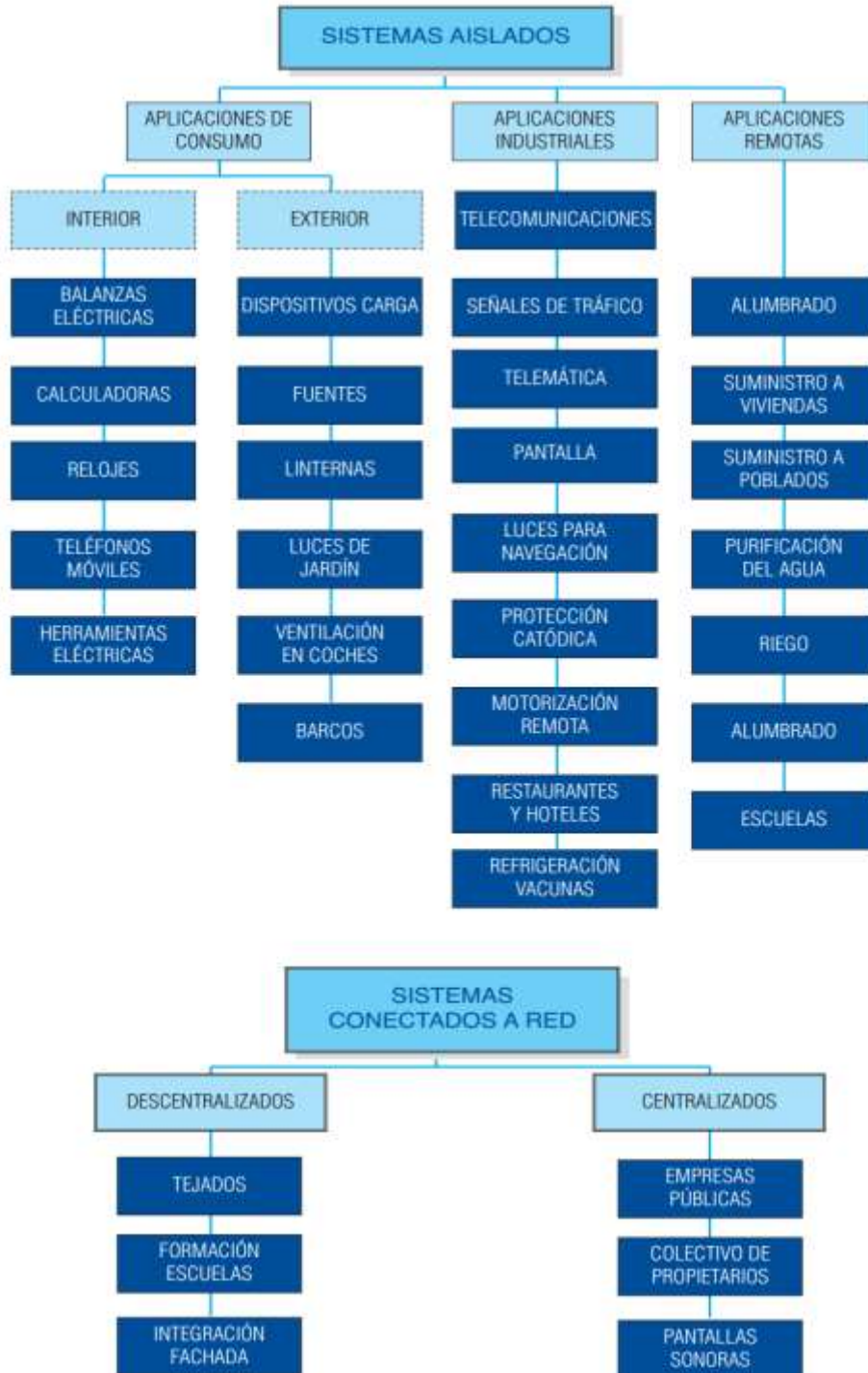
“Estos sistemas se distinguen por almacenar la energía producida por los generadores FV y por ser utilizados en zonas remotas” de acuerdo a (Lamigueiro, 2016, pág. 5), en donde por diferentes motivos; económicos, ambientales y de fiabilidad de suministro, no requieren conexión a la red convencional. También este tipo de sistema es de gran flexibilidad, y se encuentran múltiples aplicaciones para electrificación rural, señalización, comunicaciones, bombeo de agua etc.

- **Sistemas con conexión a la red eléctrica:**

Esta aplicación consiste en “generar electricidad mediante paneles solares fotovoltaicos e inyectarla directamente a la red de distribución eléctrica”. (Consortio energético Corpoema, 2010, págs. 6-24).

En la siguiente figura (Ver Figura 1), se muestra las aplicaciones más comunes para ambos sistemas.

**Figura 1** - Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica



**Fuente:** Colegio oficial de ingenieros de telecomunicación recuperado de <http://goo.gl/3Ba2yA> el [02-06-2016]



El sentido de la investigación de este trabajo está enfocado hacia las aplicaciones de la Energía Solar fotovoltaica (ESFV) en el sector Domiciliario, en ese contexto se estructura un análisis más detallado sobre las aplicaciones que podrían ser desarrolladas el BSF.

Las aplicaciones de la ESFV en el sector domiciliario se encuentran igualmente divididas en dos grandes segmentos:

- **Instalaciones independientes de la red:** Este tipo de instalación es utilizada para proveer electricidad a sitios aislados, en Colombia principalmente zonas no interconectadas (ZNI) que, por su ubicación geográfica y dificultad de acceso, no es posible la conexión a la red convencional o bien, en situaciones de emergencia, sistemas autónomos, al no estar conectados a la red eléctrica, normalmente están equipados con baterías de acumulación para la energía producida. “La acumulación es necesaria, porque el sistema fotovoltaico depende de la radiación solar captada durante el día, y a menudo la demanda de energía por parte del usuario se concentra en las horas de la tarde y noche” (Raboso, 2013, pág. 18)
- **Instalaciones con conexión a la red:** “Tienen como objetivo principal maximizar anualmente la producción de energía eléctrica que es inyectada a la red” (Abella, S.f, pág. 8) . Las principales funciones de estos sistemas son para Tejados de viviendas e integración en edificaciones, en los que la instalación está físicamente situada en un entorno urbano o cerca de conexión a la red.

**Figura 2** - Aplicaciones de la ESFV en el sector domiciliario



**Fuente:** Adaptado por los autores de (Upme, 2015)

#### **4.2 Estado del arte**

Actualmente existen algunas consideraciones y principios básicos en el diseño y uso de los sistemas fotovoltaicos en instalaciones domiciliarias según (California Energy Commission & Energy Technology Development Division, 2001, págs. 8-25) tales como:

*...seleccionar un sistema con o sin baterías de respaldo, estructura general de instalación, la estimación de la capacidad la cual el sistema cubrirá, factor de perdidas, los incentivos para reducir los costos de acuerdo a la legislación, la estimación de Ahorro de Energía Eléctrica, consideraciones técnicas, la garantía de los equipos en la instalación, el mantenimiento posterior a la entrada en operación, entre otros.*

Sin embargo, para este trabajo se identificó después de la revisión de material documental sometido a análisis, de manera detallada y cuidadosa; y después del desarrollo de las prácticas académicas con el Banco Solar Fotovoltaico en el Laboratorio de Servicios Públicos que existen dos grandes aplicaciones de la energía solar fotovoltaica, base principal de la energía para que la energía solar fotovoltaica adquiera un uso como alternativa energética en una instalación eléctrica domiciliaria frente a instalaciones que hagan uso fuentes convencionales de energía.

## **1. Aplicaciones fotovoltaicas aisladas de la red.**

De las aplicaciones aisladas se encuentran conexiones para alimentar cargas en CC (DC por sus siglas en Ingles).

También hay conexiones que incluyen un inversor independiente para conectar cargas en CA (AC por sus siglas en Ingles).

Para ambas conexiones se hace imprescindible tener respaldo de un banco de baterías y un regulador de carga.

## **2. Aplicaciones fotovoltaicas conectadas a la red**

En este tipo de aplicación hay dos conexiones principales, las conexiones que no tienen vínculo a un banco de baterías para alimentar cargas en AC y hacer venta a la red, la cual necesita como garantía mínima un inversor interactivo (micro-inversor); y la conexión al banco de baterías para alimentar cargas en AC, conexión de cargas críticas y venta a la red el cual necesita un inversor bimodal.

### **Sistemas fotovoltaicos aislados de la red:**

Principalmente se usan para aplicaciones en instalaciones domiciliarias donde por diversos motivos; técnicos, económicos, sociales, etc. No se puede conectar al sistema interconectado nacional eléctrico.

El banco cuenta con los elementos necesarios para llevar a cabo la conexión de este tipo de sistema, el cual está representado en dos tipos aplicaciones:

### **Alimentación de cargas en corriente directa (CD):**

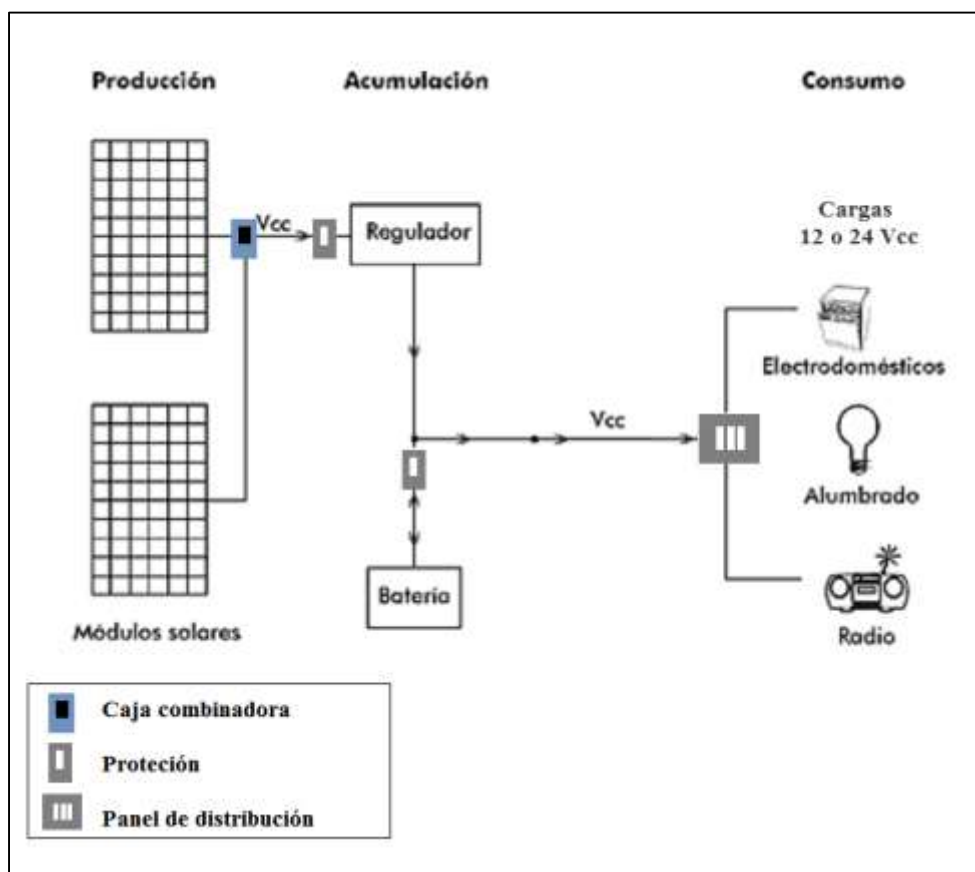
Este tipo de instalación consta de:

- **Módulos fotovoltaicos:** Es el componente que transforma la radiación solar en energía eléctrica.
- **Caja combinadora:** Los módulos fotovoltaicos se pueden conectar en serie y/o paralelo dependiendo del sistema que se quiera configurar mediante este aparato.
- **Protección en CD:** Se utiliza para evitar el daño de algún aparato conectado en la instalación, protegiendo de voltajes o corrientes elevadas.

