

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS

Uniminuto Virtual y a distancia

Proyecto de grado

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA IMPULSAR EL SUMINISTRO ENERGÍA

FOTOVOLTAICA EN INSTITUCIONES EDUCATIVAS DE LAS ZONAS

PRIORIZADAS POR EL POSCONFLICTO

Especialización en Gerencia de Proyectos

Presenta:

Andrés Humberto Alonso Triana

Innovaciones Sociales y Productivas

Tutores:

Tutor específico: Carlos Rene Jimenez Castañeda

Bogotá, Colombia,

Agosto de 2018



TABLA DE CONTENIDO

1	RESUMEN	6
2	INTRODUCCIÓN	7
3	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	11
3.1	PROBLEMA	11
3.1.1	Enunciado del problema	11
3.1.2	Formulación del problema.....	12
3.2	JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE.....	13
3.2.1	Justificación	13
3.2.2	Alcance	14
3.3	OBJETIVOS DEL ESTUDIO	16
3.3.1	Objetivo General.....	16
3.3.2	Objetivos específicos	16
4	METODOLOGIA.....	17
5	MARCO TEORICO.....	19
5.1	ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	19
5.2	CONTEXTO INTERNACIONAL.....	22
5.3	CONTEXTO NACIONAL	23
5.4	PROGRAMAS DE DESARROLLO CON ENFOQUE TERRITORIAL (PDET).....	25
6	RESULTADOS.....	28



6.1	CARACTERIZACIÓN Y CUANTIFICACIÓN LAS INSTITUCIONES EDUCATIVAS RURALES UBICADAS EN ZONAS PRIORIZADAS POR EL POSCONFLICTO	28
6.2	DEMANDA ENERGÉTICA	29
6.3	ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO.....	30
6.3.1	Estudio de las condiciones climáticas de la zona	30
6.3.2	Dimensionamiento del sistema PV.....	32
6.3.3	Estudio Económico.....	35
7	CONCLUSIONES	39
8	RECOMENDACIONES	41
9	BIBLIOGRAFIA	42
10	ANEXOS	43

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Políticas en Latinoamérica sobre Energías Renovables (adaptado de (IRENA, 2015))	12
Tabla 2 Consumo promedio de los últimos 12 meses de las instituciones educativas rurales ubicadas en zonas priorizadas por el posconflicto.	30
Tabla 3 Valores de η_M para varios módulos comercialmente disponibles.	33
Tabla 4 Datos del módulo: Bosch c-Si P60 EU 30123	33
Tabla 5 Resumen de las características eléctricas de los elementos que hacen parte del sistema PV	35
Tabla 6 Promedio de precios de los implementos necesarios para instalar el Sistema PV ..	36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Participación de energías renovables del consumo total para finales de 2016 (adaptado de (NREL, 2017)).	8
Figura 2. Modos de conexión de los sistemas de generación de energía solar fotovoltaica: a) autónomo, b) autónomo conectado a otra forma de generación de energía y c) conectado a la red.	9
Figura 3. Capacidad mundial de energía solar fotovoltaica por país/región, 2006-2016 (adaptado de (NREL, 2017)).	10

1 RESUMEN

El presente proyecto muestra el estudio de factibilidad para impulsar sistemas de generación eléctrica a partir del uso de energía solar fotovoltaica, en instituciones educativas rurales ubicadas zonas priorizadas por el posconflicto, con el fin de generar acciones de transformación estructural del campo, crear condiciones de bienestar para la población rural y de esa manera, contribuir a disminución de los efectos del cambio climático y la construcción de una paz estable y duradera.

El documento presenta la descripción de las zonas priorizadas por el posconflicto y cuantificación de las instituciones educativas rurales ubicadas en estas zonas, con el fin de establecer la demanda de energía eléctrica por no encontrarse en zonas interconectadas (ZNI). Para establecer la factibilidad del proyecto se realizó el estudio económico y técnico con el fin de determinar su viabilidad. Finalmente es importante mencionar que el proyecto involucra a personal reintegrado a la sociedad (desmovilizado) de la zona como aporte al posconflicto para que conozcan este tipo de energías renovables y vea una oportunidad de negocio.

2 INTRODUCCIÓN

Actualmente las energías renovables contribuyen de manera significativa a la generación mundial de energía, aportando casi una cuarta parte de la generación total (ver

Figura 1) (International Energy Agency. OECD/IEA, 2016; NREL, 2017), y por primera vez las energías renovables representaron más de la mitad de las adiciones netas anuales a la capacidad de energía global, superando al carbón en términos de capacidad instalada acumulada mundial (International Energy Agency. OECD/IEA, 2016). Dentro de las fuentes de energía renovable cabe destacar la energía solar, que es inagotable y su aprovechamiento produce mínimo impacto ambiental; actualmente la generación de electricidad a través de la conversión fotovoltaica de la energía solar ha tenido un crecimiento sostenible en los últimos años mayor al 50% (Gan & Li, 2015), siendo mucho mayor que cualquier otro tipo de tecnología renovable (NREL, 2017).

Es así como este tipo de herramientas se han convertido en una solución para el abastecimiento de pequeñas demandas energéticas, como una opción para no agotar ni impactar los recursos naturales y para evitar la instalación de grandes cantidades de redes eléctricas. Los sistemas de producción de energía, a partir de la energía solar, pueden ser instalados en sectores alejados de los núcleos de consumo de energía, dando abastecimiento y solucionando el problema del alcance de las redes de suministro eléctrico, funcionando en modo autónomo (off-grid) usando un sistema como el que se muestra en la Figura 2-a; los módulos fotovoltaicos también pueden acoplarse con otro tipo de suministro energético, bien sea un motor de combustión de hidrógeno, un molino de viento, entre otros, para obtener así una generación continua de energía (ver Figura 2-b). En la Figura 2-c se puede

observar la forma de conectar los módulos fotovoltaicos para suplir la demanda energética cuando se tiene acceso a la red de suministro eléctrico, en este caso los módulos funcionan como complemento al suministro de la red, mientras que para los modos de funcionamiento autónomo es necesario un banco de baterías para almacenar energía durante períodos de no iluminación.

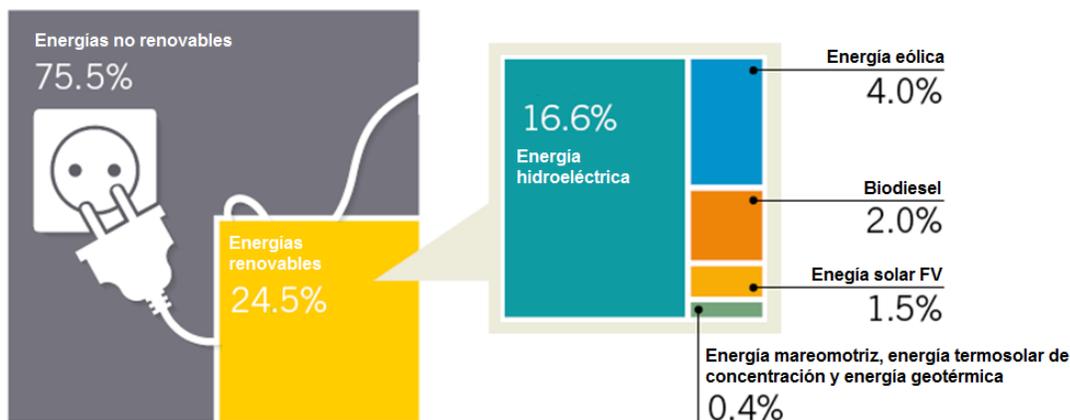
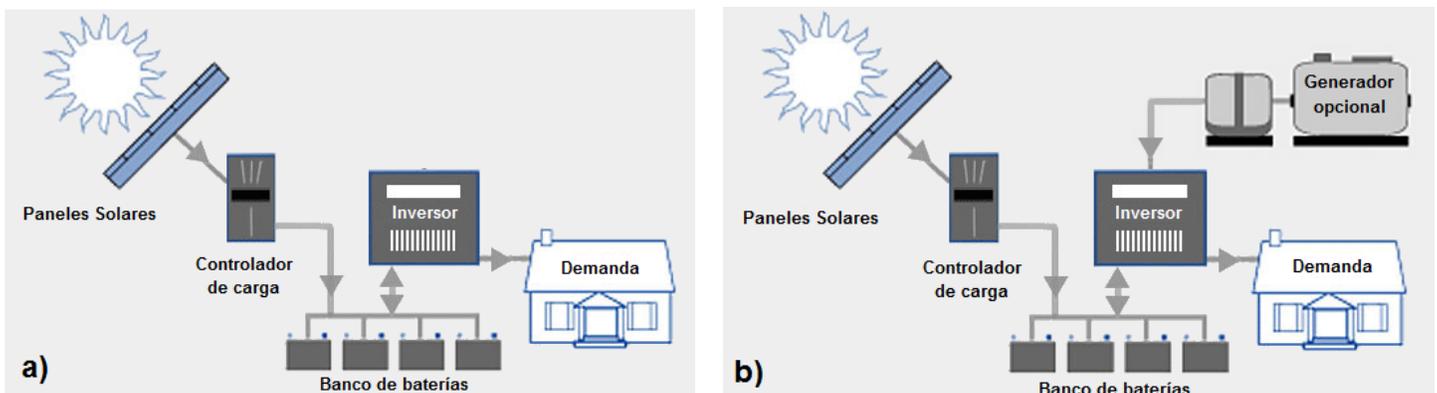


