



industriales
etsii

Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial



Sistemas Fotovoltaicos Para Electrificación Rural: Su Potencial Para Modificar El Mix Eléctrico En La República Dominicana

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER EN ENERGÍAS RENOVABLES

Autor: Tzu-Hsuan Chou Huang

Director: Antonio Urbina Yeregui



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Cartagena, 30-sept-2019

Tabla de contenido

1. OBJETIVOS	6
1.1. Objetivo General	6
1.2. Objetivos Específicos	6
2. INTRODUCCIÓN	7
3. JUSTIFICACIÓN	8
4. ESTADO DEL ARTE	9
4.1. Antecedentes Internacionales.....	9
4.1.1. México: Luz en Casa Oaxaca	10
4.1.2. Panamá: Piloto Luz en Casa Ngäbe-Buglé	11
4.1.3. Tanzania: PowerCorner	12
4.1.4. China: Iluminación Yushu	13
5. ACCESO A LA ENERGÍA	14
6. CAMBIO CLIMÁTICO	16
6.1. Los Gases de Efecto Invernadero (GEI).....	16
6.2. Calentamiento Global De 1,5°C	17
6.3. Demanda Energética	18
6.4. Emisión de CO ₂	19
6.5. Protocolo de Kyoto.....	20
6.6. Acuerdo de París.....	21
7. REVOLUCIÓN ENERGÉTICA	22
7.1. Las Energías Renovables.....	22
7.2. La Energía Solar	23
7.2.1. Energía solar fotovoltaica	24
7.2.2. Energía solar térmica.....	24
8. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	26
8.1. Una Perspectiva Global	26
8.2. Costo de la Energía Solar Fotovoltaica	28
8.3. Aplicación y Mercado de Tecnología Fotovoltaica	29
8.4. Perspectiva Técnica	31
8.4.1. Sistemas fotovoltaicos conectado a red (On-Grid)	31
8.4.2. Sistemas fotovoltaicos fuera de la red (Off-Grid).....	32
8.5. Componentes de Un Sistema Fotovoltaico	33
8.5.1. Panel fotovoltaico.....	33

8.5.2.	Inversor.....	33
8.5.3.	Reguladores de Carga.....	34
8.5.4.	Batería.....	34
9.	LA REPÚBLICA DOMINICANA.....	35
9.1.	Situación Energética Actual.....	35
9.2.	Energías Renovables.....	37
9.2.1.	Potencial de los Recursos de Energía Renovable.....	37
9.2.2.	Posibilidad de la energía solar.....	38
9.3.	Pobreza Energética.....	40
9.4.	Problema de Transmisión y Distribución.....	43
9.5.	Cambio Climático.....	44
9.5.1.	Emisión de gases invernadero.....	44
9.6.	Planes frente al cambio climático.....	46
10.	MARCO LEGAL.....	49
11.	PROPUESTA.....	50
11.1.	Selección de Emplazamiento.....	50
11.2.	Cálculo de Demanda.....	51
11.3.	Irradiación y Temperatura de la Zona.....	51
11.4.	Selección de Equipos.....	52
11.5.	Pérdidas.....	53
11.6.	Cálculo de Módulos Necesarios.....	54
11.7.	Dimensionamiento.....	55
11.8.	Distancia mínima entre paneles.....	55
11.9.	Emplazamiento.....	57
11.10.	Producción.....	58
11.11.	Cálculo de Batería.....	59
12.	IMPACTO AMBIENTAL.....	60
13.	CÁLCULO ECONÓMICO.....	62
13.1.	Inversión Inicial.....	62
13.2.	Costes de Explotación.....	62
13.3.	Ingreso.....	62
13.4.	Rentabilidad.....	64
14.	CONCLUSIONES.....	67
15.	BIBLIOGRAFÍA.....	69

INDICES DE ILUSTRACIONES Y TABLAS

Índice De Ilustración

<i>Ilustración 1. Luz en Casa Oaxaca. Fuente: Acciona</i>	10
<i>Ilustración 2. Piloto Luz en Casa Ngäbe-Buglé. Fuente: Acciona</i>	11
<i>Ilustración 3. Tanzania: PowerCorner. Fuente: Solarimpulse</i>	12
<i>Ilustración 4. Iluminación Yushu. Fuente: Ministerio De Educación De La República Popular De China</i>	13
<i>Ilustración 5. Población acumulada que obtiene acceso a electricidad e inversión acumulada en el Escenario Nuevas Políticas, 2017-2030. Fuente: IEA Analysis.</i>	15
<i>Ilustración 6. relación CO2 y Temperatura. Fuente Climate Central</i>	16
<i>Ilustración 7. Crecimiento anual de la demanda mundial de energía primaria por combustible, 2010-18. Fuente IEA</i>	18
<i>Ilustración 8. CO2 VS generación eléctrica. Fuente IEA</i>	18
<i>Ilustración 9. Crecimiento anual de la demanda mundial de energía primaria por combustible y región, 2017-18. Fuente IEA</i>	19
<i>Ilustración 10. Emisiones mundiales de CO2 relacionadas con las fuentes de energía, 1990-2018. Fuente IEA.</i>	19
<i>Ilustración 11. Emisión de CO2 por kWh 2016. Fuente IEA</i>	20
<i>Ilustración 12. Tasas promedio de crecimiento anual del suministro mundial de energías renovables de 1990 a 2017. Fuente: IEA.</i>	22
<i>Ilustración 13. Porcentaje de producción mundial por tecnología (2017). Fuente IEA.</i>	23
<i>Ilustración 14. Tecnología fotovoltaica. Fuente Acciona</i>	24
<i>Ilustración 15. Esquema básico de sistema solar térmica. Fuente: Internet</i>	25
<i>Ilustración 16. Generación de Renewable y Fovoltáica en comparación con el mercado mundial 2008-2018. Fuente: Solar Power Europe</i>	26
<i>Ilustración 17. Evolución anual de la capacidad fotovoltaica acumulada 2000-2018. Fuente: Solar Power Europe</i>	26
<i>Ilustración 18. TOP 10 de los mercados solar fotovoltaicos instaladas a finales de 2018</i>	27
<i>Ilustración 19. LCOE global de tecnologías de generación de energía renovable a escala de servicios públicos, 2010–2018. Fuente: IRENA</i>	28
<i>Ilustración 20. Costos promedio total globales de instalación y rangos de porcentuales del proyecto para CSP, energía solar fotovoltaica, eólica terrestre y eólica marina, 2010–2018. Fuente: IRENA.</i>	28
<i>Ilustración 21. Sistema híbrido. Elaboración propia.</i>	30
<i>Ilustración 22. Sistema conectado a la red.</i>	31
<i>Ilustración 23. Sistema aislado. Elaboración propia.</i>	32
<i>Ilustración 24. Eficiencia de célula por materiales. Fuente NREL.</i>	33
<i>Ilustración 25. Mapa de la Republica Dominicana. Fuente: Enciclopedia Británica</i>	35
<i>Ilustración 26. Capacidad Instalada por Combustible (MW), República Dominicana. Fuente: Superintendencia de Electricidad.</i>	36
<i>Ilustración 27. Capacidad Instalada por Combustible (MW), República Dominicana.</i>	36
<i>Ilustración 28. Generación bruta por tecnología (GWh).</i>	37
<i>Ilustración 29. Mapa de recurso solar promedio anual. Fuente: CNE</i>	38
<i>Ilustración 30. Fuente: IRENA, CNE</i>	39
<i>Ilustración 31. Porcentaje de hogares no electrificados por provincia.</i>	41
<i>Ilustración 32. Esquemas de sistema eléctrica dominicana.</i>	43
<i>Ilustración 33. Emisiones de CO2 por combustible, República Dominicana. Fuente IEA</i>	45
<i>Ilustración 34. Río Limpio, Elías Piña, República Dominicana. Fuente: Google Maps</i>	50
<i>Ilustración 35. Río Limpio, Elías Piña, República Dominicana. Fuente: Google Maps</i>	50
<i>Ilustración 36. Panel fotovoltaico JKM330PP-72 de 310-330W de Jinko Solar. Fuente: Jinko Solar.</i>	52
<i>Ilustración 37. Inversor MGS100-40/27.6 de 40KW (ABB). Fuente: ABB</i>	53
<i>Ilustración 38. Esquema de separación entre panel.</i>	56
<i>Ilustración 39. Vista lateral de paneles solares, elaboración propia.</i>	56
<i>Ilustración 40. Emplazamiento de la instalación solar. Fuente Google Earth</i>	57
<i>Ilustración 41. Esquema de instalación, elaboración propia.</i>	57
<i>Ilustración 42. Cantidad de Co2 5 kilovatio de electricidad generada. Fuente IEA</i>	60
<i>Ilustración 43 Histórico del precio de la electricidad por debajo de 200kWh.</i>	63