- **Regulador de carga:** Este aparato nivela el valor de corriente y voltaje proveniente de los paneles solares como el de las baterías, cuando el regulador detecta que la batería está siendo sobrecargada, desconecta el generador FV y cuando detecta que la batería está siendo sobre-descargada, desconecta los consumos
- **Banco de baterías:** Son necesarias para almacenar la energía producida por los módulos solares, y la energía producida en las horas del día y almacenada en la batería se puede utilizar en las horas de la noche.
- **Protección para las baterías:** Es el dispositivo encargado de proteger la batería contra sobre-descargas.
- **Panel de distribución:** Dispositivo utilizado como protección de las cargas conectadas a la instalación además se encarga de distribuir y alimentar diferentes cargas.
- **Cargas en CD:** Los consumos o cargas que el sistema fotovoltaico ha de satisfacer (iluminación, radio, bombas, etc.) Se considera a los consumos como una parte substancial del sistema fotovoltaico ya que estos son los que determinan el tamaño del mismo. Este tipo de cargas deben ser de 12 o 24 Vcc. \*Valores exclusivos para el Banco Solar.

La instalación aislada de la red para alimentar cargas en CC se puede evidenciar en la **Figura 3**.

Figura 3 – Conexión para alimentar cargas en CC



Fuente: Adaptado por los autores de Universidad Politécnica de Catalunya 2008

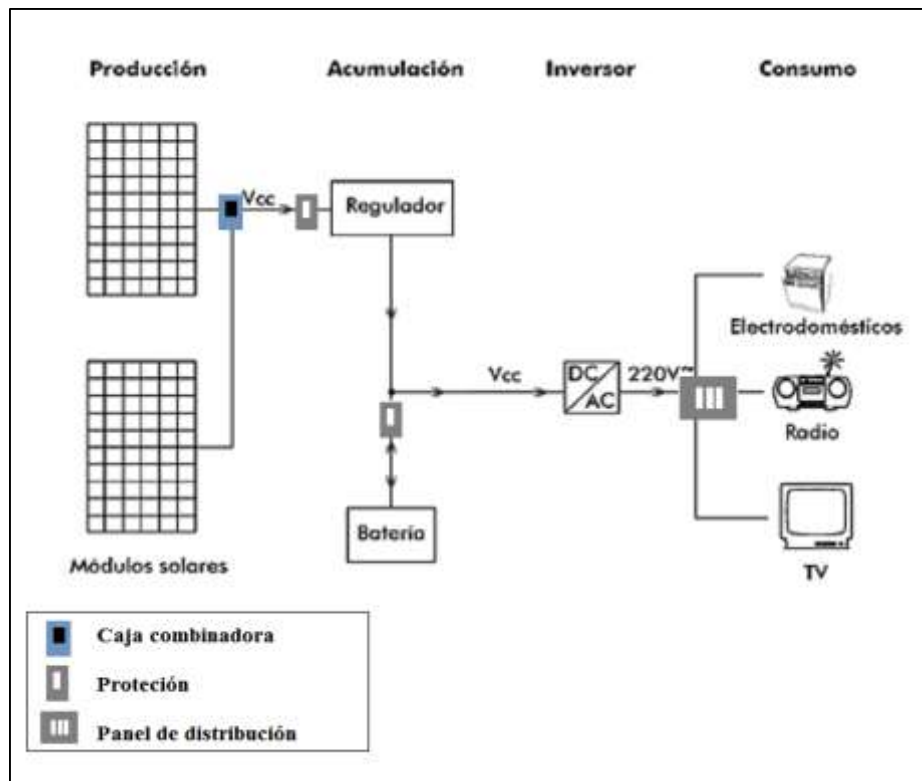
### Alimentación de cargas en corriente directa (CA):

Este tipo de instalación consta de casi los mismos componentes que la anterior conexión; módulos fotovoltaicos, caja combinadora, Protección en CA, banco de baterías, protección para las baterías, regulador de carga y a diferencia del anterior usa:

- **Inversor aislado o independiente a la red:** Dispositivo electrónico que convierte la energía de CD a CA, para ser utilizados por las cargas CA.
- **Panel de distribución CA:** Dispositivo utilizado como protección de las cargas conectadas a la instalación además se encarga de distribuir y alimentar diferentes cargas CA.
- **Cargas en CA:** Los consumos o cargas que el sistema fotovoltaico ha de satisfacer (iluminación, computador, TV, etc.) Se considera a los consumos como una parte substancial del sistema fotovoltaico ya que estos son los que determinan el tamaño del mismo.

La instalación aislada de la red para alimentar cargas en CD se puede evidenciar en la **Figura 4**.

**Figura 4** - Conexión para alimentar cargas en CA



**Fuente:** Adaptado por los autores de Universidad Politécnica de Catalunya 2008

### **Sistemas fotovoltaicos conectados a la red:**

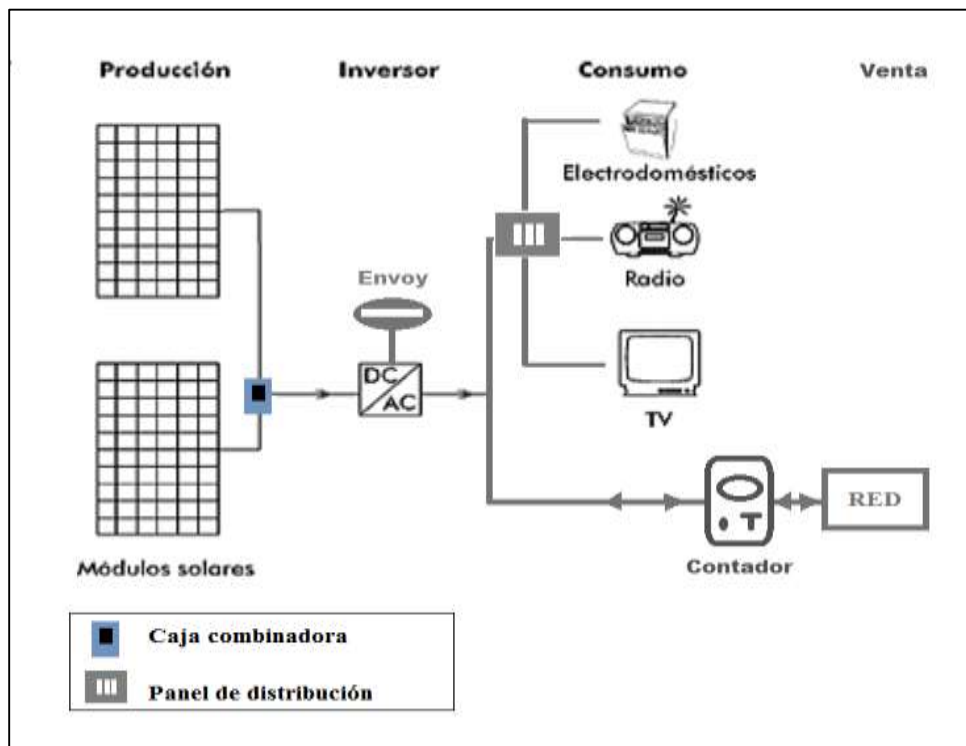
Principalmente se usan para aplicaciones en instalaciones domiciliarias donde se encuentra muy cerca al sistema interconectado nacional eléctrico, es decir en centros urbanos o muy cerca de ellos.

El banco cuenta con los elementos necesarios para llevar a cabo la conexión de este tipo de sistema, el cual está representado en dos tipos aplicaciones:

**Venta a la red sin respaldo de baterías:** Este tipo de conexión es la más sencilla, económica y utilizada en la actualidad, y está conformada básicamente por: módulos fotovoltaicos, caja combinadora, cargas en CA, panel de distribución CA, y adicionalmente utiliza:

- **Inversor interactivo:** Dispositivo electrónico que convierte la energía de CD a CA directamente desde los módulos FV (micro inversor) en onda sinusoidal pura, y con los mismos valores de voltaje, corriente y frecuencia de la red eléctrica, para no generar ningún inconveniente y poder venderse a la red y ser utilizados por las cargas CA.
- **Envoy:** Dispositivo que permite el monitoreo remoto y a tiempo real del funcionamiento del micro inversor.
- **Contador Digital bidireccional:** Contador que acumula la diferencia entre los pulsos recibidos por sus entradas de cuenta ascendente y cuenta descendente. Es decir, contabiliza la energía que se produce y la que se consume en la instalación para luego saber cuánto se debe pagar o recibir por venta a la red. En la **Figura 5** se observa la conexión necesaria para venta a la red.

**Figura 5** - Conexión para venta a la red



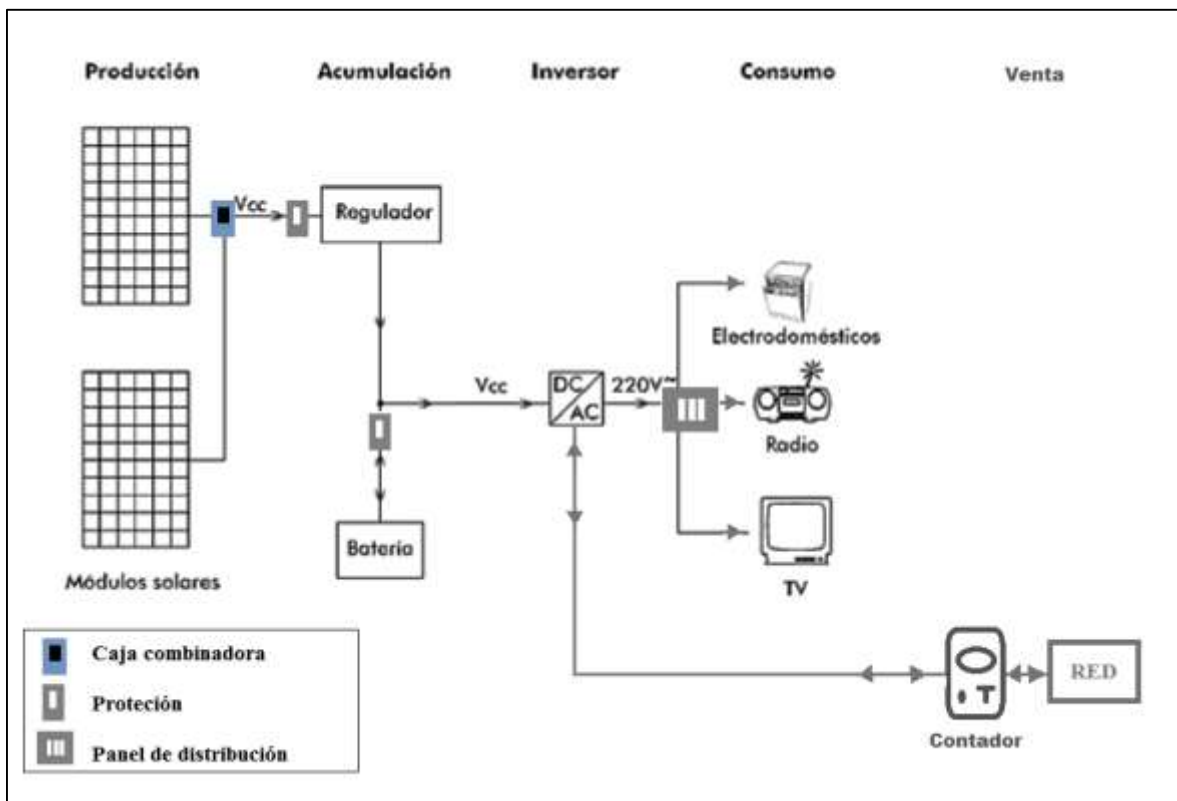
**Fuente:** Adaptado por los autores de Universidad Politécnica de Catalunya 2008

- **Venta a la red y conexión a un banco de baterías**

Esta conexión también es conocida como bimodal, ya que es una combinación de un sistema aislado junto con un sistema interactivo. Este tipo de conexión permite utilizar la

energía de la red eléctrica para cargar las baterías y también permite abastecerse de energía eléctrica en la ocasión de que la energía proveniente de la red no esté disponible. Este tipo de conexión consta de: módulos fotovoltaicos, caja combinadora, Protección en CA, banco de baterías, protección para las baterías, regulador de carga, Inversor bimodal, protección AC, panel de distribución, contador digital bidireccional. En la **Figura 6** se puede ver la conexión de un sistema bimodal con conexión a red y baterías de respaldo.