Figura 1. Participación de energías renovables del consumo total para finales de 2016 (adaptado de (NREL, 2017)).



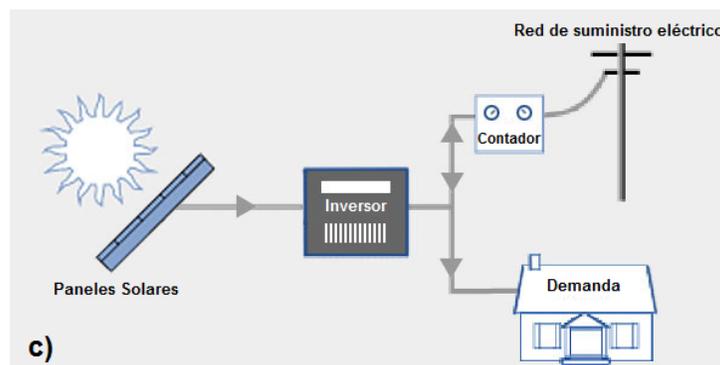


Figura 2. Modos de conexión de los sistemas de generación de energía solar fotovoltaica: a) autónomo, b) autónomo conectado a otra forma de generación de energía y c) conectado a la red.

A pesar de su versatilidad, la generación fotovoltaica en la actualidad afronta el gran reto de competir económicamente con la producción de energía mediante el uso de combustibles fósiles (Gan & Li, 2015), para lo cual ha sido necesario emplear nuevas tecnologías que permitan fabricar dispositivos de alta eficiencia de conversión a bajo costo; sin embargo, cabe destacar que los avances tecnológicos y científicos logrados hasta el momento, y el aumento en el volumen de producción a escala han disminuido significativamente los precios de los módulos fotovoltaicos, dando así una participación en la producción de energía a nivel mundial significativa y acelerada (ver Figura 3)

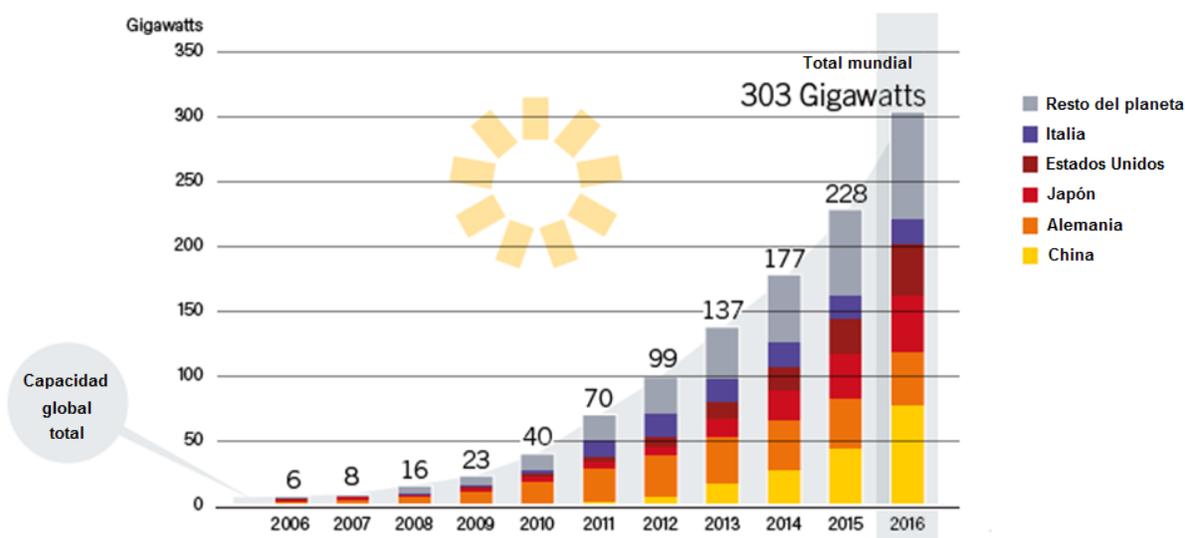


Figura 3. Capacidad mundial de energía solar fotovoltaica por país/región, 2006-2016 (adaptado de (NREL, 2017)).

De acuerdo con lo anterior, y en concordancia con los compromisos adquiridos en los acuerdos de paz no solo a nivel de Gobierno sino de Estado, para llegar a las regiones históricamente desatendidas por el mismo, el presente proyecto muestra el estudio de factibilidad para impulsar sistemas de generación eléctrica a partir del uso de energía solar fotovoltaica, en instituciones educativas rurales ubicadas zonas priorizadas por el posconflicto, con el fin de generar acciones de transformación estructural del campo, crear condiciones de bienestar para la población rural y de esa manera, contribuir a disminución de los efectos del cambio climático y la construcción de una paz estable y duradera.

3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

3.1 Problema

3.1.1 Enunciado del problema

Como se puede observar en la Tabla 1, a Colombia todavía le hace falta impulsar más leyes que promuevan el uso de energías renovables y programas que masifiquen el uso de las mismas, mostrando así el compromiso de la nación con el cambio climático. Por lo anterior, se hace necesario la implementación de sistemas pioneros en la instalación de energía solar fotovoltaica principalmente en zonas priorizadas por el posconflicto, las cuales sean la base para la posterior masificación de este tipo de energías en todo el país.

País	Política Nacional							Incentivos fiscales								
	Objetivo de Energía Renovable	Ley / Programa para Energías Renovables	Ley / Programa para Calentamiento solar	Ley / Programa para Energía Solar	Ley / Programa para Energía Eólica	Ley / Programa para Energía Geotérmica	Ley / Programa para Biomasa	Ley / Programa para Biocombustibles	Exención del IVA	Exención del impuesto al combustible	Exención del impuesto a la renta	Beneficios fiscales de importación/exportación	Exención nacional de impuestos locales	Impuesto al carbón	Depreciación acelerada	Otros beneficios fiscales
Argentina	■	■			■			■	■	■	■	■	■		■	■
Belice	■	■														
Bolivia	■								■			■	■			
Brasil	■				■			■		■		■	■			■
Chile	■	■	■	■		■	■			■				■		■
Colombia	■	■							■	■	■	■			■	■