Índice De Tabla

<i>Tabla 1. Porcentaje de hogares sin acceso a las energías modernas.</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 2. Cálculos de índice de pobreza energética del hogar por provincia según zona de residencia y grupo socioeconómico calculado.</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 3. Producción de CO2 por cada kWh generada en América Latina.</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 4. Demanda energética del sector propuesta.</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 5 Irradiación y temperatura de la zona propuesta.</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 6. Característica del módulo solar.</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 7. Característica del inversor.</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 8. Rendimiento del módulo por temperatura.</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 9. Rendimiento del sistema.</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 10. Dimensionamiento de los paneles e inversor.</i>	<i>55</i>
<i>Tabla. 11. Producción diario y mensual.</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 12. Energía acumulada a lo largo de 25 año.</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 13. Emisiones De Gases CO2, SO2 Y NOx Por Kwh De Energía Eléctrica Generada.</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 14. Presupuesto de la inversión inicial.</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 15. Precio de la energía eléctrica en la República Dominicana (Julio 2019). Fuente: SIE</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 16. Cálculo de rentabilidad.</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 17. cálculo de TIR y VAN.</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 18. Información de la batería.</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 19. cálculo de TIR y VAN para sistema con batería.</i>	<i>66</i>

Índice de Abreviaturas

BAPV	Buuildng-Integrated Photovoltaics	LCOE	Coste De Energía
BID	Banco Interamericano De Desarrollo	LED	Diodo Emisor De Luz
BIPV	Building-Applied Photovoltaics	MPPT	Seguidor Punto De Máxima Potencia
°C	Grado Celsius	MRV	Sistemas De Medición, Reporte Y Verificación
CA/AC	Corriente Alterna	N2O	Óxido Nitroso
CC/DC	Corriente Continua	ODS	Objetivos De Desarrollo Sostenible
CDEEE	Corporación Dominicana De Empresas Eléctricas Estatales	OFF-GRID	Fuera De La Red
CH4	Metano	ON-GRID	Conectado A Red
CMNUCC	Convención Marco De Naciones Sobre El Cambio Climático	PFC	Perfluorocarbonos
CNE	Comisión Nacional De Energía	PV	Fotovoltaica
CO2	Dióxido De Carbono	PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System
DECCC	Plan De Desarrollo Económico Compatible Con El Cambio Climático	SENI	Sistema Eléctrico Nacional Interconectado
DOP	Peso Dominicano	SF6	Hexafluoruro De Azufre
ETED	Empresa De Transmisión Eléctrica Dominicana	SHS	Solar Home Systems
GEI	Gases De Efecto Invernadero	SIE	Superintendencia De Electricidad
GT	Giga Tonelada	TCNCC	Tercera Comunicación Nacional Para La Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático
HFC	Hidrofluorocarbono	TIR	Tasa Interna De Retorno
IEA	Agencia Internacional De La Energía	TPES	Total Primary Energy Supply
IPCC	Grupo Intergubernamental De Expertos Sobre El Cambio Climático	UNFCCC	Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático
IRENA	Agencia Internacional De Las Energías Renovables	VAN	Valor Actual Neto
KW	K=Kilo, W=Vatio	W	Vatio
KWH	K=Kilo, W=Vatio, H=Hora	W/M2	Vatio Por Metro Cuadrado

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo General

Analizar y diseñar desde el punto de vista técnico, un sistema de energía fotovoltaica, para cubrir la demanda eléctrica de las zonas rurales con escasez de energía eléctrica en la República Dominicana. Permitiendo mejorar la calidad de vida de la población, con una energía de fácil de acceso, limpia y económicamente rentable.

1.2. Objetivos Específicos

1. Analizar el estado de arte de la electrificación rural en la República Dominicana.
2. Analizar el sistema eléctrico de la República Dominicana.
3. Seleccionar la zona con mayor problema eléctrico en la República Dominicana.
4. Calcular la demanda eléctrica para la zona propuesta.
5. Analizar la viabilidad del proyecto.
6. Diseñar la instalación del sistema fotovoltaico para cubrir la demanda necesaria.
7. Evaluar el impacto ambiental y económico de la propuesta de electrificación rural fotovoltaica en República Dominicana.

2. INTRODUCCIÓN

El acceso a la energía es un “hilo de oro” que entrelaza el crecimiento económico, el desarrollo humano y la sostenibilidad ambiental. La energía ha sido reconocida durante mucho tiempo esencial para que la humanidad se desarrolle y prospere. La energía también está en el corazón de muchos otros Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), incluidos los relacionados como la igualdad de género, la reducción de la pobreza, las mejoras en la salud y el cambio climático.

El acceso a la energía moderna favorece al desarrollo a nivel doméstico y comunitario. Los pobres y los que no tienen acceso a la energía modernas muchas veces son los mismos, tener acceso a la energía moderna es una condición necesaria para el alivio de la pobreza, que es el primer Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS). Para algunos hogares pobres, una gran parte de sus ingresos pueden estar dirigidos a fuentes de energía de baja calidad y muchas veces costosas, como el queroseno y las velas para iluminación, la carga de teléfonos móviles en las estaciones minoristas y las baterías [1].

El cambio climático es el mayor desafío de nuestros tiempos, la alta concentración de los gases invernadero, es la principal causa del aumento de la temperatura a nivel mundial después de la revolución industrial. Esto trae como consecuencia que los océanos se hayan calentado, la cantidad de nieve y hielo han disminuido en los polos y el nivel del mar ha subido. Si no se toman medidas drásticas desde hoy, será más difícil y costoso adaptarse a estos efectos en el futuro [2].