**Figura 6** - Conexión bimodal a la red y baterías de respaldo



**Fuente:** Adaptado por los autores de Universidad Politécnica de Catalunya 2008

Aunque Colombia tiene un gran potencial para el desarrollo de la energía solar fotovoltaica, la sustitución y conversión tecnológica a sistemas limpios aún es limitado respecto a capacidad instalada pues según (El Tiempo citando a IPSE, 2015) “a 2015 Colombia tan sólo tenía 3 por ciento de la energía consumida era proveniente de la fuente solar”; teniendo como precedente de que estaba ya sancionada la ley 1715 de 2014. Así que, el tema no está finiquitado con la aprobación de una ley. Son procesos de reglamentación, verificación, seguimiento y mayor impulso que promueva la inclusión de las FNCER, particularmente en las zonas de mayor potencialidad, que



de una u otra forma concentran un porcentaje significativo de las zonas rezagadas por la menor presencia, en comparación con otras zonas, del sistema eléctrico nacional.

Respecto a las aplicaciones de la energía solar fotovoltaica en el Banco Solar se hace imprescindible hacer un reconocimiento que, en relación a las instalaciones domiciliarias fotovoltaicas independientes, son estas las que brindan un beneficio para “zonas” que por motivos técnicos, geográficos, económicos etc; o bien llamadas zonas no interconectadas no tienen acceso a la energía eléctrica.

En estas zonas, si bien se puede cubrir el total de la demanda eléctrica, también se puede hacer un respaldo al sistema eléctrico del domicilio inclusive en zonas que, si cubre el sistema eléctrico nacional caso concreto: instalaciones domiciliarias fotovoltaicas con acceso a la red, que además ofrecen la posibilidad de vender la energía sobrante a la red, trasladando un descuento real, significativo y beneficioso, reflejado en la factura del servicio de energía.

Y aunque los beneficios existen, es evidente que solo serán visibles cuando se incremente el número de sistemas fotovoltaicos instalados, y esto no solo se logrará a través de subsidios gubernamentales, sino dinamizando el sector en general, con subvenciones a importaciones de grandes, medianos y pequeños proyectos, así como al fortalecimiento de investigaciones enfocadas al desarrollo y optimización tecnológica de sistemas eléctricos afines a la energía solar fotovoltaica u otras fuentes no convencionales de energía renovable. Definitivamente reglamentando la Ley 1715.

Por supuesto, que el compromiso es de todos, no obstante, el llamado especial es a los inversionistas para que apalanquen el sistema energético nacional enfocado en ideales dirigidos por alcanzar la sostenibilidad ambiental y económica de las inversiones con fuentes no convencionales de energía renovable.

## 5. Marco histórico

### Reseña histórica Mundial de la energía solar FV

Una línea de tiempo elaborada por (Asif, 2015), presenta lo que en resumen pueden ser los hechos más destacables a nivel mundial sobre la evolución de la ESFV (**Ver Tabla 1**)

**Tabla 1** – Evolución de la ESF

#### Evolución de la ESFV

1839. El punto de partida se considera que fue Alexandre Edmund Bequerel (París 1820- 1891), físico francés que descubrió el efecto fotovoltaico cuando experimentaba con una pila electrolítica.

1873 Willoughby Smith descubre el efecto fotovoltaico en sólidos, en el selenio.

1877 W.G.Adams y R.E.Day producen la primera célula fotovoltaica de selenio.

1904 Albert Einstein publica su artículo sobre el efecto fotovoltaico, al mismo tiempo que un artículo sobre la teoría de la relatividad.

1921 Einstein gana el premio Nobel de 1921 por sus teorías de 1904 explicando el efecto fotovoltaico.

1954 Los investigadores D.M.Chaplin, C.S. Fuller y G.L.Pearson de los Laboratorios Bell en Murray Hill, New Jersey, producen la primera célula de silicio, publican en el artículo "A New Silicon p-n junction Photocell for converting Solar Radiation into Electrical Power", y hacen su presentación oficial en Washington (26 abril).

1955 Se le asigna a la industria americana la tarea de producir elementos solares fotovoltaicos para aplicaciones espaciales.

1958 El 17 de marzo se lanza el Vanguard I, primer satélite alimentado con energía solar. El satélite lleva 0,1W superficie aproximada de 100 cm<sup>2</sup>, para alimentar un transmisor de respaldo de 5 mW, que estuvo operativo 8 años. La Unión Soviética, muestra en la exposición Universal de Bruselas sus células con tecnología de silicio.

1962 Se lanza el primer satélite comercial de telecomunicaciones, el Telstar, con una potencia fotovoltaica de 14W.

1963 Sharp consigue una forma práctica de producir módulos de silicio; en Japón se instala un sistema de 242W en un faro, el más grande en aquellos tiempos.

1975 Las aplicaciones terrestres superan a las aplicaciones espaciales.

1977 La producción de paneles solares fotovoltaicos en el mundo es de 500 kW.

1980 ARCO Solar es la primera empresa que alcanzó, una fabricación industrial de 1 MW de módulos al año.

1983 La producción mundial excede los 20 MW al año.

1994 Se celebra la primera Conferencia Mundial fotovoltaica en Hawai.

1998 Se alcanza un total de 1.000 MWp de sistemas fotovoltaicos instalados.

2007 Se producen más de 2.000 MW de módulos fotovoltaicas ese año.

**Fuente:** Adaptado por los autores de: (Asif, 2015)

## **Energía solar fotovoltaica en Colombia**

“La generación de electricidad con energía solar, empleando sistemas fotovoltaicos ha estado desde hace mucho dirigida al sector rural, en donde los altos costos de generación originados principalmente por los precios de los combustibles, y los costos de operación y mantenimiento” (Murcia, 2009) en aquellas zonas, generalmente remotas y distantes, hacen que la generación solar resulte más económica en el largo plazo en relación a fuentes convencionales de energía, con el plus de ser sostenible.

La tecnología en sistemas FV inicia según (CorpoEma, 2010, pág. 24), “desde la década de los 70s después de la crisis de combustibles de 1973 cuando comenzaron a aparecer empresas comercializadoras de calentadores solares de agua y plantas fotovoltaicas”.

Después como lo señala (Murcia, 2009b),

*las actividades en ESFV surgieron con el Programa de Telecomunicaciones Rurales de Telecom a comienzos de los años 80, con la asistencia técnica de la Universidad Nacional. En los programas de electrificación rural, el sistema convencional para hogares aislados ha constado de un panel solar de 50 a 70 Wp, una batería entre 60 y 120 Ah y un regulador de carga. Estos pequeños sistemas suministraban energía para iluminación, radio y TV, cubriendo las necesidades realmente básicas de los campesinos.*

Ladino, 2011, pág. 19 expresa que:

*“durante este periodo empiezan a conocerse los sistemas solares y a experimentar con ellos; llegan a los sectores rurales por donaciones y sin ningún programa de capacitación para los habitantes rurales; además, quienes reciben el servicio no se sienten dueños ni responsables de los sistemas, lo que llevó a dejar un poco descuidada esta tecnología”. Las conocidas dificultades de orden público de la década de 90 frenaron el desarrollo del mercado de la Instalaciones FV, y Para los años de 2000-2010, se hicieron esfuerzos para seguir instalado muchos más sistemas en los programas de electrificación rural, esta vez con apoyo y financiación del Estado, haciendo uso actualmente de recursos como el FAZNI (Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas).*

El IPSE (Instituto para la Promoción de Soluciones Energéticas) es en la actualidad la institución que lidera las acciones del Estado en la energización del campo colombiano. Y es que según (Murcia, 2009c) esta institución hay más de 15 000 sistemas instalados para estas aplicaciones que

aún se puede estimar en el orden de 300 kW por año. Si se consideran 30 años de desarrollo de este mercado, entonces la potencia instalada sería del orden de 9 MWp.

Principalmente como lo demuestra (CorpoEma, 2010b) en las ZNI las FNCE son esencialmente sistemas fotovoltaicos en aplicaciones aisladas y profesionales (principalmente telecomunicaciones). En la actualidad haciendo referencia a (Upme, 2015) se puede inferir que existe un estimado nacional actualizado de capacidades instaladas en sistemas solares FV del orden de los 11,5 MWp a inicios de 2015, en ese mismo documento se espera que las proyecciones de capacidad acumulada en sistemas solar FV al año 2030 sea de 167 MW potenciales, con base en la disponibilidad de techos en 22 ciudades principales del país.

De acuerdo a Fedesarrollo (2013, p. 9), “la alta participación del recurso hídrico en la generación eléctrica le ha otorgado la denominación de matriz eléctrica limpia, a Colombia, debido a sus bajas contribuciones en la emisión de gases de efecto invernadero comparada con matrices altamente dependientes de combustibles fósiles”.

Sin embargo, esto varía de un año a otro “...dependiendo de los años de “Niño”, cuando se hace imprescindible un mayor aporte de la generación térmica debido a las fuertes sequías y reducción del nivel en los embalses” (Fedesarrollo, Op. cit., p. 9), causados por éste y otros fenómenos climatológicos.

Y, es que de acuerdo a Portafolio (2014) citando a Gustavo Galvis Presidente Ejecutivo de Andesco, “la cobertura de energía eléctrica es cercana al 96% en las zonas interconectadas, con un servicio de primera calidad”.

Ahora bien, aunque la cobertura es muy buena, los esfuerzos para conectar las Zonas No Interconectadas (ZNI) no han mostrado frutos concretos pues, “históricamente el servicio eléctrico se ha prestado en estas zonas mediante generadores diésel con un alto costo por el transporte de este combustible y mantenimiento de los generadores, por lo que se presta un servicio de mala calidad, tanto es así, que hay municipios con servicio de solo 4 horas al día” (Fedesarrollo, p. 12) Por otro lado, en relación a los potenciales de energía solar, la información preliminar indica que “Colombia tiene un buen potencial energético solar en todo el territorio, con un promedio diario multianual cercano a 4,5 kWh/m<sup>2</sup> (destacándose la península de La Guajira, con un valor promedio

de 6,0 kWh/m<sup>2</sup> y la Orinoquia, con un valor un poco menor), propicio para un adecuado aprovechamiento” Unidad de Planeación Minero Energética - UPME (p. 19)

Con todo lo anterior, contando estudios y tesis de grado que principalmente se han desarrollado en la Universidad Nacional de Colombia, y en la Universidad Distrital, entre otras; se iniciara este trabajo de grado. La UNAL con 91 (Repositorio UNAL, 2016), y la Distrital con 72 (Repositorio Institucional UD, 2016) de acuerdo a sus respectivos repositorios. Los cuales han tocado los conceptos básicos de energías limpias, análisis, caracterizaciones, pequeños diseños, etc., entre los más relevantes el trabajo de (Guerrero, 2012) que “presenta una propuesta de un objeto virtual de aprendizaje, el cual brinda como una herramienta a los docentes y tutores para el manejo del tema de energías alternativas a través de la comprensión de los principios de sostenibilidad ambiental dirigida a diversos estudiantes” y el trabajo de (Barrera, 2015), el cual hizo un “análisis del panel solar fotovoltaico del LSP de la Universidad Distrital, con la finalidad de que la comunidad académica conociera acerca de los sistemas de comunicación que usan los conjuntos fotovoltaicos”.

## 6. Marco legal e Institucional

El marco legal e Institucional se ha separado en dos segmentos con el fin de analizar mejor cómo se involucran normas y directrices alrededor de las Energías Renovables especialmente en la Energía solar fotovoltaica.