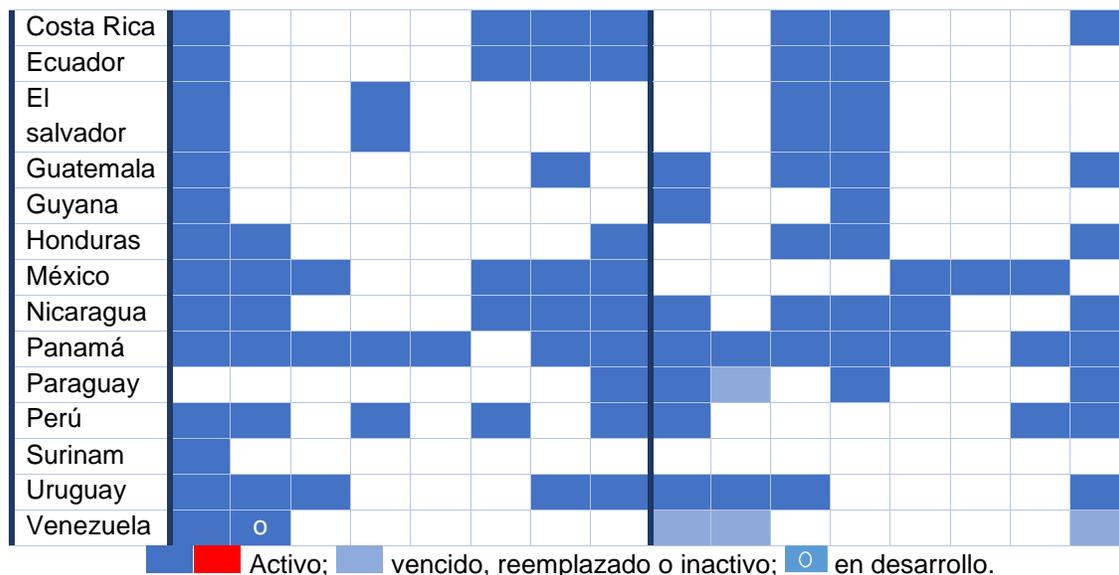


Tabla 1. Políticas en Latinoamérica sobre Energías Renovables (adaptado de (IRENA, 2015))

3.1.2 Formulación del problema.

¿Es factible técnica y económicamente la distribución e instalación de un sistema de suministro de energía fotovoltaica para atender las necesidades de las instituciones educativas rurales en los municipios priorizados por el posconflicto?

3.2 Justificación y alcance

3.2.1 Justificación

El acuerdo de París ha solicitado la reducción de emisiones de carbono a nivel mundial, pero para poner un alto al incremento en la temperatura terrestre, se hace obligatorio eliminar las emisiones de CO₂ y CH₄ de todas las fuentes de energía en menos de 50 años. Lo anterior implica que las energías renovables deben crecer al menos siete veces más rápido que en la última década (IRENA, 2017).

Dentro del amplio catálogo de energías renovables que pueden mitigar el impacto atmosférico ocasionado por las emisiones de CO₂, la alternativa más económica es la implementación de módulos fotovoltaicos. Los módulos, a diferencia de los molinos para generación de energía eólica y de las centrales hidroeléctricas, no ocasionan impacto directo en la flora y la fauna de la zona donde son instalados; así los sistemas de módulos solares se convierten en una alternativa de producción de energía renovable con el mínimo impacto ambiental posible.

Dado que el territorio colombiano está fuertemente dominado por paisajes rurales con baja densidad poblacional, es muy común la falta de interconexión eléctrica de muchas zonas rurales (DANE, 2017), por lo cual la implementación de módulos fotovoltaicos es la alternativa que no sólo ayudaría a disminuir el cambio climático sino contribuiría a llevar energía a zonas no interconectadas (ZNI) incrementando la calidad de vida de los habitantes de estas regiones. Es de notar que debido a la escases o completa falta de energía en algunas familias, el uso de cocinas a base de leña es común (DANE, 2017), ocasionando emisiones descontroladas de CO₂, CO y C producidas por la combustión incompleta de la

leña; por su parte el 64,7% de la población nacional usa combustibles fósiles (gas natural) para consumo doméstico (DANE, 2017), contribuyendo de esta forma a la generación de gases de invernadero los cuales aportan significativamente al cambio climático.

En el panorama nacional, con la ley 1715 de mayo de 2014 se busca explotar el potencial geográfico de la nación para implementar energías renovables, de las cuales la más representativa ha venido siendo la energía hidroeléctrica; no obstante, el mercado creciente de módulos fotovoltaicos, la facilidad para su instalación y el apoyo gubernamental proporcionan un ambiente favorable para la utilización de este tipo de sistema de generación de energía limpia.

Aunque, como se mencionó anteriormente, existe legislación que favorece la implementación de energías renovables en el territorio colombiano mediante subvenciones económicas, a nivel internacional existe un rezago respecto a medidas gubernamentales que promuevan y favorezcan aún más el uso de energías renovables. Sólo a nivel Latinoamérica, Colombia presenta retrasos legislativos respecto a otros países como Chile, México, Panamá y Uruguay, quienes han llevado a cabo programas regulados por legislación nacional para instalación de plantas de energía solar, eólica, geotérmica, solar térmica, entre otras, e incluso han establecido impuestos sobre el carbón (IRENA, 2015).

3.2.2 Alcance

Este trabajo de grado es el resultado de una investigación aplicada, requerida para optar el título de Especialista en Gerencia de Proyectos de UNIMINUTO virtual distancia.



El proceso investigativo se desarrolló en un período de 3 meses, entre 01 de mayo de 2018 y 07 de agosto de 2016.

Se realizó un estudio de factibilidad del uso de energía solar fotovoltaica en las instituciones educativas rurales de los municipios priorizados por el posconflicto.

Para la elaboración del estudio de factibilidad se tomó como referencia la metodología de Méndez (2014), integrando aspectos técnicos, operativos y económicos.

Para la metodología se tuvo en cuenta fuentes primarias y fuentes secundarias válidas y confiables.

3.3 Objetivos del estudio

3.3.1 Objetivo General

Determinar la factibilidad del uso de sistemas de energía fotovoltaica en instituciones educativas rurales en zonas priorizadas por el posconflicto

3.3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar y cuantificar las instituciones educativas rurales ubicadas en zonas priorizadas por el posconflicto
- Realizar el estudio de las necesidades energéticas a suplir
- Desarrollar el estudio y análisis económico y técnico para determinar su viabilidad.

4 METODOLOGIA

El proyecto se realizó por medio de la metodología descriptiva-cuantitativa la cual pretende describir y documentar un proceso ingenieril con finalidad cognoscitiva, empleando un instrumento que permite cuantificar variables de interés. Tiene como ventaja que al abarcar muchas variables permite elaborar una descripción general del estado de un determinado problema (Jiménez Jiménez & Tejada Fernandez, 2004).

Los estudios descriptivos miden y evalúan diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno o fenómenos a investigar. Desde el punto de vista científico, describir es medir. Los estudios descriptivos se centran en medir con la mayor precisión posible (Metodología de la Investigación, 1991), por ello, este proyecto involucra un estudio técnico de necesidades energéticas.

La metodología que se describe a continuación, se desarrollará en fases a continuación:

FASE I: Estudios previos

En esta fase se desarrollaron dos actividades importantes: en primero lugar se recolecto información secundaria referente a las zonas de alcance del proyecto, por parte de diferentes entidades públicas: Presidencia de la Republica, Ministerio de Agricultura y el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), entre otras.

Luego de analizar la información anterior, se procedió a documentar y clasificar la información adquirida con el fin de priorizar y detallar información para el desarrollo técnico.

FASE II Estudio Técnico

Las actividades desarrolladas durante esta fase involucraron una serie de caracterizaciones y cuantificaciones de las instituciones educativas rurales, ubicadas en las zonas posconflicto teniendo en cuenta los criterios establecidos en los Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial – PDET, una vez obtenidos los resultados, se evaluó la demanda energética de cada una de las regiones las cuales involucran la totalidad de municipios priorizados por el posconflicto, así mismo se estableció la capacidad energética que ofrece estas zonas, con el fin de poder diseñar el mejor sistema fotovoltaico

FASE III Estudio Económico

De acuerdo con el estudio técnico desarrollado, se determinó la inversión a realizar, teniendo en cuenta los impactos sociales que tendría la implementación del presente proyecto.