Por lo tanto, en el siguiente trabajo trataremos los temas del reto mundial para la electrificación de zonas rurales, el impacto de la instalación de sistemas de energía renovable para la mitigación del cambio climático, y como afectan los gases invernadero a nuestro medio ambiente. También estudiaremos la situación actual de la energía eléctrica en la República Dominicana, y un breve análisis de la pobreza energética en dicho país. Por último, proponer una solución para resolver el problema eléctrica principalmente para las zonas rurales sin acceso a la energía eléctrica, enfocado en la utilización de tecnología solar fotovoltaica.

3. JUSTIFICACIÓN

La República Dominicana es uno de los países con mayor problema energético en América Latina y El Caribe, el tema de la electricidad y apagones sigue siendo un tema que afecta el día a día a los pueblos dominicanos.

Últimamente la demanda energética se está incrementando rápidamente, pero la gran mayoría de la fuente de generación proviene de combustible fósil, ocupando más de un 75% de la capacidad total instalada [3]. Por otro lado, el reto de la electrificación rural, también proviene de la línea de distribución, la red eléctrica está muy centralizada, el alto costo de instalar nuevas líneas de distribución frena el proceso de electrificación de las zonas rurales.

La República Dominicana muestra un enorme potencial solar. La irradiancia global horizontal va de 5 a 7 kilovatios-hora por metro cuadrado por día (kWh/m²/día) en la mayor parte del país [4]. Sin embargo, con esta enorme oportunidad, la capacidad total de la generación fotovoltaica instalada es tan solo un 2% de la generación total.

Por lo tanto, este trabajo busca proponer una posible solución al problema energético de la República Dominicana, principalmente enfocado en los sectores rurales sin acceso a la energía eléctrica, utilizando la tecnología fotovoltaica como una alternativa frente a este problema.

4. ESTADO DEL ARTE

Teniendo en cuenta ciertos aspectos, de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red y aislados, para tales fines de estudio en la República Dominicana, nos vamos a sustentar en antecedentes de estudios internacionales.

4.1. Antecedentes Internacionales

En la actualidad, todavía existen diversos desafíos para el suministro de la energía eléctrica en las zonas rurales. Como el desequilibrio de la oferta y demanda, la infraestructura de transmisión y distribución de la energía eléctrica y el alto costo del suministro energético. Las energías renovables han sido una de las formas más sencillas y eficientes de proveer energía eléctrica a las comunidades rurales del mundo, principalmente la tecnología fotovoltaica, una de las principales tecnologías de energía renovable implementada por muchos gobiernos en el mundo para combatir dicho problema [5].

Dentro de las diferentes tecnologías de la energía renovable, la fotovoltaica (PV) ha sido la primera adoptada por el mundo, como por ejemplo en la India para satisfacer las necesidades eléctricas del uso cotidiano en las comunidades rurales donde no existe una conexión a la red eléctrica. La tasa anual promedio de 30-50% de crecimiento global de la energía fotovoltaica se debe principalmente a los mercados de los países industrializados, como China, Alemania, Estados Unidos, Italia, Corea del Sur y Japón. Entre las diversas aplicaciones, los sistemas fotovoltaicos conectada a la red, instalados en las azoteas contribuyen significativamente al mercado global de los países como Japón y Alemania. Por otro lado, China y Estado Unidos han implementado sistemas centralizados en sectores conectados a la red, y también aplicaciones no domésticas como iluminación de las autopista o túneles [5].

Los sistemas solares domésticos suelen utilizarse para proporcionar energías eléctricas a los hogares que no están conectados a la red eléctrica. También las plantas de energía fotovoltaica off-grid con su propia red de distribución (micro / minigrids) se están considerando como una solución para la electrificación de comunidades rurales [6].

La mayoría de los proyectos fotovoltaicos para aplicaciones de electrificación rural descentralizadas se basan en sistemas solares domésticos autónomos ("Solar Home Systems", SHS), típicamente con un rango de capacidad entre 35 y 100 Wp. En la India, se informó que se han instalado 450,000 SHS hasta julio de 2009, también implementaron micro redes de plantas fotovoltaicas, con su propia red de distribución independiente con una potencia entre 1 a 500 kWp. Los SHS suministran electricidad de corriente continua para usos finales domésticos principalmente la iluminación y generalmente son propiedad de los hogares de los usuarios. Las micro redes, generalmente establecidas por una compañía de servicios de energía, suministran electricidad de corriente alterna a diferentes puntos de carga a través de una red de distribución de baja tensión y los usuarios pagan por la electricidad que consumen [6].

Teniendo en cuenta todo lo antes expuesto, mencionamos algunas referencias internacionales respecto a nuestro tema de estudio:

4.1.1. México: Luz en Casa Oaxaca

El programa "Luz en Casa Oaxaca" facilita acceso a la iluminación eléctrica, mediante sistemas fotovoltaicos domiciliarios de tercera generación, a 488 comunidades rurales con población inferior a 100 habitantes, en territorios de 7 regiones oaxaqueñas donde no existen planes de electrificación.

Ofreciendo una solución para contribuir al desarrollo de estas comunidades, mediante su acceso a la electricidad con sistemas fotovoltaicos domiciliarios de tercera generación que proporcionan, diariamente, al menos 4 horas de luz eléctrica con tres lámparas, carga de móvil y conexión a aparatos eléctricos de bajo consumo compatibles (radio, etc.).

En 2010, según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México (INEGI), en el Estado de Oaxaca existía alrededor de un 5,7% de las viviendas (48.857) sin acceso a la electricidad, denotándose una palpable desigualdad entre los medios urbano-rural: el 55% de las viviendas sin electrificar se encontraba en las 25 microrregiones de atención prioritaria para el gobierno del estado, identificadas así debido a su pobreza rural y alta dispersión poblacional [7].



Ilustración 1. Luz en Casa Oaxaca. Fuente: Acciona

En 2016, de acuerdo con los datos facilitados por el Comité Estatal de Planeación para el Desarrollo de Oaxaca (COPLADE), el número de hogares oaxaqueños que no disponían de electricidad se había reducido en un 56%, alrededor de 27.400 (104.000 personas), de los que los 7.512 hogares (30,000 personas) a los que ha llegado ‘Luz en Casa Oaxaca’ representan casi el 70% de los electrificados de forma no convencional [7].

4.1.2. Panamá: Piloto Luz en Casa Ngäbe-Buglé

Según datos del Banco Interamericano de Desarrollo en Panamá, en el país quedan 90.000 familias sin acceso a electricidad, lo que afecta no solo a su calidad de vida, sino también a las condiciones sanitarias, acceso a la educación y desarrollo socioeconómico de estas regiones.

La comarca indígena Ngäbe-Buglé es una de las que tiene un menor Índice de Desarrollo Humano, por debajo de 0,5, lo que la convierte en la zona más empobrecida del país.



Ilustración 2. Piloto Luz en Casa Ngäbe-Buglé. Fuente: Acciona

El proyecto “Piloto Luz en Casa Ngäbe-Buglé”, ha llevado luz eléctrica mediante paneles solares fotovoltaicos a 400 familias de siete comunidades rurales aisladas situadas en la zona occidental de Panamá, concretamente en la comarca indígena Ngäbe-Buglé [8].

Para ello se han instalado sistemas fotovoltaicos domiciliarios de tercera generación, que proporcionan un servicio básico de electricidad a cambio del que los usuarios aportan una cuota mensual inferior al coste que suponían para ellos los sistemas alternativos de iluminación (velas, pilas, mecheros de combustible...).