### 6.1 Legislación Colombiana - Energías renovables

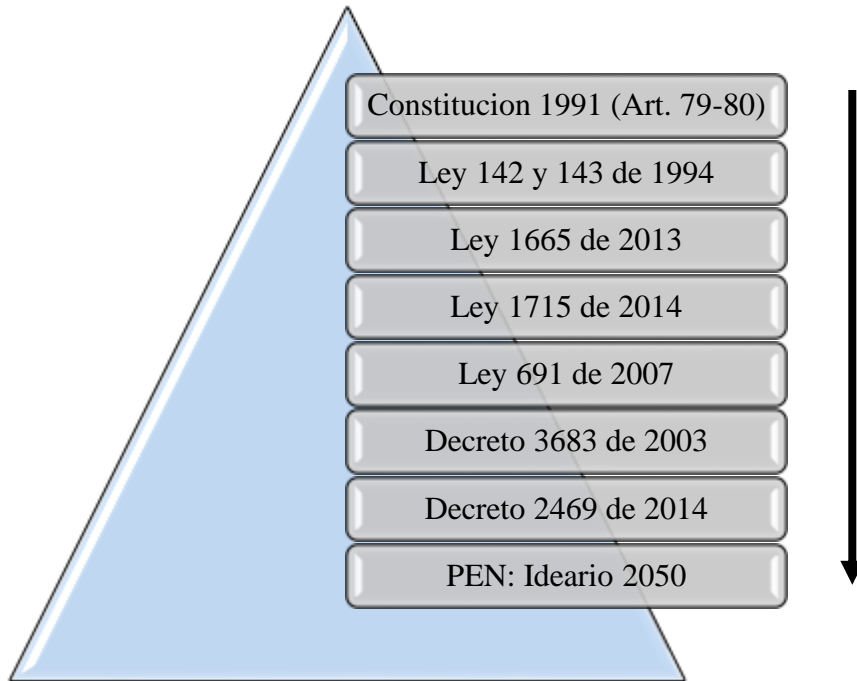
“Aunque la matriz o canasta energética del país es reconocida internacionalmente como limpia, por su alta participación en la capacidad instalada mediante centrales hidroeléctricas” (Ramón Gómez, 2015), es sabido que la casi nula diversificación de la canasta vuelve frágil al sistema energético colombiano

El Congreso de la Republica y el gobierno ya empezaron a reaccionar con la expedición de la **Ley 1715 de 2015,**

*Espera propiciar el aprovechamiento de fuentes de energía renovable, facilitar el acceso a tecnologías de punta, así como desarrollar tecnologías propias, innovadoras y de gran valor agregado. Igualmente, espera potenciar el desarrollo de las zonas rurales y en particular de las ZNI al sistema eléctrico nacional permitiendo la reactivación productiva y creación de nuevas formas del negocio. (Ramón Gómez, 2015)*

Las principales leyes colombianas (**Ver Figura 7., Pirámide de Kelsen – Energías Renovables en Colombia**) expedidas con el fin de establecer el marco jurídico y legislativo para las energías renovables se mencionan a continuación, sin una profundidad extensa pues no se busca transcribir todo lo que dice la norma.

**Figura 7 - Pirámide de Kelsen – Energías Renovables en Colombia**



**Fuente:** Los Autores

La pirámide de Kelsen – **Energías Renovables en Colombia (Figura 7)** se abrevia en la línea que marca la Constitución Política de 1991, particularmente los Artículos 79, y 80:

*Art. 70• Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo.*

*Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.*

*Art. 80• El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. (Colombia, 2001)*

Por otro lado, cualquier clase de generación de energía eléctrica, con independencia de la fuente, se rige por las leyes 142 (Ley 142 de 1994, artículo 74.1, literal b), que atribuyó a la CREG, la facultad de “*expedir regulaciones específicas para la generación y cogeneración de electricidad*” – conectados al SIN; y el artículo 89.9 de la misma ley (adicionado por la Ley 1215 de 2008) para el caso de la generación de energía, la ley 143 de 1994 y por las demás normas expedidas por la CREG.

Respecto a la Ley 1665 de 2013, esta se integra en la medida que se promoverá según su artículo 2°:

*La implantación generalizada y reforzada y el uso sostenible de todas las formas de energía renovable, teniendo en cuenta:*

*a) las prioridades nacionales e internas y los beneficios derivados de un planteamiento combinado de energía renovable y medidas de eficiencia energética, y*

*b) la contribución de las energías renovables a la conservación del medio ambiente al mitigar la presión ejercida sobre los recursos naturales y reducir la deforestación, sobre todo en las regiones tropicales, la desertización y la pérdida de biodiversidad; a la protección del clima; al crecimiento económico y la cohesión social, incluido el alivio de la pobreza y el desarrollo sostenible; al acceso al abastecimiento de energía y su seguridad; al desarrollo regional y a la responsabilidad intergeneracional. (Congreso de Colombia, 2013)*

En ese orden vendría la Ley 1715 de 2014 “Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional”, que tiene por objeto:

*promover el desarrollo y la utilización de las FNCE principalmente aquellas de carácter renovable, en el SEN, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las ZNI y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de GEI y la seguridad del abastecimiento energético. (Colombia, Congreso Nacional de la Republica, 2014);*

Esta norma va acompañada del Decreto 2469 de 2014, “Por la cual se establecen los lineamientos de política energética en materia de entrega de excedentes de autogeneración” y finalmente la Ley 687 de 2001 que es la que fomenta el uso racional y eficiente de la energía, y el Decreto 3683 de 2003 el cual reglamente esta ley, de tal manera que se tenga la mayor eficiencia energética para asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad del mercado energético, la protección al consumidor y la promoción de FNCE, dentro del marco del desarrollo sostenible (...)

Y por último el Plan Energético Nacional – PEN: Ideario Energético 2050, que busca entre sus objetivos un suministro confiable y diversificación de la canasta de energéticos, demanda eficiente de energía (de las actividades comerciales e industriales, así como para el los hogares), esquemas que promuevan la universalización y asequibilidad al servicio de energía eléctrica, vincular la



información para la toma de decisiones y contar con el conocimiento, la innovación y el capital humano para el desarrollo del sector (UPME, 2015), y otros menos relevantes para el caso.

## **6.2 Instituciones**

Las instituciones Nacionales encargadas de manejar el tema de las energías renovables se mencionan a continuación:

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS)
- Ministerio de Minas y Energía (MME)
- Comisión de Regulación de Energía Eléctrica y Gas (CREG)
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME)
- Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas (IPSE)
- Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (FENOGGE) etc.

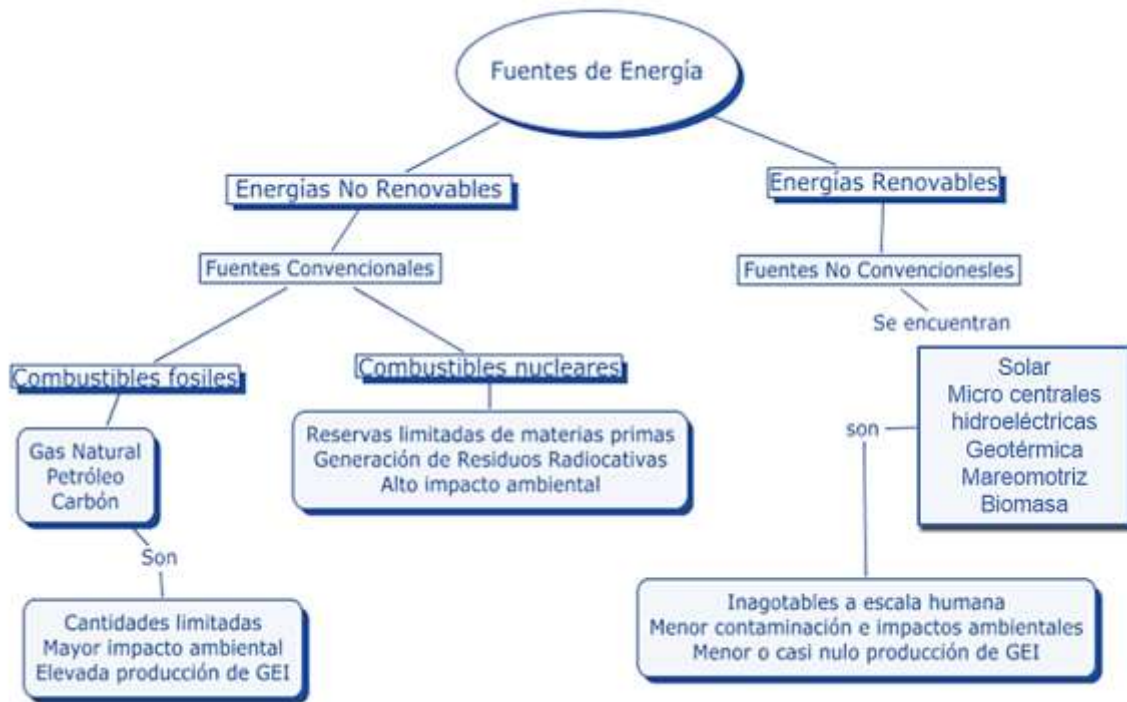
## 7. Marco conceptual

De acuerdo al desarrollo del trabajo y para una correcta aplicación e interpretación, los términos y elementos a utilizarse, así como una formulación conceptual, serán definidos y delimitados por las definiciones y/o conceptos de varios autores, relacionados con: Fuentes de energía, Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCR), energía solar fotovoltaica, los beneficios de la energía solar fotovoltaica (ESF), cambio climático, canasta energética, zonas no interconectadas, instalaciones eléctricas domiciliarias etc., con el fin de poder brindarle un concepto claro al lector final del presente trabajo de grado.

### 7.1 Fuentes de energía

Las fuentes de energía se clasifican en dos: (Ver Figura 8) las energías convencionales, provenientes de combustibles fósiles, y las energías renovables provenientes de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable –FNCR.

Figura 8 - Fuentes de energía



Fuente: Adaptado por los Autores de Gran Enciclopedia Hispánica Saber (2014)

## 7.2 Fuentes No Convencionales de Energía Renovable

Estas fuentes según la Ley 1715 de 2014:

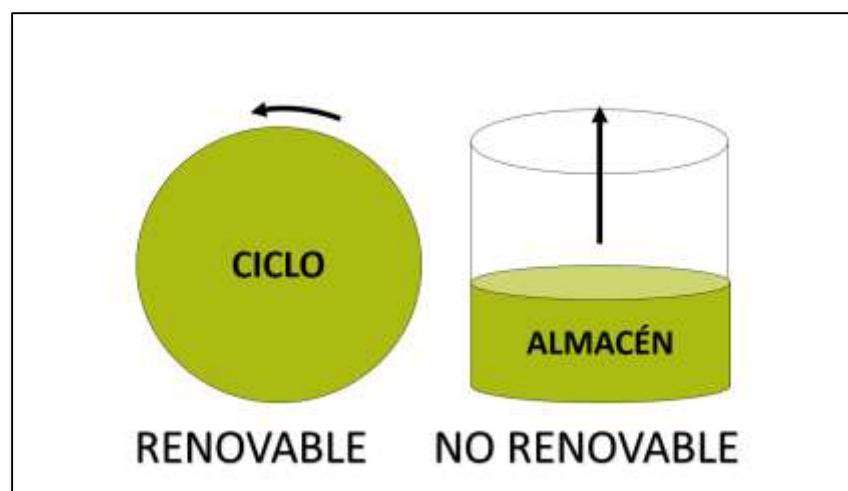
*Son aquellos recursos de ER disponibles a nivel mundial que son ambientalmente sostenibles, pero que no son empleados de manera marginal en el país y no se comercializan ampliamente. Se consideran FN CER la biomasa, los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, la energía eólica, la geotérmica, la solar y los mares. (Colombia, Congreso Nacional de la Republica, 2014).*

Por otro lado, el consumo energético actualmente en el mundo, crece día tras día. Sin embargo, también crece la preocupación por la utilización de fuentes alternativas de energía diferentes a las energías convencionales (combustibles fósiles).

Es por eso que el mundo va hacia una *transición energética*. La transición energética es “un cambio significativo en los patrones de uso de la energía en una sociedad, y esta transición está caracterizada por un cambio hacia las ER como principal medio de producción energética, reduciendo paulatinamente la producción con combustibles fósiles” (UPME citando a O'Connor, 2015, pág. 8)

Y es que las energías no renovables, generalmente se encuentran en estado de reserva o almacenadas, por lo que tarde o temprano estas llegarán a agotarse, mientras las fuentes de energías renovables provienen de recursos en un infinito ciclo, haciendo posible su utilización de igual manera infinita, haciendo más factible el desarrollo de este tipo de energías, tal como lo muestra el diagrama de la **Figura 9**.