5 MARCO TEORICO

5.1 Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es la inter-conversión de la energía lumínica del sol que llega a la superficie de la tierra en energía eléctrica útil para alimentar distinta clase de dispositivos. Esta energía se obtiene mediante celdas solares, conocidas también como celdas fotovoltaicas, los cuales son esencialmente diodos semiconductores que, al exponerse a la luz, permiten la conversión en corriente eléctrica directa (DC) de una porción de la energía en la luz del sol que llega a la celda [X7 H. Häberlin, “Photovoltaics: System design and practice” Leicester, John Wiley & Sons, Ltd., Publicacions] Figura 4. Una celda fotovoltaica típica puede ser cuadrada con un área de alrededor de 100 cm² (10 cm x 10 cm) y puede producir cerca de 1 W de potencia, lo cual es más que suficiente para que un reloj de pulsera funcione, pero no para encender un radio o un dispositivo de mayor consumo. Por lo anterior las celdas individuales se conectan en serie y se ensamblan para formar módulos (32-76 celdas) con lo cual se puede generar el voltaje necesario (15-30 V) para encender diferentes dispositivos de mayor consumo energético; si se necesita generar más energía eléctrica, los módulos se conectan físicamente para formar lo que se conoce como panel solar (4-10 módulos). Estos paneles mecánicamente conectados y arreglados en un soporte y cableados los unos a los otros se conoce como un generador solar o generador fotovoltaico (PV) Figura 5.

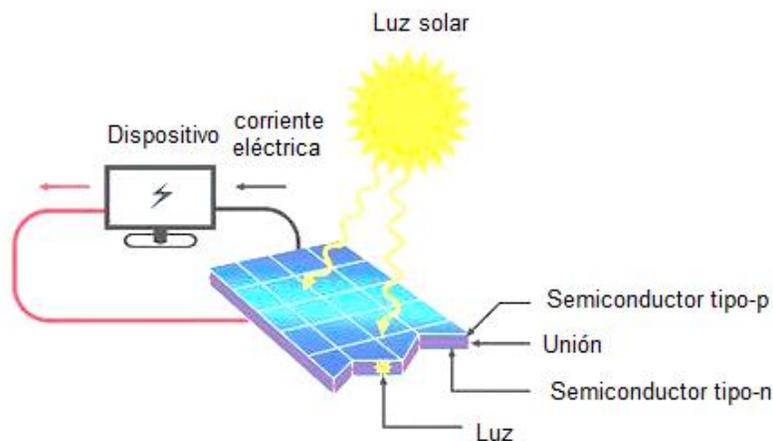


Figura 4 Funcionamiento de una Celda fotovoltaica típica

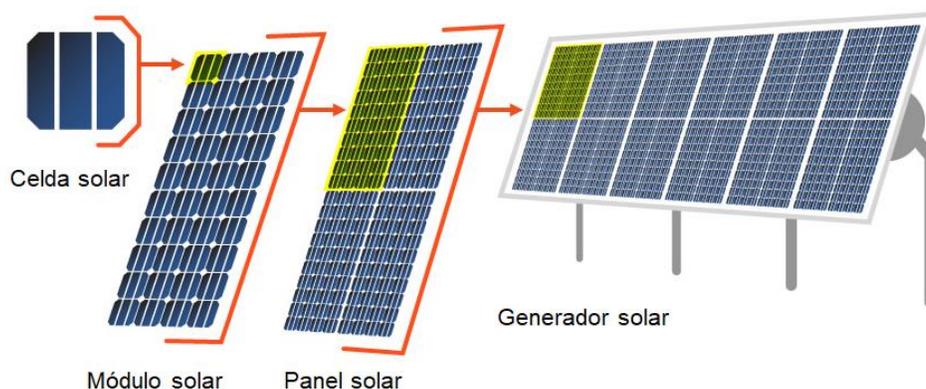


Figura 5 Diferencia en escalas y escalamiento de una celda, un módulo, un panel y un generador

Debido a que la generación de electricidad sólo se da mientras haya luz solar, durante períodos nocturnos o de inclementes climas, se hace necesario el uso de un sistema de almacenamiento de energía, como baterías, que varían su capacidad dependiendo del tamaño del generador solar y el consumo energético. Debido a que las baterías son muy sensibles a sobrecargas o descargas profundas (descargas de más del 70% de su capacidad) usualmente entre el generador PV y las baterías se instala un controlador de baterías o

regulador de carga, que evita tanto las sobrecargas como las descargas profundas. Una vez el generador PV produce corriente eléctrica DC que es almacenada en un banco de baterías, y antes de ser usada por los diferentes dispositivos, se transforma de corriente eléctrica DC a corriente eléctrica alterna (AC) —la cual es usada por la mayoría de dispositivos como TV, neveras, computadores, etc.— a través de un inversor DC/AC. A esta combinación de elementos se les conoce como sistema fotovoltaico o sistema PV, que se muestra a continuación en la Figura 6.

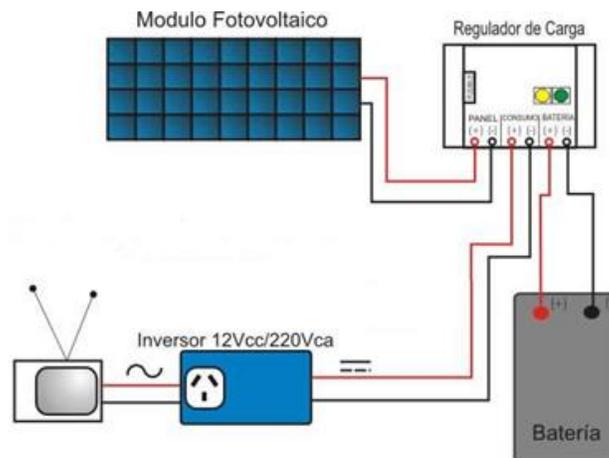


Figura 6. Esquema de un sistema PV compuesto por: módulo solar, regulador de carga, baterías e inversor antes de ser usado.

Entre los usos más frecuentes que se dan en hogares, fincas, industria, comercio, transporte, edificios, comunicaciones se encuentran:

- ✓ Iluminación interior o exterior.
- ✓ Señales de advertencia: luces, sirenas.
- ✓ Monitoreo: agua, aire, temperatura, flujo, movimiento.
- ✓ Batería para vehículo.

- ✓ Protección catódica contra la corrosión.
- ✓ Interruptores: eléctricos, válvulas, apertura compuertas.
- ✓ Control de encendido, radio, teléfono, telemetría.
- ✓ Bombeo de aceite y combustible.
- ✓ Refrigeración.

5.2 Contexto internacional

A nivel internacional el 81% de la energía consumida a nivel mundial proviene de fuentes fósiles, mientras que el 19% restante proviene de fuentes renovables. Actualmente, estas últimas se encuentran asociadas principalmente con el uso tradicional de la biomasa en aplicaciones como la leña para cocción de alimentos y calentamiento de espacios, y la hidroenergía para generación eléctrica. En una menor medida, se aprovecha la energía proveniente de fuentes como el sol, la geotermia y la biomasa para su conversión en energía térmica a través del uso de tecnologías relativamente modernas, seguidas de estas y otras fuentes como la eólica para la generación de energía eléctrica. Finalmente, se suman al aprovechamiento de fuentes renovables el uso de biocombustibles en el sector transporte y tecnologías en etapas incipientes de desarrollo como es el caso de la energía de los mares en forma de mareas, oleaje, gradientes térmicos o gradientes salínicos ((REN21, 2014)).

La dependencia mundial en el petróleo, el carbón, el gas natural y aun en los combustibles nucleares, como recursos fósiles disponibles en cantidades que pueden ser consideradas relativamente abundantes pero finitas, y las coyunturas económicas y geopolíticas asociadas, con su distribución geográfica y su dominio, han generado en muchos países la necesidad de iniciar una transición hacia el uso de recursos energéticos de carácter

renovable, que a su vez contribuyan a la reducción de emisiones de efecto invernadero y a la mitigación del cambio climático que viene experimentando el planeta. En tal contexto, China, Alemania, España, y Estados Unidos, se consolidan hoy en día como países pioneros en el desarrollo de las mayores capacidades instaladas en tecnologías para el aprovechamiento de la energía hidráulica, eólica, solar, geotérmica y de las biomasas, como fuentes de origen renovable que hacen su aporte en el proceso de transición planteado en lo que a la generación de energía eléctrica se refiere. Entre tanto, países como Estados Unidos, Brasil y Alemania lideran la utilización de bioenergía en el sector transporte (REN21, 2014), en tanto que Estados Unidos, Noruega, China, Japón y la Comunidad Europea lideran la utilización de electricidad (en parte producida a partir de fuentes renovables) en ese mismo sector (Ecomento, 2014; Comisión Europea, 2012) y otros países como China, Estados Unidos y Turquía lideran el aprovechamiento de energía térmica en forma de calor útil a partir de la energía solar y la energía geotérmica (REN21, 2014).