Gracias a este proyecto piloto, unos 2.250 panameños (más de la mitad de ellos, niños) de la región de Ngäbe-Buglé tienen disponible luz eléctrica durante seis horas diarias, y la posibilidad de acceder a sistemas de telecomunicaciones y pequeños electrodomésticos (cargar un teléfono móvil y conectar aparatos eléctricos de bajo consumo como radios, televisiones, etc.) [8].

4.1.3. Tanzania: PowerCorner

Ketumbeine, una aldea remota en la región de Arusha, en Tanzania, está ubicada a unos 36 kilómetros de la red eléctrica nacional. Durante años, los 800 habitantes que viven en esta aldea no cuentan con energía eléctrica. Al igual que 38 millones de tanzanos y más de 1.100 millones de personas en todo el mundo, según el “Energy Outlook 2017” de la Agencia Internacional de Energía. Las 161 familias dependían únicamente de fuentes de energía contaminantes y peligrosas tradicionales, como el queroseno, las velas, pequeños grupos electrógenos, baterías de automóviles, Etc.

Ketumbeine fue seleccionada por PowerCorner, para probar su primer sistema sostenible de mini-red. Este consiste en una unidad de generación en contenedores compuesta por paneles fotovoltaicos con una capacidad de 16 kWp, un banco de baterías de iones de litio de 45 KWh para almacenamiento de energía y por último un grupo de electrógeno de respaldo, que proporciona electricidad las 24 horas del día. El objetivo de este proyecto es brindar una energía verde, segura, confiable, y sostenible a las comunidades rurales que no tienen acceso a la energía eléctrica en África [9].



Ilustración 3. Tanzania: PowerCorner. Fuente: Solarimpulse

Gracias a la rápida disminución de los costos de la energía solar fotovoltaica, las tecnologías de baterías y los electrodomésticos de bajo consumo de energía (especialmente los diodos emisores de luz [LED]), estos sistemas solares de mini-red podrían ser una solución de energía sostenible moderna, asequibles y confiables para las zonas rurales [9].

4.1.4. China: Iluminación Yushu

La escuela primaria central con internado de Shanglaxiuxiang, una escuela en el pueblo Shanglaxiuxiang, de la ciudad Yushu, en la prefectura autónoma tibetana de Yushu en China, está ubicado a 4300 metros sobre la superficie del mar, es la única escuela de la zona, y contiene 12 cursos con un total de 628 estudiantes. Por su ubicación, esta escuela no tiene acceso a la red eléctrica nacional, solo tiene una pequeña generadora diésel que funciona solo 4 horas al día.

Con el proyecto iluminación de Yushu, se realizó una pequeña instalación Off Grid de 50kW para suministrarle energía a la escuela. Con esta instalación, no solo logran mejorar la calidad de vida y de estudio de los estudiantes, si no también disminuir el uso del generador diésel, así reducir el costo de combustible y a su vez disminuir la producción de gases invernadero [10].



Ilustración 4. Iluminación Yushu. Fuente: Ministerio De Educación De La República Popular De China

5. ACCESO A LA ENERGÍA

El número de personas sin acceso a la electricidad disminuyó de 1.700 millones en 2.000 a 1.100 millones en el 2016, principalmente a través de la expansión de la red con combustibles fósiles (45% de carbón, 19% de gas natural y 7% de petróleo). Sin embargo, las tecnologías utilizadas para proporcionar acceso a la electricidad han comenzado a cambiar, las energías renovables han comenzado a ganar terreno, el progreso aceleró a partir del año 2012, más de 100 millones de personas por año obtuvieron acceso a la energía eléctrica, en comparación con 62 millones personas por año entre los años 2000 y 2012, las energías renovables proporciono el 34% de las nuevas conexiones, y los sistemas fuera de la red y mini red representan el 6% [1].

La Agencia Internacional de la Energía (IEA) define el acceso a la energía como "Un hogar que tenga acceso a energía limpia, confiable y asequible para la cocina y la electricidad, suficiente para suministrar inicialmente un paquete básico de servicios de energía, y luego ir aumento del nivel con el tiempo, para alcanzar el promedio de la región", el uso básico de la electricidad se refiere como mínimo varios bombillos, luces para tareas del hogar (linternas), cargador para teléfonos y una radio [1]. La energía limpia para la cocina es el acceso a combustible y tecnologías modernas, incluyendo gas natural, gas licuado de petróleo (GLP), electricidad y biogás o estufas de biomasa mejorada (ICS).

La disminución de los costos de las energías renovables y los dispositivos eficientes para el usuario final, los modelos comerciales innovadores para el acceso a la electricidad están teniendo un impacto positivo. Estos factores están determinados a transformar el panorama del acceso a la energía en los próximos años, especialmente en las zonas rurales. Durante este período hasta 2030, las nuevas conexiones a la red llevarán electricidad a más de la mitad de los que no tienen accesos y ofrecen los medios de acceso más rentables en las zonas urbanas, por otro lado, los sistemas descentralizados son las soluciones más rentables para más del 70% de las zonas rurales [1].

El análisis país por país de la IEA proyecta que para 2030 en Asia y América Latina el 99% de la población tendrán acceso a la electricidad, y 95% en el Oriente Medio, en subsahariana de África, la tasa crecerá a 59% para el año 2030, sin embargo. De los 674 millones de personas restante que aún no tendrán acceso a la electricidad en 2030, el 90% proviene de subsahariana de África [1].

Se predice que para 2030, más de dos tercios de las poblaciones rurales que obtendrán acceso a la electricidad será por medio de soluciones descentralizadas, con 72 TWh producida por mini redes, superando el suministro por las redes centralizados, y los sistemas aislado alcanzará a más de 55 TWh [1] (véase ilustración 5).

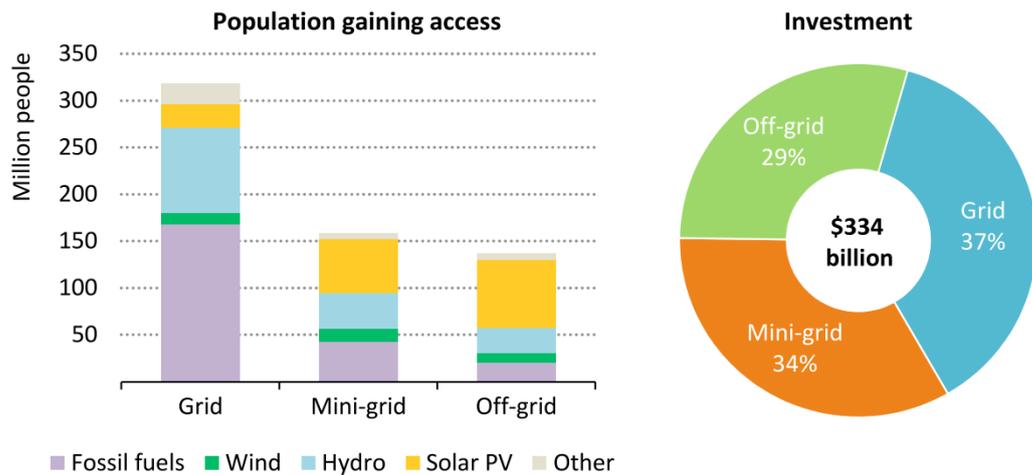


Ilustración 5. Población acumulada que obtiene acceso a electricidad e inversión acumulada en el Escenario Nuevas Políticas, 2017-2030. Fuente: IEA Analysis.