**Figura 9** - Energías renovables y no renovables



**Fuente:** UPME (s,f) Energías Renovables: Descripción, tecnologías y usos finales

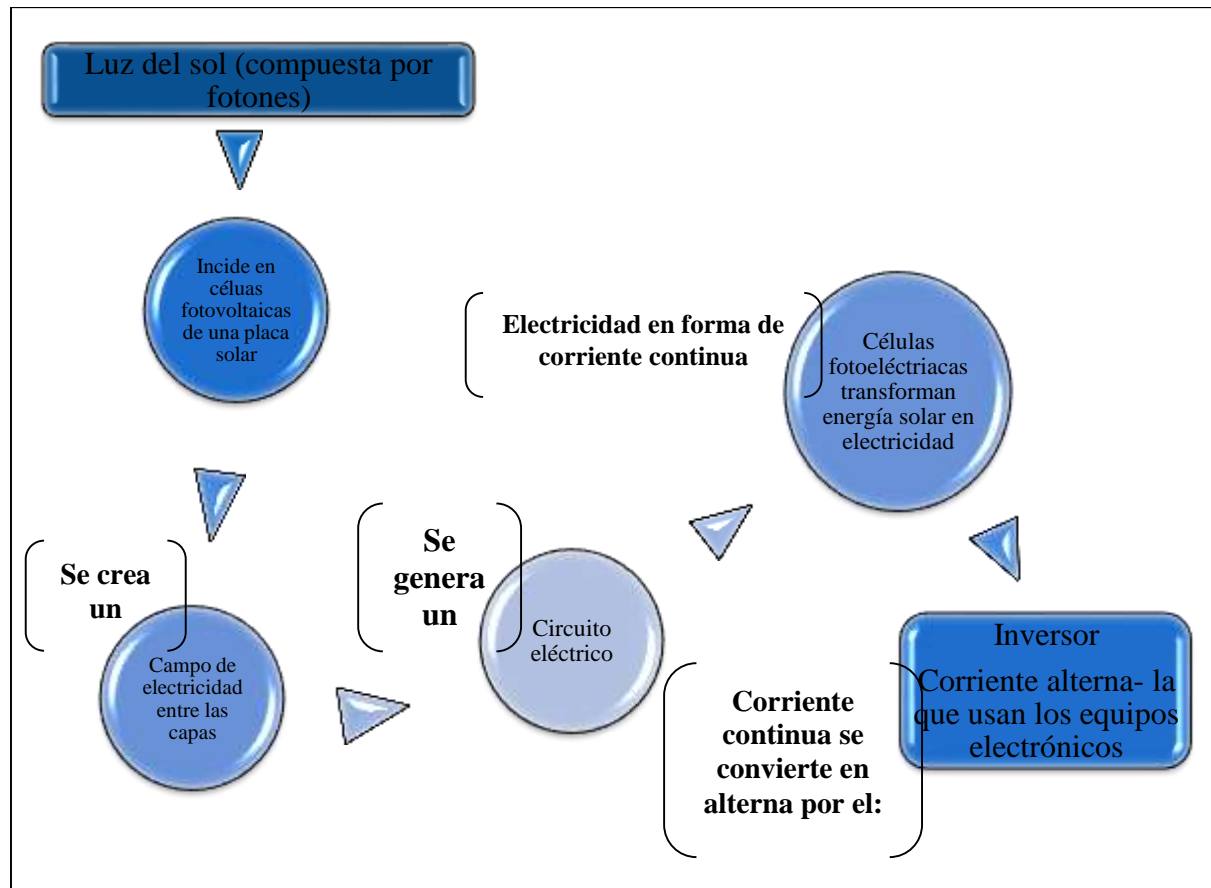
### 7.3 Irradiancia y radiación solar

Irradiancia es la potencia solar incidente en una superficie por unidad de área. Mientras RS es la energía electromagnética emitida por el sol. La radiación se aplica al cuerpo que radia, mientras que irradiación al objeto expuesto a la radiación. (Servicio Nacional de Meteorología del Perú citando a RISOL, 2003)

### 7.4 Energía solar fotovoltaica

El sol es la mayor fuente de energía en la tierra. “Esta energía se produce a través del mecanismo de fusión termonuclear, este mecanismo mediante el cual el Sol produce energía es de gran importancia por el hecho de que la mayor parte de la energía producida y utilizada en la Tierra es de origen solar”. (Hispanica, Enciclopedia, 2014). ¿Y dónde entra la energía solar fotovoltaica? Pues la energía solar fotovoltaica se obtiene como el mismo nombre lo menciona del sol. La energía solar es obtenida mediante la transformación de la energía del sol en energía eléctrica.

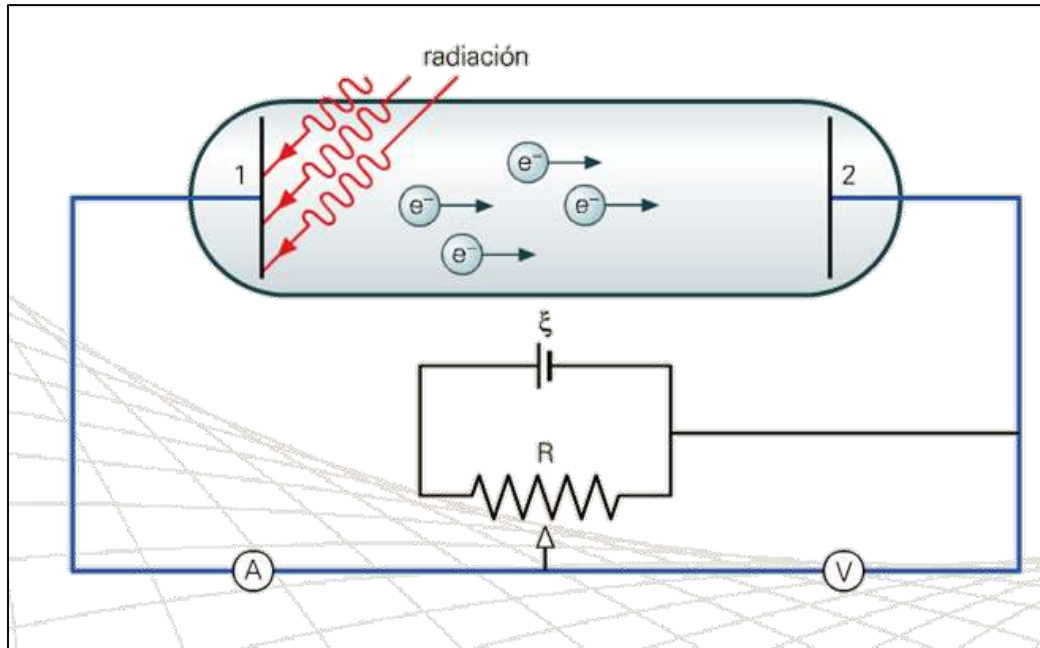
Figura 10 - Proceso de obtención de la energía solar



Fuente: Twenergy (2012) ¿Cómo funciona la energía solar fotovoltaica? [En línea] Disponible en: <http://goo.gl/9QHdDy> Con acceso el [24-01-2016]

El proceso explicado por la **Figura 10**, de **obtención de la energía solar**, pero particularmente la conversión en electricidad depende del “efecto fotoeléctrico (**Ver Figura 11**) que consiste en la liberación de un electrón cuando ciertos materiales absorben un fotón de luz con energía suficiente” (Aden B. Meinel y Marjorie P. Meinel, 1982)

**Figura 11.** - Efecto fotoeléctrico



**Nota:** Dispositivo experimental para la observación del efecto fotoeléctrico. Cuando la radiación electromagnética incide sobre una superficie metálica sólida, ésta emite electrones.

**Fuente:** Gran Enciclopedia Hispánica edición en Red, Editorial Planeta (2014)

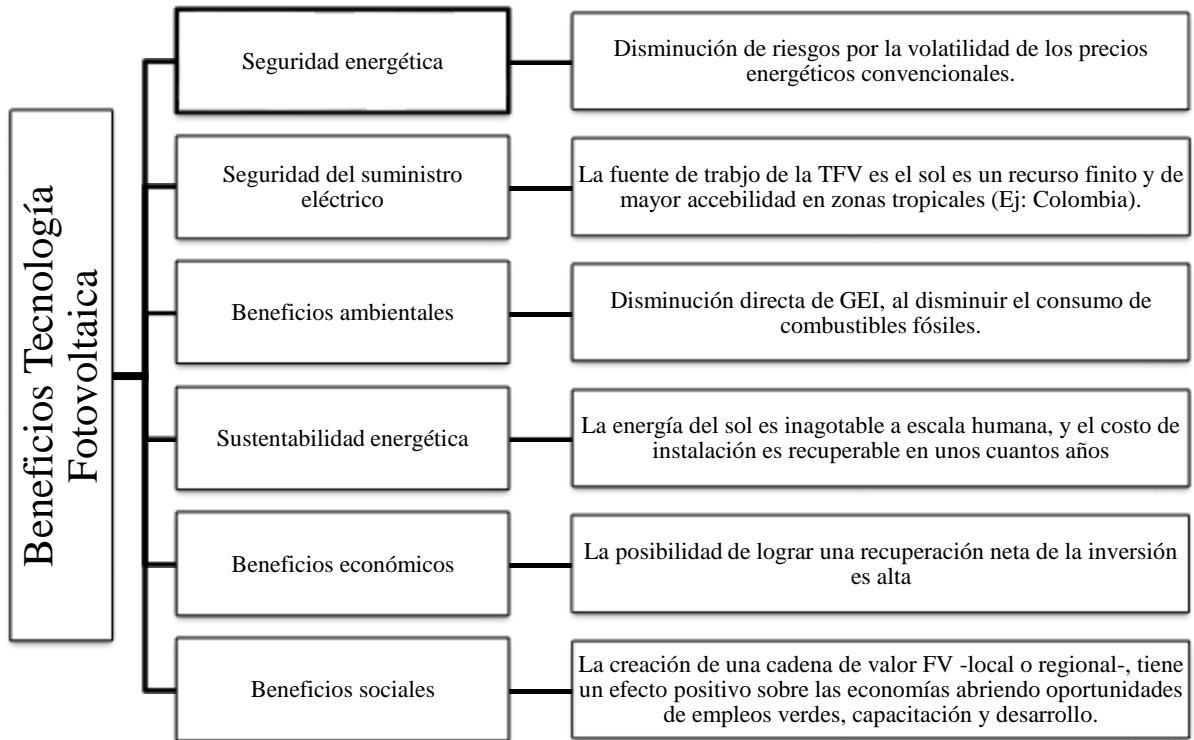
### 7.5 Beneficios de la energía solar fotovoltaica

Los beneficios de la energía solar fotovoltaica, indiscutiblemente son múltiples. Pues, representan una gran oportunidad y alternativa para el desarrollo de tecnologías alejadas de los combustibles fósiles, o en concreto la emisión de gases de efecto invernadero.

Y a pesar de reconocer ante mano que aún el desarrollo entorno a esta tecnología representa un costo de inversión elevado, “aprovechar la energía que se puede obtener de la naturaleza no es una moda, es un negocio rentable y menos contaminante” (Forbes México, 2014).

En ese orden de ideas se expone algunos de los beneficios de la ESF, de acuerdo al portal Finanzas Carbono, la plataforma sobre financiamiento climático para Latinoamérica y el Caribe (**Ver Figura 12**).

**Figura 12 - Beneficios Tecnología Fotovoltaica**



**Fuente:** Jiménez, E. (2013) Finanzas Carbono. Plataforma sobre financiamiento climático para Latinoamérica y el Caribe. Disponible en: <http://goo.gl/nnpH3I> con acceso el: [14-01-2016]

### 7.6 Utilización de la energía solar fotovoltaica

Esta energía se puede utilizar en una instalación conectada a la red, o a una instalación aislada, sin acceso a la red eléctrica (Twenergy, 2014) o también conocida como Zonas No Interconectadas (ZNI) que por características geográficas, ambientales, técnicas, culturales, sociales y ambientales no se pueda llegar con una red de tendido eléctrico.

Estas instalaciones aisladas pueden suplir un autoconsumo de manera sostenible y sus posibilidades de efectividad están determinadas inicialmente por el potencial lumínico del área donde se vaya a implementar, en segunda medida, de la cantidad de placas solares instaladas (inversión inicial) y por último, aunque relacionada con la segunda, está la demanda eléctrica a suplir por las placas.