5.3 Contexto nacional

Colombia es un país que goza de una matriz energética relativamente rica tanto en combustibles fósiles como en recursos renovables. Actualmente, la explotación y producción energética del país está constituida a grandes rasgos en un 93% de recursos primarios de origen fósil, aproximadamente un 4% de generación hidroeléctrica y un 3% de biomasa y residuos (figura 7).

De esa explotación primaria, el país exporta aproximadamente un 69%, principalmente en forma de carbón mineral (aprox. el 94% del producido, representando el 62% de las exportaciones energéticas) y petróleo (aprox. el 66% del producido, representando el 36%

de las exportaciones energéticas), y utiliza un 31% del cual, cerca del 78% corresponde a recursos fósiles y el 22% a recursos renovables (figura 8).

El país depende entonces en cerca de un 78% de combustibles fósiles que hoy en día está en capacidad de autoabastecer,¹ y cuyos niveles de producción actuales indican reservas suficientes para cerca de 170 años en el caso de carbón, del orden de 7 años para el petróleo y 15 años para el gas natural (UPME, 2014). En el caso de este último, es necesario tener en cuenta que conforme las tasas de producción decrecen y la demanda aumenta, se prevé la necesidad de realizar importaciones a partir del año 2018.

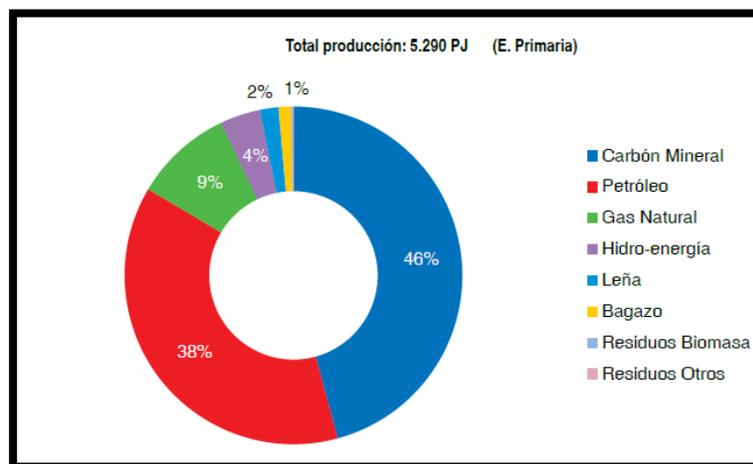


Figura 7 Explotación y producción nacional de recursos energéticos primarios en el año 2012.

Fuente: UPME, 2012

¹ Descontando la actual necesidad de importar combustible diésel para el que no se tiene capacidad suficiente de refinación a pesar de contar con el energético primario.

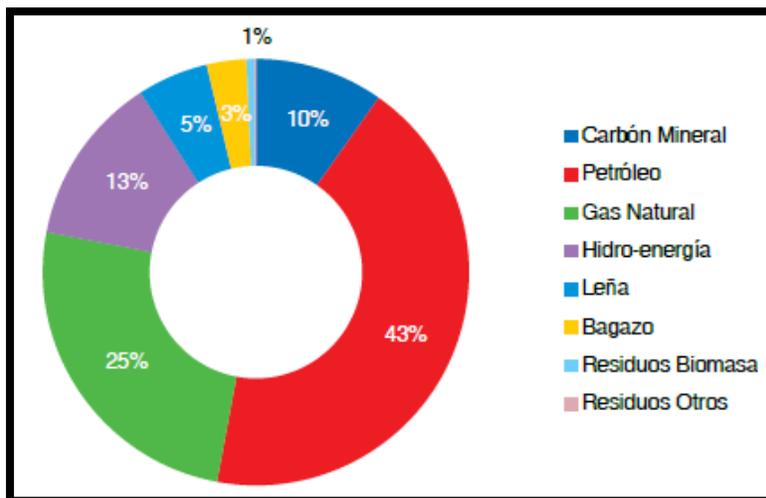


Figura 8 Demanda interna de recursos energéticos primarios en el año 2012.

Fuente: UPME, 2012

Como se observa en las figuras 7 y 8, Colombia es un claro ejemplo que la composición de su industria y su economía, no se caracteriza por ser un desarrollador de tecnologías. Sin embargo, en los últimos 10 años ha logrado acopiar cierta experiencia en lo que a las tecnologías solar fotovoltaica y solar térmica se refiere, al igual que en el aprovechamiento energético de biomazas particulares como el bagazo de caña para efectos de cogeneración, y en el desarrollo de al menos un par de proyectos demostrativos con energía eólica.

5.4 Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial (PDET)

De acuerdo con el mandato constitucional previsto en el artículo 22 de la constitución Política, el cual señala que la paz es un derecho y un deber de obligatorio cumplimiento, el 24 de noviembre de 2016 el Gobierno Nacional suscribió con el grupo armado FARC-EP el acuerdo final para la terminación del conflicto y la construcción de una paz estable y duradera.

Dicho acuerdo final señala como eje central de la paz impulsar la presencia y la acción eficaz del estado en todo el territorio nacional, en especial en las regiones afectadas por la carencia de una función pública eficaz y por los efectos del mismo conflicto armado interno.

De acuerdo con lo anterior, se desarrollaron seis (6) ejes temáticos relacionados con los siguientes temas: i) Reforma Rural Integral: hacia un nuevo campo colombiano; ii) Participación Política: Apertura democrática para construir la paz; iii) Fin del Conflicto; iv) Solución al Problema de las Drogas Ilícitas; v) Acuerdo sobre las Víctimas del Conflicto; y vi) Mecanismos de implementación y verificación del cumplimiento del Acuerdo.

En el marco de la reforma rural integral (RRI), el gobierno busca crear condiciones de bienestar para la población rural y de esa manera contribuir a la construcción de una paz estable y duradera. En ese sentido, se crearon los Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial (PDET), el cual es un programa subregional de transformación integral del ámbito rural a 10 años, a través del cual se ponen en marcha con mayor celeridad los instrumentos de la Reforma Rural Integral en los territorios más afectados por el conflicto armado, la pobreza, las economías ilícitas y la debilidad institucional. Su objetivo principal es ayudar a la transformación del sector rural colombiano orientado a disminuir las brechas entre la ciudad y el campo, mediante la generación de procesos participativos de planeación, la inversión en proyectos de pequeña infraestructura, y el fomento de alternativas de desarrollo económico en zonas con altos índices de presencia de cultivos de uso ilícito.



Que de acuerdo con lo determinado en el acuerdo final, el gobierno estableció que la transformación del campo deberá cobijar la totalidad de las zonas rurales del país. Sin embargo, se convino priorizar las zonas más necesitadas y urgidas con base en los siguientes criterios: i) los niveles de pobreza, en particular, de pobreza extrema y de necesidades insatisfechas; ii) el grado de afectación derivado del conflicto; iii) la debilidad de la institucionalidad administrativa y de la capacidad de gestión; y iv) la presencia de cultivos de uso ilícito y de otras economías ilegítimas.