Nota: Otros incluyen energía nuclear, biomasa, geotérmica, concentración solar y energía marina.

La red eléctrica centralizada sigue siendo el medio principal para la electrificación, porque es la opción de menor costo por kWh para las mayorías de las partes que tienen acceso a la red, representa la mitad del total. Sin embargo, la creciente de personas en zonas rurales sin acceso a la red y los desafíos asociados con llevar la red a lugares remotos nos lleva a buscar otras tecnologías y fuentes de energías [1].

6. CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático es el mayor desafío de nuestro tiempo y nos encontramos en un momento decisivo. Desde pautas meteorológicas cambiantes, que amenazan la producción de alimentos, hasta el aumento del nivel del mar, que incrementa el riesgo de inundaciones catastróficas, los efectos del cambio climático son de alcance mundial y de una escala sin precedentes. Si no se toman medidas drásticas desde hoy, será más difícil y costoso adaptarse a estos efectos en el futuro [2].

De 1880 a 2012 la temperatura media mundial aumentó un 0,85 °C. Los océanos se han calentado, la cantidad de nieve y hielo han disminuido y el nivel del mar ha subido. De 1901 a 2010, el nivel medio mundial del mar ascendió 19 cm, ya que los océanos se expandieron debido al hielo derretido por el calentamiento. La extensión del hielo marino en el Ártico ha disminuido en cada década desde 1979, con una pérdida de $1,07 \times 10^6$ km² de hielo cada diez años [2].

6.1. Los Gases de Efecto Invernadero (GEI)

Los gases de efecto invernadero se producen de manera natural y son esenciales para la supervivencia de los seres humanos y de millones de otros seres vivos ya que, al impedir que parte del calor del sol se propague hacia el espacio, hacen la Tierra habitable. Pero después de más de un siglo y medio de industrialización, deforestación y agricultura a gran escala, las cantidades de gases de efecto invernadero en la atmósfera se han incrementado en niveles nunca antes vistos en tres millones de años. A medida que la población, las economías y el nivel de vida crecen, también lo hace el nivel acumulado de emisiones de ese tipo de gases [2].

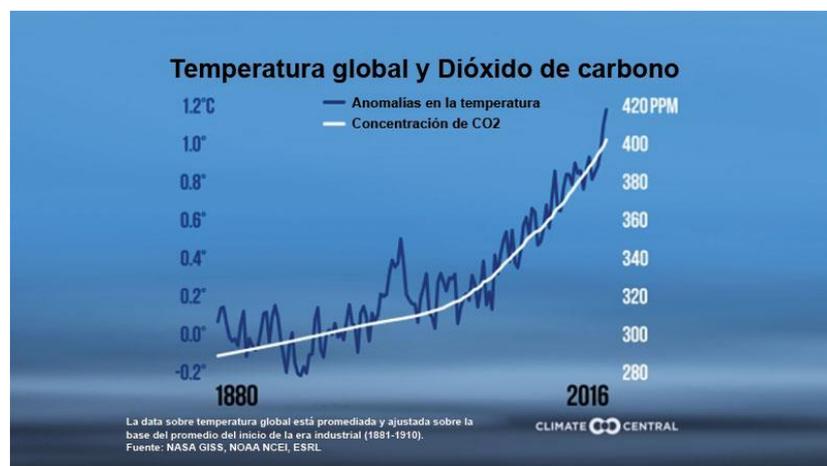


Ilustración 6. relación CO₂ y Temperatura. Fuente Climate Central

La concentración de GEI en la atmósfera terrestre está directamente relacionada con la temperatura media mundial de la Tierra (véase ilustración 6), esta concentración ha ido aumentando progresivamente desde la Revolución Industrial y, con ella, la temperatura mundial, el GEI más abundante y que representa alrededor de dos tercios de todos los tipos de GEI, es el dióxido de carbono (CO₂), resultado de

la quema de combustibles fósiles. Otros GEI son: Metano (CH₄), Óxido nitroso (N₂O), Hidrofluorocarbono (HFC), Perfluorocarbonos (PFC), Hexafluoruro de azufre (SF₆) [2].

Debido a la concentración actual y a las continuas emisiones de gases de efecto invernadero, es probable que el final de este siglo la temperatura media mundial continúe creciendo por encima del nivel preindustrial. Así, los océanos se calentarán y el deshielo continuará. Se estima que el aumento del nivel medio del mar será de entre 24 y 30 centímetros para 2065 y de 40 a 63 centímetros para 2100 en relación con el periodo de referencia de 1986-2005. La mayoría de los efectos del cambio climático persistirán durante muchos siglos, incluso si se detienen las emisiones [2].

6.2. Calentamiento Global De 1,5°C

En octubre de 2018, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) publicó un informe especial sobre los impactos del calentamiento global a 1,5°C, encontrando que limitar el calentamiento global a este nivel requerirá cambios rápidos, de gran alcance y sin precedentes en todos los aspectos de la sociedad, según mencionó el IPCC en su nueva evaluación. Con ventajas claras para la gente y ecosistemas naturales, el informe encontró que la limitación del calentamiento global a 1,5°C comparado con 2°C podría ir de la mano con el compromiso de asegurar una sociedad más sostenible y equitativa. Mientras estimaciones previas se enfocan en determinar el daño que se ocasionaría si la temperatura media llegara a los 2°C, este informe establece que muchos de los impactos adversos del cambio climático se producirían ya en los 1,5°C [2].

Además, el informe destaca una serie de impactos del cambio climático que podrían evitarse si la marca de calentamiento global máxima se establece en 1,5 °C en lugar de 2 °C o más. Por ejemplo, para 2100, el aumento del nivel del mar mundial sería 10 cm más bajo con un calentamiento global de 1,5°C. Las probabilidades de tener un Océano Ártico sin hielo durante el verano disminuirán a una vez por siglo con el máximo en 1,5 °C, en lugar de una vez por década, si la marca se establece en los 2 °C. Los arrecifes de coral disminuirían entre un 70 y 90 por ciento con un calentamiento global de 1,5 °C, mientras que con 2 °C, se perderían prácticamente todos (99 por ciento) [2].

El informe expone que limitar el calentamiento global a 1,5°C requeriría transiciones "rápidas y de gran calado" en la tierra, la energía, la industria, los edificios, el transporte y las ciudades. Las emisiones netas mundiales de dióxido de carbono (CO₂) de origen humano tendrían que reducirse en un 45 por ciento para 2030 con respecto a los niveles de 2010, y seguir disminuyendo hasta alcanzar el "cero netos" aproximadamente en 2050. Esto significa que se debería compensar cualquier emisión remanente eliminando el CO₂ de la atmósfera [2].

6.3. Demanda Energética

El consumo de energía mundial en el año 2018 aumentó casi el doble del promedio de crecimiento del año 2010, impulsado por una economía global robusta y aumento de las necesidades de calefacción y refrigeración en algunas partes del mundo [11].