## **7.7 Cambio Climático**

El cambio climático es más real que nunca. “Y revertirlo es nuestro mayor desafío como civilización” (Coll, 2016)

*El cambio climático es el cambio del clima de manera natural y continuada en la Tierra, estos cambios se deben a la interacción entre la radiación solar y los componentes de la atmósfera, la hidrosfera y la litosfera, además de la biosfera. Sin embargo actualmente estos cambios son acelerados por las actividades humanas como la industria, la ganadería intensiva, la deforestación y la quema de combustibles fósiles; que conlleva la liberación a la atmósfera de los denominados gases de efecto invernadero, lo que provoca una aceleración en el cambio climático natural, un aumento de las catástrofes naturales, la alteración en los ecosistemas, así como la pérdida de biodiversidad, etc. (Gran Enciclopedia Hispánica - Hispánica Saber, 2015)*

Toda gira en torno al clima. La vida, los bosques, el agua, los alimentos y la esperanza de un mañana. El cambio climático es central en la agenda global actual y futura, por su afectación tan desastrosa a todos los ecosistemas y a todas las poblaciones del mundo; unas más vulnerables que otras, “como Colombia, en donde la capacidad de responder ante las eventualidades del cambio climático sigue siendo limitada y gran parte de la población es altamente vulnerable a sus efectos” (Departamento Nacional de Planeación, 2012)

## **7.8 Canasta energética**

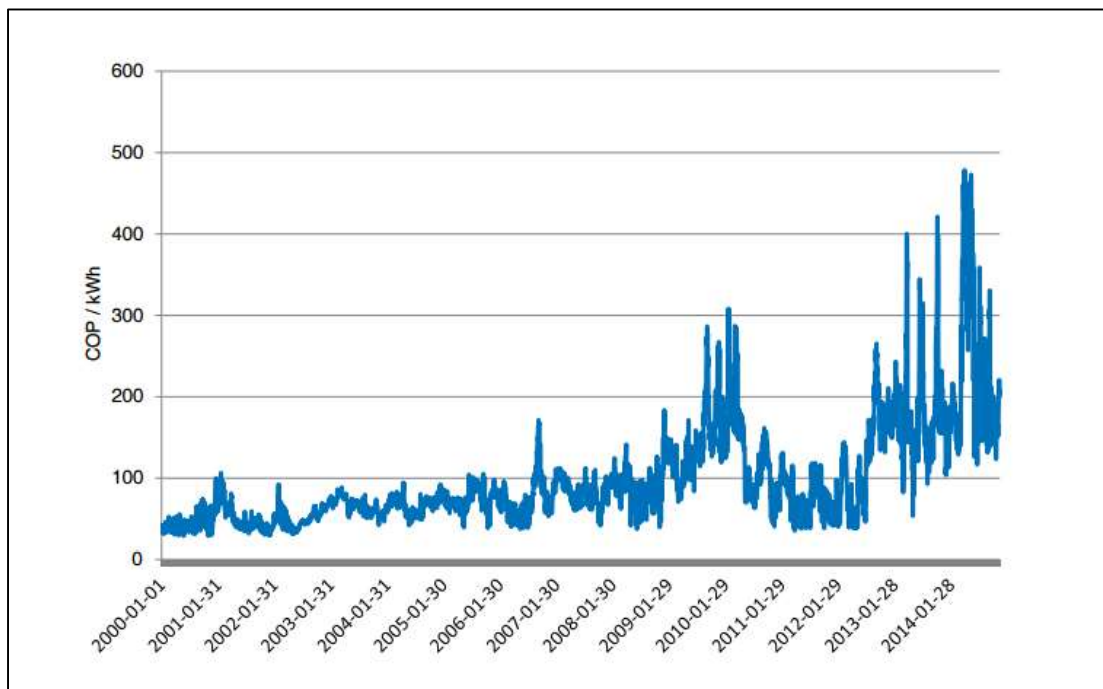
Ya como vimos de acuerdo a la (Unidad de Planeación Minero Energética - UPME, 2015) la energía usada en Colombia que proviene de la generación hidroeléctrica es de 70,35% y de la generación térmica del 18,45%; lo que significa una alta dependencia del recurso hídrico y que supone un riesgo ante periodos de sequía como lo vividos en la crisis energética causada por el fenómeno del “Niño” en los 90, o la más reciente (2015-2016) en la que la especulación por apagones o racionamientos han estado latentes.

Y es que de acuerdo a la (UPME citando a CorpoEma 2010, 2015) “análisis recientes han pronosticado que la vulnerabilidad a las sequías crecerá significativamente en Colombia debido al cambio climático”.

De igual forma teniendo como referencia las estimaciones y proyecciones de población del DANE que revela que Colombia llegará a un poco más de 50 millones de habitantes para 2020 (Departamento

Administrativo Nacional de Estadística - DANE) lo que se traduce en aumento de la demanda energética, así como el aumento de los precios de la energía, (**Ver Ilustración 1.**) – “por la disminución de la capacidad en las plantas hidroeléctricas y mayor dependencia de las centrales térmicas según la” (UPME, 2015, pág. 30)

**Ilustración 1** - Tendencia de precios en el mercado mayorista de energía colombiano, 2000 – 2014 (promedios mensuales)



**Nota:** Durante los últimos años en Colombia, el precio de la energía eléctrica en bolsa ha mantenido una tendencia constante al alza, llegando a precios cercanos a los 500 COP/ kWh.

**Fuente:** Unidad de Planeación Minero Energetica - UPME. (2015). *Integración de las Energías Renovables no Convencionales en Colombia citando a Datos XM*

## 7.9 Zonas no interconectadas - ZNI

Las ZNI se entienden según la Ley 1715 de 2014 como “los municipios, corregimientos, localidades y caseríos no conectadas al Sistema Interconectado Nacional (SIN)” (Congreso de Colombia, 2014).

Estas Zonas representan de acuerdo al Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas –IPSE- “el 52% del territorio, el cual incluye 90 municipios, 1.448 localidades, 39 cabeceras municipales, de las cuales 5 son capitales de departamento y 20 territorios especiales (...) y fronterizos” (IPSE, 2013)



Y aunque Colombia conforme a datos del Banco Mundial, alcanza una cobertura del 97% en el acceso de energía eléctrica (Banco Mundial, s.f.), estas zonas principalmente, por su baja densidad poblacional, y problemas técnicos relacionados intrínsecamente con la geografía nada homogénea del territorio, “hacen que sea difícil la instalación de infraestructura que se conecte al SIN, por costos tanto financieros como ambientales” (Bustos, Sépulveda , y Aponte, 2014)

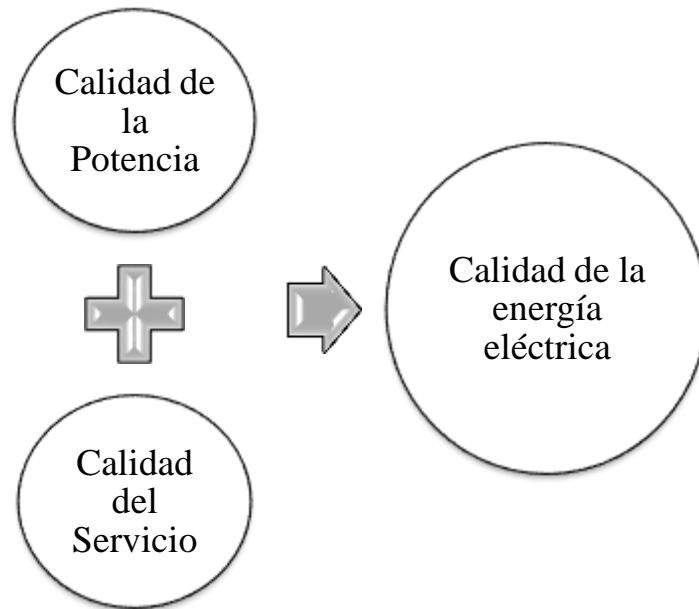
En las siguientes figuras del trabajo de (Bustos, Sépulveda , y Aponte, 2014) se evidencia que los departamentos incluidos en el **Mapa 1** “pertenecen ciertamente a regiones del país alejadas de las principales ciudades con baja densidad de población, y en general (...) a departamentos con niveles altos de necesidades básicas insatisfechas según datos del DANE, el DNP y el MinMinas”

**Mapa 1** - Distribución espacial de las ZNI en Colombia



**Fuente:** (Bustos, Sépulveda , y Aponte, 2014) citando MinMinas, 2013

**Figura 13** - Calidad de la energía eléctrica



**Fuente:** (Conpes 3055, 1999)

**Nota:** La calidad de la energía eléctrica como lo muestra la **Figura 13**, es la calidad de la potencia (se refiere a la estabilidad de las variables eléctricas de la señal) mas la calidad del servicio, (cuyos indicadores miden la duración y frecuencia en las interrupciones del servicio).

### 7.10 Instalaciones eléctricas domiciliarias - IELD

Una IELD se puede catalogar como “el conjunto de elementos necesarios para conducir y transformar la energía eléctrica para que sea empleada en aparatos receptores y máquinas para su utilización en un domicilio o residencia” (Harper, 2005)

La siguiente tabla (**Ver Tabla 2**) es la estandarización de los niveles de tensión para sistemas de corriente alterna, los cuales se adoptan de la NTC 1340, contenidos en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE (2013), artículo 12°.

**Tabla 2** - Clasificación de instalaciones eléctricas

<b>Instalación</b>	<b>kV</b>
Extra alta tensión (EAT)	Tensiones superiores a 230 kV
Alta tensión (AT)	Tensiones mayores o iguales a 57,5 kV y menores o iguales a 230 kV
Mediana tensión (MT)	Tensión nominal superior a 1000 V e inferior a 57,5 kV
Baja tensión (BT)	Tensión nominal mayor o igual a 25 V y menor o igual a 1000 V.
Muy baja tensión (MBT)	Tensiones menores de 25 V.

**Fuente:** (Ministerio de Minas y Energía, 2013)

## 8. Metodología

### 8.1 Tipo de investigación

Es una investigación exploratoria que pretende lograr una aproximación más precisa al reconocimiento de las posibilidades de la energía solar fotovoltaica como alternativa energética para uso en instalaciones eléctricas domiciliarias que resultará de recopilar información primaria y secundaria además realizar una serie de prácticas con el Banco Solar Fotovoltaico del Laboratorio de Servicios Públicos, con el fin de aumentar el grado de claridad y familiaridad en torno a este equipo y su uso en las instalaciones eléctricas domiciliarias, para trabajos posteriores. Por ser una investigación exploratoria, el trabajo se segmentó en dos etapas (Ver **Tabla 3**, la primera se concentró en la recopilación de datos e información teórica de manera documental (apoyada por los instrumentos de recolección de información secundaria en libros, manuales, bases de datos, estudios previos, infografías, vídeos de internet etc.) Y la segunda, fue la recolección de información primaria, mediante la observación controlada, la experimentación, y mediciones en el Laboratorio de Servicios Públicos principalmente.

**Tabla 3** - Etapas de la metodología

	<b>Fase</b>	<b>Actividad</b>
<b>Etapa I</b>	<b>1.</b> Recolección de información secundaria.	<b>1.1</b> Revisión bibliográfica en libros, manuales, bases de datos, infografías, vídeos de FNER, FCE, IED, ER etc. <b>1.2</b> Revisión de las normas vigentes y aplicables de FNCER en Colombia.
	<b>2.</b> Recopilación y análisis de las fuentes de información relevantes para la investigación.	<b>2.1.</b> Diseño de hipótesis y planteamiento del problema. <b>2.2</b> Elaboración de objetivos. <b>2.3</b> Selección de metodología, método y técnica para la presente investigación. <b>2.4</b> Elaboración del Marco Teórico.
<b>Etapa II</b>	<b>1.</b> Diseño de las prácticas LSP.	<b>1.1</b> Planteamiento de los temas de cada práctica y el número de ellas, con la aprobación del docente director. <b>1.2</b> Desarrollo y retroalimentación de las prácticas. <b>1.3</b> Producción del manual de prácticas.

**Fuente:** Los autores

## 8.2 Método

El método del trabajo es experimental tanto que está compuesto por la observación, la medición y la experimentación en el banco solar fotovoltaico. Sin embargo, en realidad el método del trabajo está ligado también con el método teórico pues ninguna idea fue preconcebida (**Ver Tabla 4**).