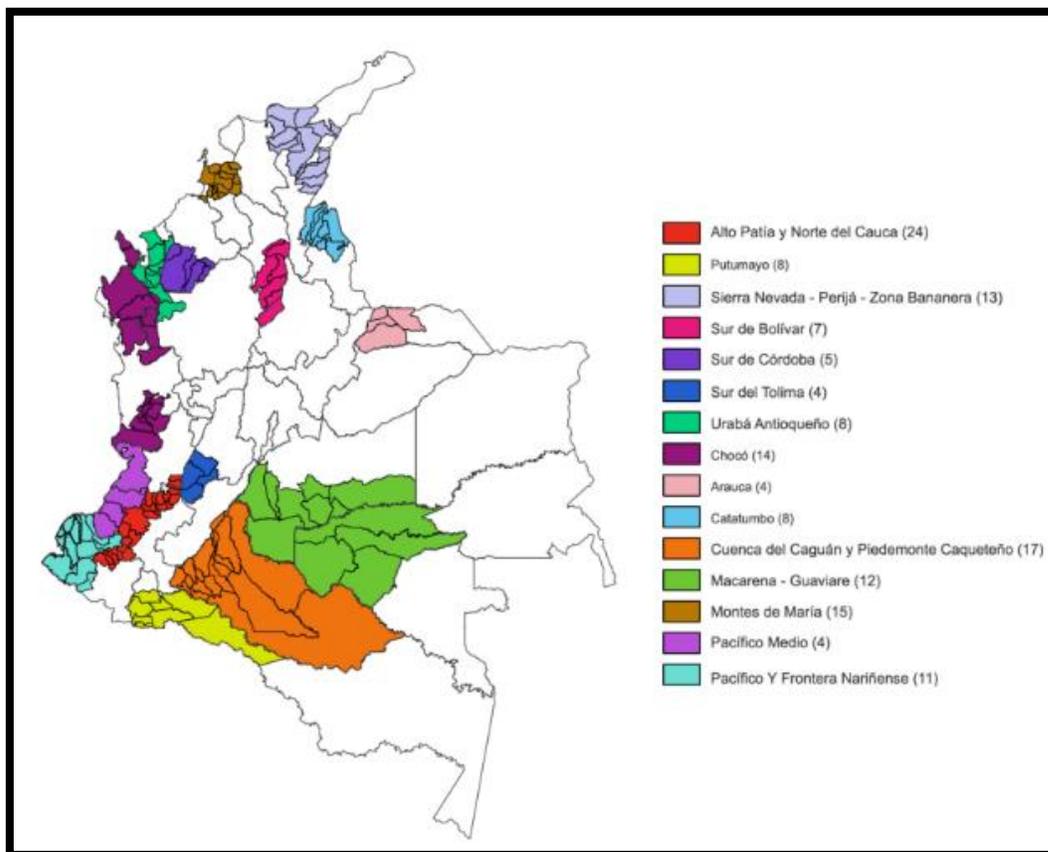
Finalmente, con el fin de llevar acabo cualquier tipo de actividad o proyecto el Gobierno Nacional se comprometió destinar los recursos necesarios para garantizar el diseño y ejecución de los planes de acción para la transformación estructural, con el concurso de las entidades territoriales.

6 RESULTADOS

6.1 Caracterización y Cuantificación las instituciones educativas rurales ubicadas en zonas priorizadas por el posconflicto

Teniendo en cuenta las consideraciones relacionadas en el numeral 4.4 del presente documento, y una vez realizado un ejercicio de revisión técnica y documental, teniendo en cuenta los criterios acordados en el Decreto 893 de 2017, se obtuvieron los siguientes municipios priorizados por el posconflicto:

Figura 9 Municipios priorizados por el Posconflicto



Fuente: Adaptado por los autores, Presidencia de la Republica – Renovación del Territorio

Se identificaron 322 municipios, agrupados en 16 subregiones con un total de 16.854 instituciones educativas formales que serán beneficiados del presente proyecto. El detalle de los municipios y las cuantificaciones de las instituciones se podrá observar en el Anexo 1 del presente documento.

Las zonas priorizadas se caracterizan por presentar una incidencia de la pobreza multidimensional de 72,8%, mayor al nivel nacional que se ubica en 49,0%, según datos del Censo 2005. Asimismo, el 67,0% de los municipios presentan muy alta y alta incidencia del conflicto armado, según el índice de incidencia del conflicto armado del DNP, y concentraron el 94,2% de los cultivos de coca, según el Censo de SIMCI 2016. Por otra parte, los 322 municipios tienen un puntaje promedio de 56,4 en el componente de eficiencia en la evaluación de desempeño integral municipal del DNP del año 2015, frente a 59,8 del resto de municipios. Para el componente de eficacia el puntaje fue de 66,1 para los PDET frente a 75,3 del resto de municipios.

6.2 Demanda Energética

Se realizó un estudio de campo en varios departamentos priorizados por el posconflicto, determinando el consumo energético de varias instituciones educativas rurales formales durante los últimos 12 meses, para determinar cuánto es su consumo energético promedio en kilovatios-hora (kWh). Los valores promedios de consumo energético de las 10 instituciones educativas de las zonas se muestran a continuación en la Tabla 2.

Institución educativa	Consumo promedio (kWh)
Ins. Ed. 1	334
Ins. Ed. 2	325
Ins. Ed. 3	303
Ins. Ed. 4	359
Ins. Ed. 5	336
Ins. Ed. 6	336
Ins. Ed. 7	329
Ins. Ed. 8	308
Ins. Ed. 9	359
Ins. Ed. 10	309

Tabla 2 Consumo promedio de los últimos 12 meses de las instituciones educativas rurales ubicadas en zonas priorizadas por el posconflicto.

De los datos anteriores se puede observar que el consumo promedio mensual es de aproximadamente 330 kWh. Con lo anterior se puede calcular el consumo diario de la siguiente forma:

$$\text{Consumo diario} \left(\frac{kWh}{\text{día}} \right) = \frac{\text{Consumo mensual} \left(\frac{kWh}{\text{mes}} \right)}{30 \frac{\text{días}}{\text{mes}}} = \frac{330 \text{ kWh}}{30 \text{ días}} = 11 \text{ kWh/día}$$

De esta forma se determinó que el consumo energético diario a suplir es de 11 kWh, el cual es valor de partida para realizar el dimensionamiento del sistema PV a instalarse.

6.3 Estudio Técnico y Económico

6.3.1 Estudio de las condiciones climáticas de la zona

De los datos disponibles del IDEAM en su Atlas de Radiación, se pudo observar en el mapa de radiación multianual (Figura 10), que la zona del Cauca recibe un promedio de radiación anual entre 3,0 y 4,0 kW/m²/día.

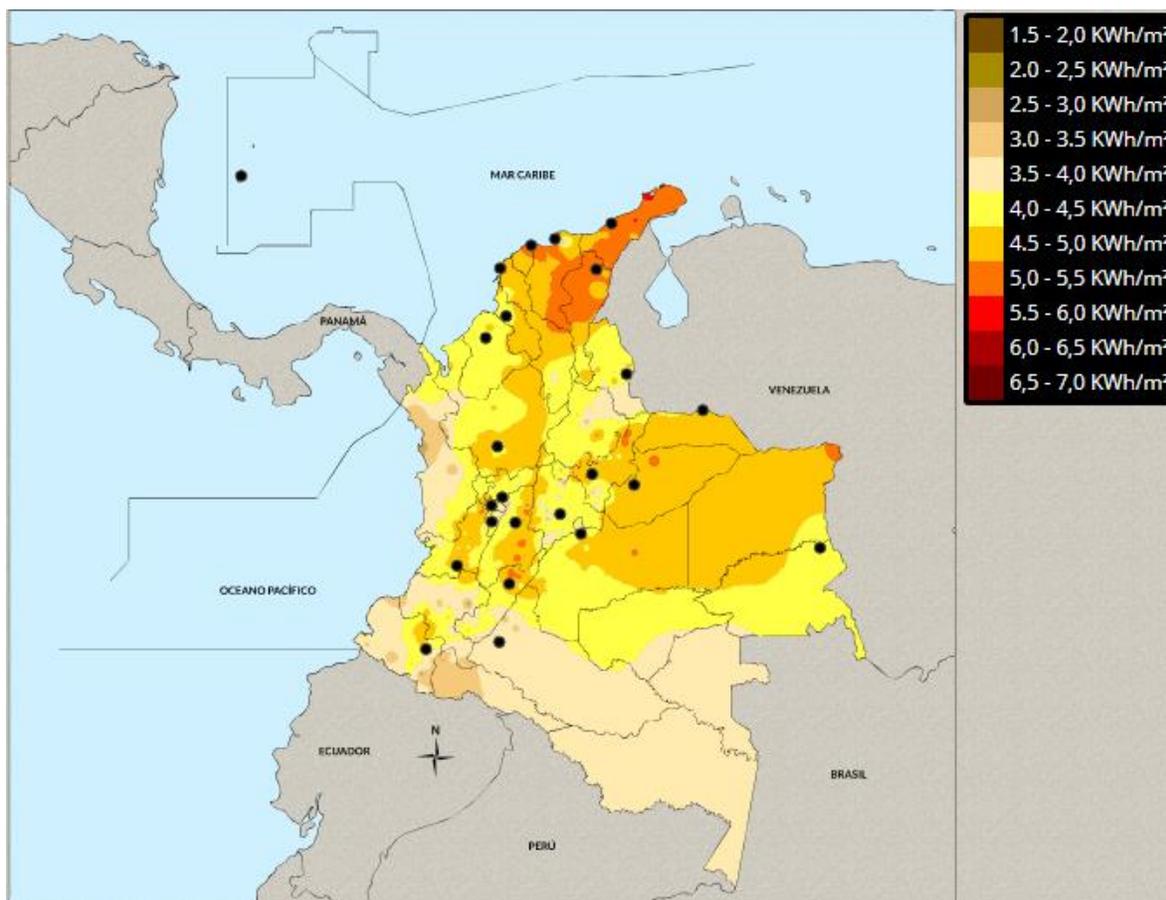


Figura 10. Mapa multianual de radiación solar en Colombia extraído del Atlas de Radiación del IDEAM.