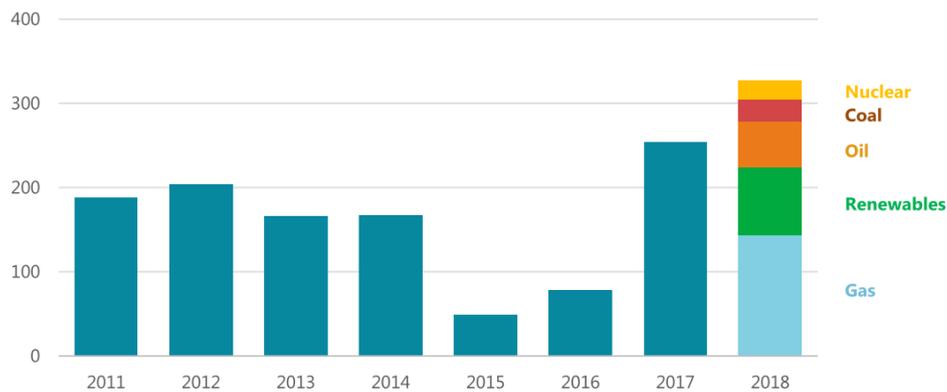


Ilustración 7. Crecimiento anual de la demanda mundial de energía primaria por combustible, 2010-18. Fuente IEA

El gas natural es el que tiene mayor crecimiento, representando casi el 45% del aumento en la demanda total de la energía. También la demanda de todos los otros combustibles aumentó, los combustibles fósiles alcanzaron casi el 70% del crecimiento por segundo año consecutivo. Las energías renovables crecieron a un ritmo de dos dígitos, pero aún no lo suficientemente rápido como para satisfacer el aumento de la demanda de electricidad en todo el mundo [11].

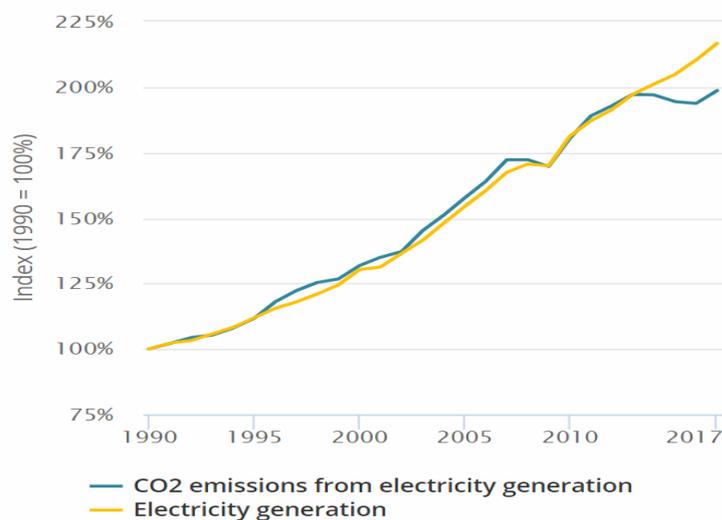


Ilustración 8. CO2 VS generación eléctrica. Fuente IEA

Como resultado del aumento de consumo de energía, las emisiones globales de CO2 relacionadas con la energía aumentaron a 33.1 Gt de CO2, un 1,7% más que el año 2017. La generación de energía mediante carbón sigue siendo el mayor emisor, representando el 30% de todas las emisiones de dióxido de carbono relacionadas con la energía [11].

El aumento de la demanda de energía fue impulsado por crecimiento de la economía global de un 3,7% en el 2018, un ritmo más alto que el crecimiento anual promedio de 3.5% visto desde 2010. China, Estados Unidos e India juntos representaron casi el 70% del aumento en demanda de energía [11].

Las condiciones climáticas del año pasado también son responsables de casi una quinta parte del aumento de demanda energética mundial, ya que las temperaturas promedio de invierno y verano en algunas regiones se acercaron o superaron los registros históricos. El frío instantáneo aumentó la demanda de calefacción, y el incremento de la temperatura en el verano aumentó significativamente la demanda de refrigeración [11].

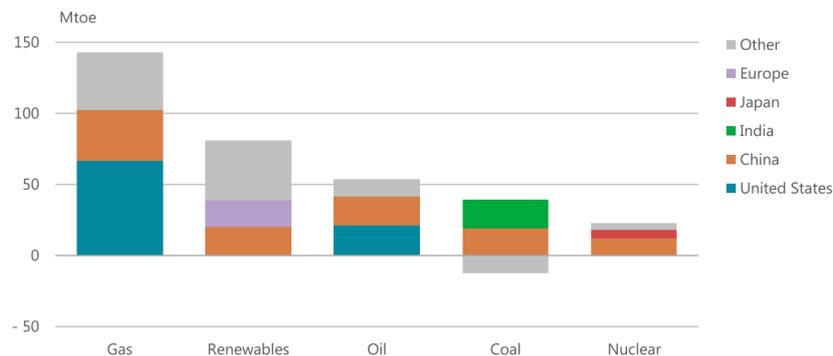


Ilustración 9. Crecimiento anual de la demanda mundial de energía primaria por combustible y región, 2017-18. Fuente IEA

6.4. Emisión de CO₂

Las emisiones mundiales de CO₂ relacionadas con la energía crecieron un 1,7% en el 2018 superando al máximo histórico llegando a un valor de 33,1 Gt de CO₂. Fue la tasa de crecimiento más alta desde el 2013, y 70% más que el incremento promedio desde el 2010 [11].

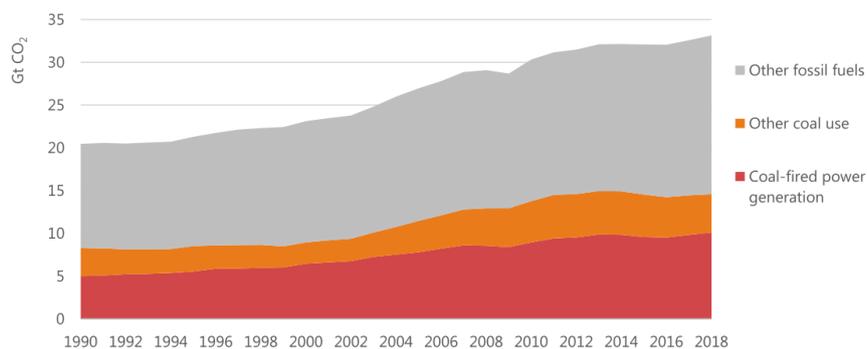


Ilustración 10. Emisiones mundiales de CO₂ relacionadas con las fuentes de energía, 1990-2018. Fuente IEA.

El sector eléctrico representó casi dos tercios de las emisiones total. Solo el uso de carbón superó los 10 Gt de CO₂, principalmente en Asia. China, India y Estados Unidos, estos representaron el 85% del aumento neto de las emisiones, mientras que las emisiones disminuyeron para Alemania, Japón, México, Francia y el Reino Unido [11].