**Tabla 4 - Método**

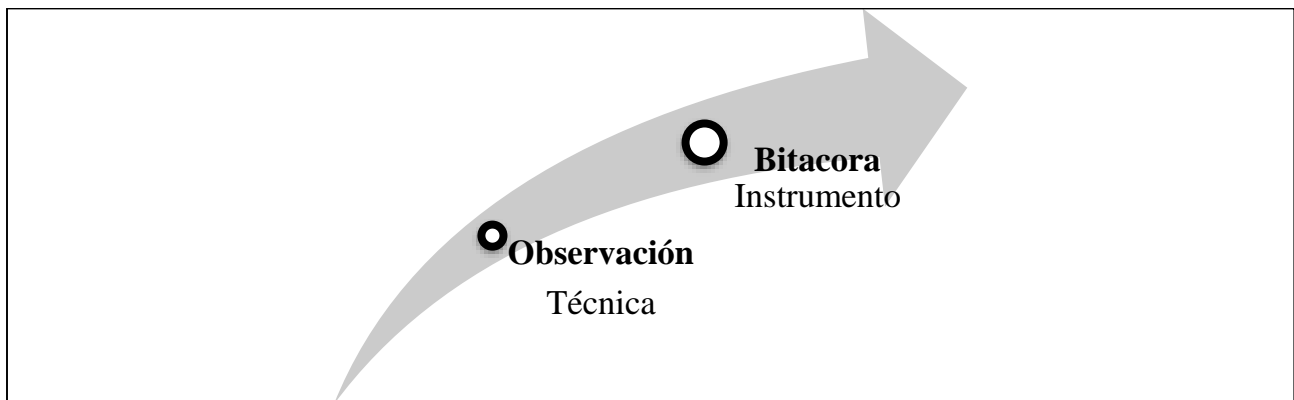
<b>Método experimental</b>	<b>Observación</b> ( <b>Técnica - Observación focalizada</b> ) buscar unos elementos de juicio siguiendo un orden conceptual	<b>Sujeto de la observación</b> Banco Solar Fotovoltaico
		<b>Medios para la observación</b> Sentidos e instrumentos
		<b>Condiciones de observación</b> Son las circunstancias concretas de cada observación
		<b>Conocimientos previos a la observación</b> Información teórica consultada
	<b>Medición</b> observar y registrar minuciosamente todo aquello que en el objeto de estudio sea relevante - De carácter cualitativo y cuantitativo: <b>Radiación, voltaje, corriente</b>	
	<b>Experimento</b> Son los procedimientos diseñados para manipular variables que permitan observar comportamientos específicos.	

**Fuente:** Adaptado por los autores de (Universidad Nacional de Colombia, s.f.)

## 8.3 Técnica

Para recoger, generar, presentar y analizar la información de este trabajo se usará una técnica cualitativa: la observación (**Ver Tabla 4**) que, mediante una bitácora o diario de campo, permitirá registrar detalles, sucesos, eventos, prácticas etc (**Ver Figura 14**).

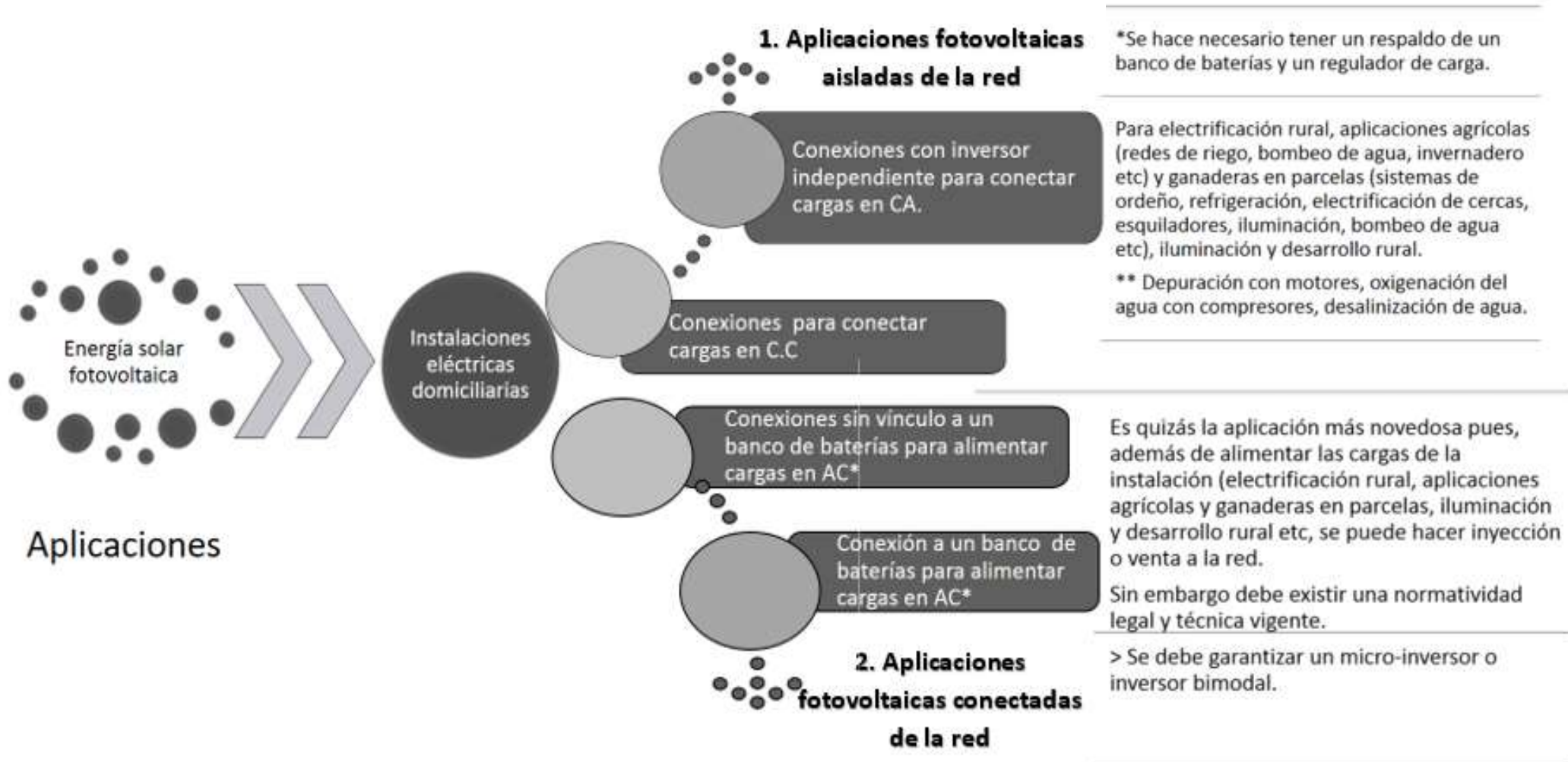
**Figura 14 - Técnica**



**Fuente:** Adaptado por los autores de (Vélez, 2001)

## 9. Resultados

Figura 15 - Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica en instalaciones eléctricas domiciliarias



Fuente: Los autores

Nota: \* Para sistemas que impliquen demanda de energía constante, especialmente en las horas de la noche. \*\*Aplicaciones útiles para otros sectores.

1. La **Figura 15** sistematiza y expone las aplicaciones de la energía solar fotovoltaica después de sintetizar información cuidadosamente producto de la consulta entorno a la energía solar fotovoltaica y al desarrollo de prácticas con el banco solar del laboratorio de servicios públicos. La anterior es una (**Ver Figura 15**) que hace el acercamiento más puntual respecto al reconocimiento de las posibilidades reales de la energía solar fotovoltaica en una instalación eléctrica domiciliaria además de aplicaciones en otros sectores, pues no es información rígida dirigida a los domicilios, también es de utilidad para la ganadería, la agricultura, la industria, el comercio, los servicios etc, para contrarrestar los efectos de fenómenos climatológicos, del cambio climático, del alza de los combustibles fósiles.

La interpretación y uso de las aplicaciones de la energía solar fotovoltaica expuestas anteriormente permitirá incrementar la capacidad instalada de las fuentes no convencionales de energía renovable, no sin antes continuar con estudios de índole económico-financiero y técnicos de acuerdo al sistema en el cual se quiera instalar un sistema fotovoltaico.

2. Por otro lado, la continuación de este tipo de estudios y de fortalecer la capacidad instalada de la energía solar fotovoltaica requiere de algunas bases que, aunque existentes en la literatura, se pudo comprobar de primera mano gracias al desarrollo de prácticas con el banco solar fotovoltaico.

Y que para el desarrollo en nuestro país, ciudad o región también se identificó una base bastante importante, como son las zonas del territorio Nacional con mayor potencial para el desarrollo de la energía solar fotovoltaica, información disponible en el **Mapa 1** del Manual de Prácticas.

3. Por último, oficialmente se declara que se realizaron las prácticas con el banco solar fotovoltaico del Laboratorio de Servicios Públicos, conectando aparatos o electrodomésticos propios de una instalación domiciliaria; estas prácticas fueron corroboradas con la opinión de los estudiantes del curso de energía renovables, estas prácticas fueron la segunda parte de nuestro trabajo. La cual se puede evidenciar en la Bitácora (**Ver Anexo 2**), que como resultado concreto se traduce en una Manual de

Prácticas que ofrece un conocimiento práctico (**Ver Anexo 1**) para el uso de la comunidad universitaria, pero especialmente para el uso de los estudiantes que quieran continuar estudios correlacionales, experimentales, no experimentales etc, en el campo de las fuentes no convencionales de energía renovable, en particular la solar fotovoltaica.

## 10. Análisis de resultados

Este estudio tuvo propósito exponer las aplicaciones de la Energía Solar Fotovoltaica como alternativa para uso en instalaciones domiciliarias mediante el desarrollo de prácticas con el Banco Solar del Laboratorio de Servicios Públicos; propósito desarrollado arduamente al realizar una extensa consulta bibliográfica y prácticas de laboratorio validadas con los estudiantes del curso de energía renovable, siguiendo los lineamientos de la metodología planteada.

El trabajo al trazarse como una investigación exploratoria requirió la consulta de bastantes fuentes de información en libros, revistas, artículos científicos, consulta web, consulta normativa, legal y técnica etc, sin embargo, es y fue evidente respecto a las aplicaciones de la energía solar fotovoltaica, que varios trabajos realizados por otros investigadores ya habían realizado dicha exposición de tales aplicaciones y no solo en el sector domiciliario, sino en otros más como el industrial, agrícola, comercial entre otros. Lo anterior se explica debido a que la investigación de las fuentes no convencionales de energía renovable no es nueva en ninguna parte, y más en países donde la capacidad instalada de sus sistemas se encuentra por encima del 20%, como lo son “Letonia, Austria, Finlandia, Dinamarca, Portugal, Alemania y el líder indiscutible Suecia con más de un 50% de capacidad instalada” de acuerdo a la (Asociación Eólica de Catalunya, 2016)

No obstante, nuestro trabajo está enmarcado en el desarrollo de prácticas con el Banco Solar Fotovoltaico del Laboratorio de Servicios Públicos para hallar las aplicaciones de la energía solar fotovoltaica a través de la experimentación y el ensayo con este equipo (conectando aparatos y electrodomésticos propios de una instalación domiciliaria), y generar producto del desarrollo de prácticas, un manual de prácticas para que toda la comunidad universitaria, especialmente los estudiantes planteen futuras investigaciones dirigidas y focalizadas a las zonas no interconectadas de nuestro país, primordialmente para uso residencial o domiciliario y para que se propenda una transición energética de fuentes convencionales de energía a fuentes no convencionales de energía renovables, y de esta forma empezar a combatir los efectos de fenómenos climatológicos extremos y del cambio climático, factores que vulneran la matriz energética de nuestro país, la misma que proyecta una demanda creciente.



Adicionalmente, también se pueden plantear otras investigaciones utilizando como insumo primario nuestro trabajo, como por ejemplo contrastar las zonas no interconectadas con las zonas del territorio con mayor potencial para el desarrollo de instalaciones que utilicen la energía solar fotovoltaica buscando una viabilidad económica (ambos mapas ubicados en nuestro trabajo, **Mapa 1** de la monografía y **Mapa 1** del Manual de Prácticas), entre otras investigaciones con mayor complejidad

Por último, en relación a las aplicaciones de la energía solar fotovoltaica en el Banco Solar objetivo principal de nuestro trabajo, se hace imprescindible hacer un reconocimiento, en relación a las instalaciones domiciliarias fotovoltaicas independientes, son estas las que brindan un beneficio para “zonas” que por motivos técnicos, geográficos, económicos etc; o bien llamadas zonas no interconectadas no tienen acceso a la energía eléctrica.