Con lo anterior se estableció que la radiación solar sobre la zona es de 3 kWh/m²/día, esto para efectos del dimensionamiento del sistema PV, ya que se necesita suponer que el sistema siempre va a recibir poca iluminación solar y de esta, forma cuando se tengan climas con baja radiación, el sistema va a generar el mínimo necesario. Por el contrario, en días de alta iluminación se va a tener un exceso de energía que se puede almacenar.

6.3.2 Dimensionamiento del sistema PV

El dimensionamiento del sistema PV se llevó a cabo sólo para una sola escuela pública ubicada en la zona del Cauca, usando los datos promedio de consumo y radiación determinados anteriormente.

Una vez se obtuvo la radiación solar sobre la zona se procedió a determinar el tamaño del generador solar, para ello se determinó primero el número de horas pico (SPH), que son el número de horas diarias durante las cuales el sistema va a recibir una irradiancia de 1,0 kW/m² (G₀) —que es la potencia por unidad de área con la cual las celdas presentan el máximo su máximo desempeño—. SPH se calcula como la relación entre la radiación total diaria (H) y G₀:

$$SPH = \frac{H}{G_0} = \frac{3 \text{ kWh/m}^2/\text{día}}{1 \text{ kW/m}^2} = 3 \frac{\text{h}}{\text{día}}$$

Con la relación entre el consumo diario de 11 kWh determinado con el estudio de campo y las 3 h diarias de radiación pico (SPH), se puede hallar la potencia pico o máxima potencia de salida del generador (P_{max/G}) que se necesita:

$$P_{max/G} = \frac{\text{consumo diario}}{SPH} = \frac{11 \text{ kWh/día}}{3 \text{ h/día}} = 3.7 \text{ kW}$$

Una vez se determinó la potencia pico del generador solar se procedió a buscar los módulos para construir dicho generador. Para lo anterior se usó como primer criterio de selección la eficiencia de inter-conversión (η_M) de los módulos comercialmente disponibles que se presentan en la Tabla 3. Cabe destacar que se usó la η_M como primer criterio de selección

puesto que a medida que aumenta η_M disminuye la cantidad de módulos que se necesitan para generar la misma potencia de salida.

Módulo/Celda solar	η_M (%)
Si monocristalino (sc-Si)	11-19.5
Si policristalino (c-Si)	10-16
Si amorfo (a-Si)	3-7.5
CdTe	7-11
CuInSe ₂ (CIS)	7.5-11.5

Tabla 3 Valores de η_M para varios módulos comercialmente disponibles.

Como se puede observar los módulos que satisfacen el primer criterio de selección son los de sc-Si y c-Si; sin embargo, el precio en el mercado de los módulos de sc-Si es muy elevado y sus η_M no son muy diferentes, por esto se estableció que la opción más viable son los módulos de c-Si. Mediante un estudio de mercado se pudo determinar que los módulos BOSCH c-Si P60 EU30123, son adecuados para los fines del presente proyecto. La tabla 4 muestra las características de los módulos BOSCH c-Si P60 EU30123

Largo (m)	1,66
Ancho (m)	0,99
Área [A] (m ²)	1,64
Voltaje de máxima potencia [V_{mpp}] (V)	30
Corriente de máxima potencia [I_{mpp}] (A)	8
Potencia máxima [$P_{max/M}$] (kW)	0,24
η_M (%)	14,6

Tabla 4 Datos del módulo: Bosch c-Si P60 EU 30123

Dado que la potencia del generador ($P_{max/G}$) es la suma de la potencia todos los módulos ($P_{max/M}$) que se van a usar en su construcción, el número de módulos necesarios se puede

determinar como la relación entre la potencia máxima del generador y la potencia máxima de un módulo:

$$n_M = \frac{P_{max/G}}{P_{max/M}} = \frac{3,7 \text{ kW/generador}}{0,24 \text{ kW/módulo}} = 15,3 \approx 15 \text{ módulo/generador}$$

Con lo anterior se pudo observar que son necesarios 15 módulos BOSCH c-Si P60 EU30123 para construir el generador solar, que tendrá una potencia máxima de salida de 3,6 kW. Puesto que los cálculos realizados muestran que este generador PV cubre de manera estrecha la demanda, se sobredimensionó el sistema PV añadiendo un módulo solar para obtener así, un generador de 16 módulos BOSCH c-Si P60 EU30123 con una potencia máxima de salida de 3,84 kW. Para la instalación de este generador solar se necesita un área al aire libre de 27 m² y será instalado con una pequeña inclinación de 10° a 15° para evitar acumulación de agua lluvia

Como se estableció antes, la energía eléctrica producida por el generador solar no va a ser consumida inmediatamente y durante las horas de la mañana no se puede esperar a que el sistema genere la cantidad necesaria para poder encender los dispositivos o luces necesarias en las instalaciones educativas, por lo que se hace necesario el uso de un banco de baterías para obtener un sistema PV completamente autónomo que suministre energía. Este banco de baterías se dimensiona de acuerdo a una descarga profunda del 50%, es decir que lo máximo que se va a usar de la capacidad de la batería es un 50%, para darle una mayor vida útil a las baterías y prolongar la inversión; de acuerdo a lo anterior, se va a usar un banco de baterías del cual el consumo diario de 11 kWh representa el 50%, por ende, el banco de baterías debe tener un máximo de almacenamiento energético de 22 kWh.

Como muchos de los dispositivos usados en las instalaciones educativas no se planean convertir a DC, se hace necesario el uso de un inversor DC/AC, un inversor 2000W/120 V-AC.

En la Tabla 5 se muestra el resumen del dimensionamiento del sistema PV para una institución educativa del Cauca con un consumo promedio diario de 11 kWh, donde el esquema de conexión será similar al que se muestra en la Figura 6.

Elemento	Descripción							
	P_{max} (kW)	V_{DC} (V)	I_{DC} (A)	n_M	A (m ²)	Capacidad (A-h)	Energía (kWh/día)	V_{AC} (V)
Generador PV	3.84	120	32	16	27	--	11	--
Banco de Baterías	--	120	--	--	--	183	22	--
Inversor	2	120	--	--	--	--	--	120
Regulador de carga	--	--	--	--	--	--	--	--

P_{max} : Potencia máxima de salida/entrada

V_{DC} : Voltaje DC de salida del generador y de las baterías, y voltaje DC de entrada para el inversor

I_{DC} : Corriente DC de salida del generador PV

n_M : número de módulos solares

A: Área de ocupación

Capacidad: Cantidad de carga eléctrica almacenable en la batería

Energía: Energía diaria producida por el generador PV o energía total almacenable por las baterías

V_{AC} : Voltaje de salida AC del inversor para suministrar a los diferentes dispositivos

Tabla 5 Resumen de las características eléctricas de los elementos que hacen parte del sistema PV

6.3.3 Estudio Económico

Una vez dimensionado el sistema PV, se llevó a cabo un estudio de mercado para establecer la factibilidad de la implementación de sistemas de generación PV, en Instituciones Educativas públicas de zonas afectadas por el conflicto armado.

En este estudio de mercado se solicitó cotizaciones del sistema PV dimensionado anteriormente a varias empresas; con estas cotizaciones se realizó un promedio de precios, como los que se muestran discriminados a continuación en la Tabla 6.