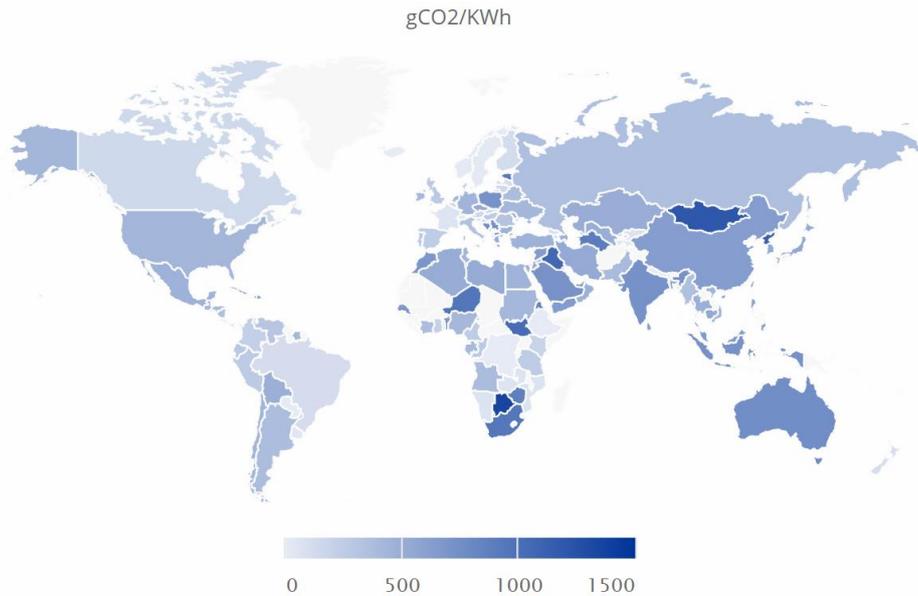


Ilustración 11. Emisión de CO₂ por kWh 2016. Fuente IEA

Las emisiones de CO₂ se estancaron entre los años 2014 y 2016, incluso cuando la economía mundial continuó expandiéndose. Este desacoplamiento fue principalmente el resultado de fuertes mejoras en la eficiencia energética y el despliegue de uso de la tecnología baja en carbono, lo que condujo a una disminución en la demanda de carbón. Pero la dinámica cambió en 2017 y 2018. Hubo un mayor crecimiento de economía, y las opciones con bajas emisiones de carbono no escalaban lo suficientemente rápido como para satisfacer el aumento de la demanda [11].

El resultado fue que las emisiones de CO₂ aumentaron en casi un 0,5% por cada por ciento de ganancia en la producción económica mundial en comparación con un aumento del 0,3% en promedio desde 2010 [11].

La IEA evaluó el impacto del uso de combustibles fósiles como afecta al aumento de temperatura global. Descubrió que el CO₂ emitido por la combustión del carbón es responsable de más de 0.3 ° C del aumento de 1 ° C en las temperaturas de superficie anuales promedios mundiales por encima de los niveles de la época preindustriales. Esto hace que el carbón sea la mayor causa del aumento de la temperatura mundial [11].

La concentración anual promedio global de CO₂ en la atmósfera tiene en promedio 407.4 ppm en 2018, 2.4 ppm más que en 2017. Este es un aumento importante con respecto a los niveles de la época preindustriales, que oscilaban entre 180 y 280 ppm [11].

6.5. Protocolo de Kyoto

El Protocolo de Kioto fue adoptado el 11 de diciembre de 1997 en Kioto, Japón, y entró en vigor el 16 de febrero de 2005. Las reglas detalladas para la implementación del Protocolo se adoptaron en la COP 7 en Marrakech, Marruecos, en 2001, y se conocen como los "Acuerdos de Marrakech". Su primer período de compromiso

comenzó en 2008 y terminó en 2012. El segundo período de compromiso empezó el 1 de enero de 2013 y terminará en 2020.

El Protocolo de Kyoto, es el primer tratado internacional para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Este obliga jurídicamente a los países a cumplir unas metas de reducción de las emisiones, el Protocolo impone una carga más pesada a las naciones desarrolladas, porque son los principales responsables de los altos niveles actuales de emisiones de GEI en la atmósfera como resultado de más de 150 años de actividad industrial.

Durante el primer período de compromiso, 37 países industrializados y la Comunidad Europea se comprometieron a reducir las emisiones de GEI a un promedio de cinco por ciento en comparación con los niveles de 1990. Durante el segundo período de compromiso, las partes se comprometieron a reducir las emisiones de GEI en al menos un 18 por ciento por debajo de los niveles de 1990 en el período de ocho años de 2013 a 2020; sin embargo, la composición de las Partes en el segundo período de compromiso es diferente de la primera [12].

6.6. Acuerdo de París

En la Conferencia de París sobre el Clima (COP21), celebrada en diciembre de 2015, 195 países firmaron el primer acuerdo vinculante mundial sobre el clima. Para evitar un cambio climático peligroso, el Acuerdo establece un plan de acción mundial que pone el límite del calentamiento global muy por debajo de 2 °C.

El Acuerdo de París tiende un puente entre las políticas actuales y la neutralidad climática que debe existir a finales del siglo.

Los Gobiernos acordaron:

- El objetivo a largo plazo de mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2 °C sobre los niveles preindustriales.
- Limitar el aumento a 1,5 °C, lo que reducirá considerablemente los riesgos y el impacto del cambio climático.
- Que las emisiones globales alcancen su nivel máximo cuanto antes, si bien reconocen que en los países en desarrollo el proceso será más largo.
- Aplicar después rápidas reducciones basadas en los mejores criterios científicos disponibles.

Antes y durante la conferencia de París, los países presentaron sus planes generales nacionales de acción contra el cambio climático. Aunque los planes no bastarán para mantener el calentamiento global por debajo de 2 °C, el Acuerdo señala el camino para llegar a esa meta [13].

7. REVOLUCIÓN ENERGÉTICA

7.1. Las Energías Renovables

Desde 1990, las fuentes de energía renovable han crecido a un promedio anual de 2.0%, que es ligeramente más alta que la tasa de crecimiento de TPES mundial, 1.7%. El crecimiento ha sido especialmente alto para la energía solar fotovoltaica y eólica, que creció a con un promedio anuales de 37.0% y 23.4% respectivamente, el biogás es el tercer más alto con 11.9%, seguido por la energía solar térmica (11,2%) y biocombustibles líquidos (9,7%) (véase ilustración 12) [14].

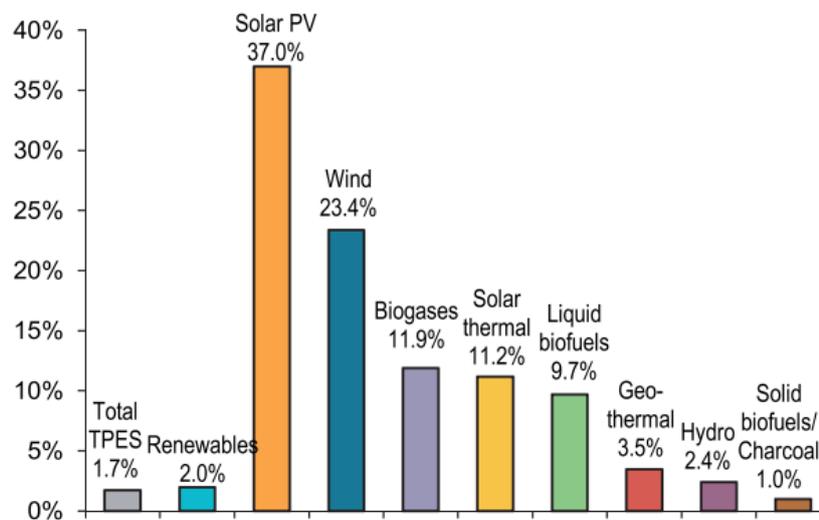


Ilustración 12. Tasas promedio de crecimiento anual del suministro mundial de energías renovables de 1990 a 2017. Fuente: IEA.

En 2017, el suministro mundial total de energía primaria (TPES) fue de 13.972 Mtep, de los cuales el 13,5% o 1.894 Mtep, se produjo a partir de fuentes de energía renovables [14].