En estas zonas, si bien se puede cubrir el total de la demanda eléctrica, también se puede hacer un respaldo al sistema eléctrico del domicilio inclusive en zonas que, si cubre el sistema eléctrico nacional caso concreto: instalaciones domiciliarias fotovoltaicas con acceso a la red, que además ofrecen la posibilidad de vender la energía sobrante a la red, trasladando un descuento real, significativo y beneficioso, reflejado en la factura del servicio de energía.

## 11. Conclusiones y recomendaciones

El presente trabajo desde el principio parte de la idea de conceptualizar lo teórico-práctico en relación a la energía solar fotovoltaica a través de la reflexión en la comunidad educativa, particularmente en los estudiantes, por lo tanto y buscando el sentido inicial se evidencia que se cumplieron los objetivos del trabajo; se concluye y recomienda lo siguiente:

1. Que la sociedad en general y especialmente al Gobierno Nacional, en el marco de la COP21 se debe invertir más en la protección del medio ambiente, desarrollando soluciones que reduzcan el impacto y deterioro ambiental ocasionado por la quema de combustibles fósiles y derivados, para la producción de energía eléctrica, factor preponderante en la generación de gases efecto invernadero.

Por supuesto, no solo con energía solar fotovoltaica, pues el país es potencia en fuentes no convencionales de energía renovable.

El cambio climático es ahora y sus efectos ya se han sentido, por lo tanto, no hay más porque esperar, es momento de actuar, buscando acciones significativas que se materialicen y den frutos a corto, mediano y largo plazo.

Se hace necesario que el sector minero energético nacional vuelque su mirada a proyectos de FNCER, y disminuyan los rubros de inversión, exploración y explotación de fuentes convencionales de energía, especialmente las provenientes de combustibles fósiles.

2. En la dirección del tema ambiental, se hace pertinente que las autoridades en materia energética y económica diversifiquen la matriz o canasta energética pues los fenómenos climáticos y la variabilidad climática han puesto y pondrán en riesgo el suministro energético Nacional en épocas extremas, impactando todos los sectores de la economía, especialmente el de alimentos.

Y es que la matriz energética de acuerdo a los expertos, se adapta de acuerdo a las circunstancias y potencialidades de cada país, y el país tiene un potencial bruto en FNCER. La diversificación no es fácil, no obstante, la producción y procesamiento de combustibles fósiles debe ser reducida, esto gracias a incentivos dirigidos a los grandes y pequeños

inversionistas de fuentes no convencionales de energía renovable luego así, las energías renovables serán competitivas en el mercado.

Una canasta energética diversificada, y por lo tanto más confiable permitirá un crecimiento sostenible y sostenido en todos los sectores de la economía, contribuyendo a la reducción de los impactos negativos a la salud humana y al medio ambiente, haciendo frente al incremento de la demanda energética de una población creciente.

3. A los estudiantes del proyecto curricular y de los otros proyectos de la Universidad, recomendamos hacer el mayor uso a un manual al cual estamos plenamente convencidos que aclarara dudas e inquietudes de uno de los equipos más importantes del Laboratorio de Servicios Públicos de la Universidad Distrital, y el cual tiene un compendio de aplicaciones muy importantes en el desarrollo de la energía solar fotovoltaica en instalaciones eléctricas domiciliarias, primordialmente para ser puestas en marcha en zonas de difícil acceso, o zonas no interconectadas del sistema eléctrico nacional.

Y aunque los beneficios existen, es evidente que solo serán visibles cuando se incremente el número de sistemas fotovoltaicos instalados, y esto no solo se logrará a través de subsidios gubernamentales, sino dinamizando el sector en general, con subvenciones a importaciones de grandes, medianos y pequeños proyectos, así como al fortalecimiento de investigaciones enfocadas al desarrollo y optimización tecnológica de sistemas eléctricos afines a la energía solar fotovoltaica u otras fuentes no convencionales de energía renovable.

Por supuesto, que el compromiso es de todos, no obstante, el llamado especial es a los inversionistas para que apalanquen el sistema energético nacional enfocado en ideales dirigidos por alcanzar la sostenibilidad ambiental y económica de las inversiones.

## 12. Bibliografía

- Abella, M. A. (S.f). Recuperado el 05 de Junio de 2016, de <http://goo.gl/m8jNVc>
- Aden Meineil, M. M. (1982). *Aplicaciones de la Energía Solar*. (J. d. José Aguilar Peris, Trad.) Barcelona, España: Reverté S.A. Recuperado el 24 de enero de 2016
- Asif. (2015). Recuperado el 27 de Mayo de 2016, de <https://goo.gl/B3VY6n>
- Asociación Eólica de Catalunya. (2016). *EOLICCAT*. Obtenido de <https://goo.gl/jDZye5>
- Banco Mundial. (s.f.). Recuperado el 2016 de Febrero de 15 , de <http://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.ACCS.ZS/countries/1W?display=default>
- Barrera, J. F. (12 de Junio de 2015). Recuperado el 05 de Marzo de 2016, de <http://repository.udistrital.edu.co/>
- Blesa, B. D. (s.f). *GUÍA DE CRITERIOS BÁSICOS DE CALIDAD*. Universidad Católica San Antonio de Murcia. Recuperado el 5 de Marzo de 2016, de <http://goo.gl/5YBqJd>
- Bustos, J., Sépulveda , A., & Aponte, K. (2014). Zonas No Interconectadas Eléctricamente en Colombia: Problemas y Perspectiva. *FCE Econografos*(65), 1-27.
- California Energy Commission & Energy Technology Development Division. (14 de Junio de 2001). *A guide to photovoltaic system design and installation*. Recuperado el 2016, de California Energy Commission: [http://www.energy.ca.gov/reports/2001-09-04\\_500-01-020.PDF](http://www.energy.ca.gov/reports/2001-09-04_500-01-020.PDF)
- Colegio oficial ingenieros de telecomunicación. (2002). *Coitaoc*. Recuperado el 2016 de Marzo de 12, de <http://goo.gl/sXj7CS>
- Coll, J. (27 de Enero de 2016). Clima: nuestro mayor desafío. *El Periodico*. Recuperado el 03 de Febrero de 2016, de <http://www.elperiodico.com/es/noticias/opinion/clima-nuestro-mayor-desafio-4847087>
- Colombia. (2001). *Constitución Política* (Primera ed.). Bogotá: Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- Colombia, Congreso Nacional de la Republica. (13 de mayo de 2014). Ley 1715 por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. Bogotá D.C, Colombia: Diario oficial.

- Congreso de Colombia. (16 de Julio de 2013). Por medio de la cual se aprueba el "Estatuto de la Agencia Internacional de Energías Renovables" - IRENA. Bogotá, Colombia.
- Congreso de Colombia. (13 de Mayo de 2014). Ley 1715 Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energetico nacional. Colombia.
- Consorcio energético Corpoema. (30 de Diciembre de 2010). *Upme*. Recuperado el 02 de Junio de 2010, de <http://goo.gl/IyotAo>
- CorpoEma. (2010). *Plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en colombia*. Bogotá D.C. Recuperado el 29 de Marzo de 2016, de <http://goo.gl/MkTfsi>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE. (s.f.). *Visor: Proyecciones de población total por sexo y grupos de edad de 0 hasta 80 y más años (2005 - 2020)*. Bogotá. Recuperado el 11 de febrero de 2016, de [http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/proyepobla06\\_20/VisorCertificaPPO\\_Oct11.xls](http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/proyepobla06_20/VisorCertificaPPO_Oct11.xls)
- Departamento Nacional de Planeación. (2012). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. ABC: Adaptación y Bases Conceptuales. En D. N. Planeación, *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. ABC: Adaptación y Bases Conceptuales* (pág. 16). Bogotá D.C, Colombia. Recuperado el 3 de Febrero de 2016
- El Tiempo citando a IPSE. (5 de Junio de 2015). *El Tiempo*.
- Forbes México. (14 de abril de 2014). Energía renovable, ¿el negocio del futuro? *Forbes*. Recuperado el 12 de enero de 2016, de <http://www.forbes.com.mx/energia-renovable-el-negocio-del-futuro/>
- Gran Enciclopedia Hispánica - Hispánica Saber. (2015). Cambio climático, la amenaza del efecto invernadero. Planeta. Recuperado el 03 de Febrero de 2016, de <http://udistrital.uni.planetasaber.com.bdigital.udistrital.edu.co:8080/theworld/gats/article/default.asp?art=59&pk=794>
- Guerrero, A. (8 de Octubre de 2012). *Biblioteca digital UNAL*. Recuperado el 05 de Marzo de 2016, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/8084/#sthash.zwL3hthB.dpuf>
- Harper, G. E. (2005). *Manual de instalaciones eléctricas residenciales e industriales*. Ciudad de México: Limusa. Recuperado el 2016 de Febrero de 18, de <https://goo.gl/AhvMZv>

- Hispánica, Enciclopedia. (2014). *Enciclopedia Hispánica*. Recuperado el 24 de enero de 2016, de <http://udistrital.uni.planetasaber.com.bdigital.udistrital.edu.co:8080/encyclopedia/default.asp?idreg=554270&ruta=Buscador>
- IPSE. (11 de Septiembre de 2013). *Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas*. Recuperado el 2016 de Febrero de 15, de <http://www.ipse.gov.co/informacion-institucional/ipse>
- Ladino, R. E. (Mayo de 2011). *Repositorio Javeriana*. Recuperado el 29 de Mayo de 2016, de <http://goo.gl/kizpG4>
- Lamigueiro, O. P. (2016). *Github*. Recuperado el 03 de Junio de 2016, de <http://goo.gl/G9IEU1>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (2015). “*Antecedentes de la contaminación hídrica en Colombia*”. Recuperado el 18 de 04 de 2015, de <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.asp>
- Ministerio de Minas y Energía. (2013). *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas* (89-90 ed.). Bogotá D.C: MinMinas.
- Murcia, H. R. (15 de Enero de 2009). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. *Scielo*, 83-89. Recuperado el 29 de Marzo de 2016, de <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n28/n28a12.pdf>
- Procuraduría General de la Nación. (2010). *La infancia, el agua y el saneamiento básico en los planes de desarrollo departamentales y municipales*. . Bogotá D.C: UNICEF.
- Raboso, A. M. (2013). *Universidad de Andalucía*. Recuperado el 04 de Junio de 2016, de <http://goo.gl/ZA9Fx0>
- Ramón Gómez, O. (14 de Mayo de 2015). *Hablemos de Cambio Climático y Sostenibilidad*. Obtenido de <http://goo.gl/hhZo95>
- Repositorio Institucional UD. (2016). *RIUD*. Recuperado el 05 de Marzo de 2016, de <http://goo.gl/3obhDt>
- Repositorio UNAL. (2016). *BDigital Repositorio Institucional UN*. Recuperado el 05 de Marzo de 2016, de <http://goo.gl/xBq0m9>
- Rodríguez, M. M. (2015). *Cambio Climático: lo que esta en juego*. Bogotá: WWF-Uniandes.

- Servicio Nacional de Meteorología del Perú citando a RISOL. (2003). *Atlas de Energía Solar del Perú*. Lima.
- Twenergy. (2014). *Twenergy*. Recuperado el 24 de enero de 2016, de Twenergy: <http://goo.gl/9QHdDy>
- Unidad de Planeación Minero Energetica - UPME. (2015). *Informe mensual de variables de generación y del mercado eléctrico Colombino*. Bogotá. Recuperado el 04 de Marzo de 2015, de <http://goo.gl/1NdwG3>
- Universidad Nacional de Colombia. (s.f.). *Biblioteca Virtual UNAL*. Recuperado el 03 de Marzo de 2016, de Seminario de investigación: <http://goo.gl/3rbnRu>
- Upme. (2015). *Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia*. Bogotá D.C. Obtenido de <http://goo.gl/Mbw8wx>
- UPME. (2015). *Plan Energetico Nacional Colombia: Ideario Energético 2050*. Bogotá D.C, Colombia.
- UPME citando a CorpoEma 2010. (2015). *Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia*. Bogotá D.C.
- UPME citando a O'Connor. (2015). *Plan energético Nacional Colombia: Ideario Energético 2050*. Bogotá D.C: UPME.
- Vélez, C. M. (Abril de 2001). *Universidad EAFIT*. Recuperado el 03 de Marzo de 2016, de <http://goo.gl/R6rX0l>