Ítem	Descripción	Valor total
Sistema PV	Generador PV de 3.84 kW, regulador de carga, banco de baterías de 22 kWh, inversor DC/AC off-grid de 2000 W/120 V-AC, gabinetes y estructuras	\$ 42'000.000
Instalación Eléctrica	Cableado, cajas de conexión, tubería y accesorios de protección, adecuación de estructura para conexión sistema PV	\$ 6'500.000
Montaje del sistema PV y Transporte	Trabajo de instalación del sistema PV y transporte	\$ 3'500.00
Subtotal		\$ 52'000.000
IVA		\$ 9'880.000
TOTAL		\$ 61'880.000

Tabla 6 Promedio de precios de los implementos necesarios para instalar el Sistema PV

Los valores de cada ítem fueron calculados de manera independiente, dado que no todos los oferentes instalaban el sistema, o lo transportaban hasta la zona o suministraban los consumibles necesarios (cableado, conexiones, etc.). Por lo anterior el valor del IVA del proyecto total se calculó como el 19% del costo bruto del proyecto; sin embargo, cabe destacar que se podrían generar exenciones fiscales en el IVA, pero en muchos casos no fueron reportadas por los oferentes, aunque dichas exenciones sólo son aplicadas al generador PV (los módulos usados).

Los proponentes ofrecen una garantía entre 3 y 6 meses para la instalación eléctrica después de que el sistema PV esté en servicio. La garantía de los equipos se da de acuerdo al

fabricante de cada implemento como módulos, baterías, regulador de baterías e inversor. Teniendo en cuenta lo anterior BOSCH asegura una vida útil de los módulos de 10 años (garantía del producto) y una garantía de rendimiento de 25 años para que llegue a un 80% de su capacidad, es decir que el generador PV tendrá una vida útil de al menos 25 años. Por su parte los fabricantes de baterías ofrecen una vida útil aproximada de 7500 ciclos para que la batería llegue a un 25% y 3500 ciclos para que llegue a un 50%, lo cual supliría la demanda básica de la institución educativa; esto implicaría que se necesitaría un cambio de banco de baterías aproximadamente cada 10 años. Con lo anterior se necesitan programar tres cambios de baterías, con un costo de 12'000.000 cada uno, para que el sistema PV funcione durante al menos 25 años.

Suponiendo que el regulador de carga y el inversor no presentan daños en 25 años, la inversión total para este periodo de tiempo sería de \$97'880.000 aproximadamente (IVA incluido). Si dividimos la inversión total entre el período esperado de funcionamiento del sistema, se puede determinar el costo mensual para el proyecto:

$$\text{costo mensual} = \frac{\$97880000}{25 \text{ años}} * \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} = \$326266/\text{mes}$$

Esto implica que se está pagando un consumo de 330 kWh mensual por \$326.266 pesos mct. Con estos valores se puede calcular el costo del kWh

$$\text{costo energético} = \frac{\$326266}{330 \text{ kWh}} = \$989/\text{kWh}$$

Es decir que el valor de 1 kWh producido mediante un sistema PV y que será consumido por una Institución Educativa pública tendrá un costo de aproximadamente \$1000 pesos

mct., lo cual significa aproximadamente el doble del precio del kWh en estratos 5 y 6 en Bogotá (\$529/kWh) [X8 cite esta página <https://www.codensa.com.co/hogar/valor-del-kilovatio-en-colombia-disminuye>].

Con lo anterior se evidenció que económicamente no es viable la instalación de un sistema PV autónomo en general en Colombia, puesto que a largo plazo no se ve recuperada la inversión ni se ve disminuido el precio del kWh respecto al valor en el mercado. Sin embargo, a pesar del elevado costo del kWh, la implementación de este tipo de generación de energía eléctrica puede generar conciencia y mejorar la calidad de vida de la población directamente impactada por el proyecto; asimismo la implementación de este tipo de proyectos puede llegar a convertirse en el auto pionero de políticas de implementación de energías renovables alternativas, que a futuro puedan disminuir el precio del kWh generado mediante sistemas PV.

7 CONCLUSIONES

Con los estudios realizados en el presente trabajo, se puede concluir que:

- i. De las 16.854 instituciones educativas caracterizadas el 75,9 % de estas se encuentran ubicadas en zonas rurales, con un 64% de estas ubicadas en zonas no interconectadas - ZNI.
- ii. Con el estudio climático tanto de la zona en la cual se proyectó la implementación del sistema PV, como del territorio colombiano, se encontró que hay algunas zonas que tienen mayor potencial para la explotación de energía solar fotovoltaica, como la costa caribe (principalmente en los departamentos de Guajira, Magdalena, Cesar y Atlántico) y en la región norte de los llanos orientales (en los departamentos de Arauca, Casanare, Vichada y parte del Meta), donde la radiación promedio anual es está entre 4,5 y 5,5 kWh/m²/día, lo cual genera una cantidad de horas de radiación solar pico entre 4,5 y 5,5 h, aumentando así la cantidad de energía eléctrica que se puede producir mediante transformación fotovoltaica
- iii. Un sistema PV para un consumo promedio diario de 11 kWh requiere un generador PV de 3.84 kW, construido con 16 módulos de c-Si, que ocupan un área de aproximada de 27 m² y posee una eficiencia de inter-conversión de 14,6%. Para almacenar la energía producida por los paneles se usa un banco de baterías con una capacidad de almacenamiento energético de 22 kWh y para cuidar y prolongar al máximo la vida útil de la batería se adiciona un regulador de carga. Y para finalmente entregar la energía colectada a los diferentes dispositivos, se requiere un inversor DC/AC de 2000W/120 V-AC.



- iv. El costo aproximado de instalación de un solo sistema PV en una Institución Educativa pública es de \$61'880.000 pesos mct. Lo cual es un costo bastante elevado comparado con un kWh de una ciudad con un sistema robusto. .
- v. De acuerdo a las garantías mínimas de los fabricantes, se puede esperar una duración del sistema PV de al menos 25 años, suponiendo que dispositivos como el regulador de carga y el inversor no necesitan cambio y realizando tres cambios de banco de baterías, los cuales aumentan el precio del proyecto a aproximadamente \$97'000.000 pesos mct.
- vi. Para ese tiempo estimado de duración mínima del sistema PV y con el costo final de operación se determinó que es económicamente viable un proyecto de esta magnitud pues el precio de 1 kWh producido con un sistema es de aproximadamente \$1.000 pesos mct.

8 RECOMENDACIONES

- i. Se deben realizar estudios climatológicos más detallados una vez se pase a la fase de ejecución, con el fin de implementar el sistema con mayor eficiencia.
- ii. Este proyecto puede abrir las puertas a nuevas leyes y exenciones fiscales que promuevan el uso de energías renovables alternativas, como la energía solar fotovoltaica, para que a futuro disminuyan su valor en el mercado y sean de mayor acceso al público.
- iii. Se recomienda estudiar la posibilidad de buscar recursos del Sistema General de Regalías a través de los Órganos Colegiados de Administración y Decisión – OCAD Departamental o Regional.

9 BIBLIOGRAFIA

- DANE. (16 de Marzo de 2017). *Encuesta Nacional de Calidad de Vida-ECV*. Recuperado el 11 de Diciembre de 2017, de <http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/salud/calidad-de-vida-ecv/encuesta-nacional-de-calidad-de-vida-ecv-2016>
- Gan, P. Y., & Li, Z. (2015). Quantitative study on long term global solar photovoltaic market. *RenewableandSustainableEnergyReviews*, 46, 88-99.
- International Energy Agency. OECD/IEA. (2016). *RENEWABLE ENERGY Medium-Term Market Report 2016*. Paris.
- IRENA. (2015). *Renewable Energy in Latin America 2015: An Overview of Policies*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency.
- IRENA. (2017). *Turning to Renewables: Climate-Safe Energy Solutions*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency.
- NREL. (2017). *REN 21. Renewables 2017 global status report*. Paris.
- REN21. (2014). *Renewables 2014 Global Status Report*. Netherlands. London, UK: NERA Economic Consulting.
- UPME. (2014). *Proyecciones de precios de los energéticos para generación eléctrica enero 2014 – diciembre 2037*. Bogotá D.C. - Colombia: Disponible en: http://www.sipg.gov.co/sipg/documentos/precios_combustibles/Termicas_Marzo_2014.pdf.



10 ANEXOS

ANEXO 1. Municipios priorizados por el posconflicto y cuantificación de las instituciones educativas.