Debido al uso generalizado de los biocombustibles sólidos y carbón vegetal en los países en desarrollo (calefacción y cocina), este es la mayor fuente de energía renovable usada que representando el 60.7% del suministro mundial de energías renovables. La segunda fuente más grande es la energía hidroeléctrica, que proporciona el 2.5% del TPES mundial y el 18.5% de las energías renovables. Los biocombustibles líquidos, eólicos, geotérmicos, solares, biogás, residuos municipales renovables y mareas tienen cada uno una porción menor que constituye el resto del suministro de energía renovable [14].

Las energías renovables es el segundo mayor contribuyente a la producción de electricidad mundial. Representa un 24.5% de la generación mundial total en 2017, después del carbón con 38.5%, luego el gas natural (23.0%), nuclear (10.3%) y petróleo (3.3%). Después de superar la producción del gas natural en 2016, las energías renovables aumentaron aún margen de participación de un 0.7 por ciento en 2017 [14].

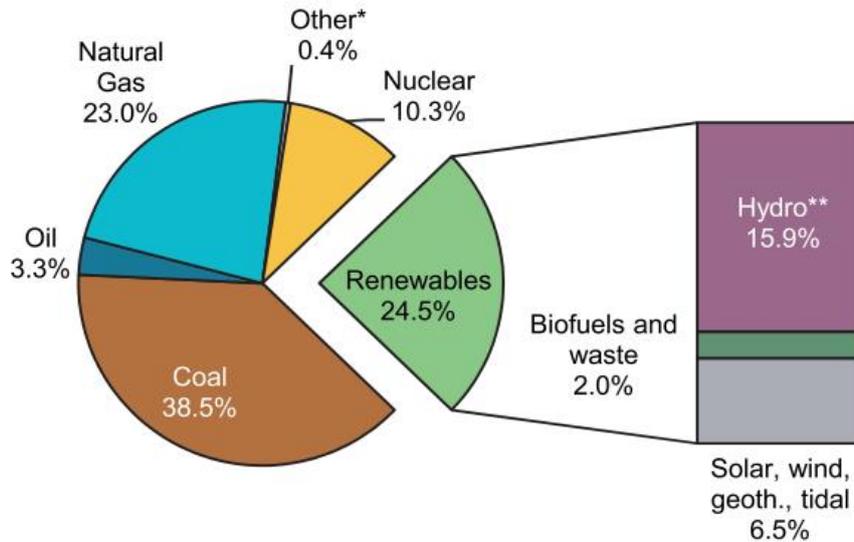


Ilustración 13. Porcentaje de producción mundial por tecnología (2017). Fuente IEA.

Las posiciones relativas de las energías renovables y el gas natural han sido influenciadas por varios factores, entre los cuales las condiciones climáticas juegan un papel clave. Las políticas que favorecen las energías renovables sobre los combustibles fósiles también han contribuido al crecimiento de las energías renovables [14].

7.2. La Energía Solar

Casi toda la energía de que disponemos proviene del Sol. Él es la causa de los vientos, de la evaporación de las aguas superficiales, de la formación de nubes, de las lluvias y, por consiguiente, de los saltos de agua. Su calor y su luz son la base de numerosas reacciones químicas indispensables para el desarrollo de los vegetales y de los animales que con el paso de los siglos han originado combustibles fósiles como el carbón o el petróleo. La radiación solar tiene otra importancia capital: otras formas de energía renovable, como el viento, las olas o la biomasa no son más que manifestaciones indirectas de ésta [15].

La Tierra recibe la radiación electromagnética del Sol y reirradia de nuevo al espacio una cantidad de calor igual a la radiación incidente. Por tanto, la utilización de la radiación solar no es otra cosa que su conversión en energía útil para la humanidad. La energía solar llega a la superficie de la Tierra por dos vías diferentes: incidiendo en los objetos iluminados por el Sol, denominada radiación directa, o por reflexión de la radiación solar absorbida por el aire y el polvo atmosférico, llamada radiación difusa [15].

En general, el término de radiación solar se refiere a los valores de irradiación solar, es decir, la cantidad de energía recibida por unidad de superficie en un tiempo determinado. Estos valores normalmente expresan la energía que proviene de la radiación directa del disco solar y la radiación difusa que, esparcida por la atmósfera, proviene del resto del cielo. La proporción entre radiación directa y difusa varía según las condiciones climáticas, y, en días nublados [15].

La radiación solar es una forma de energía de baja concentración, ya que fuera de la atmósfera la intensidad de radiación solar que recibe la Tierra oscila entre los 1.300 y los 1.400 W/m² aproximadamente. Las pérdidas a la atmósfera por reflexión, absorción y dispersión reducen este valor alrededor de un 30%, con una intensidad de radiación por parte de la Tierra de alrededor de los 1.000 W/m². Estos valores pueden variar dependiendo en las condiciones climatológicas [15].

La luz solar nos proporciona mucha más energía de la que podemos necesitar, La clave está en como captar esa energía. Respecto a este tema, existe dos manera para el aprovechamiento de la energía solar: los que convierten la radiación solar en electricidad mediante tecnología fotovoltaica y la energía térmica para la producción del calor [15].

7.2.1. Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es la tecnología que convierte la irradiación solar en electricidad, basada en el efecto fotovoltaico, utilizando un material capaz de absorber fotones y liberar electrones, generando una corriente eléctrica.

El módulo solar o llamado panel solar, es el dispositivo que se utiliza para recolectar la luz solar y general corriente, está compuesto por diversos semiconductores denominado celda o célula fotovoltaica. La electricidad generada puede consumirse o verterse a la red eléctrica dependiendo de la configuración. Más adelante, profundizaremos sobre esta tecnología.

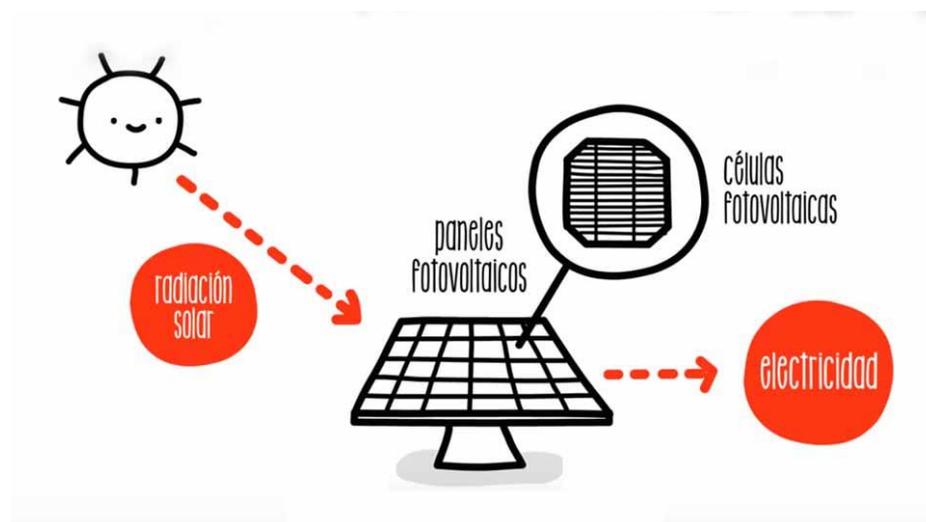


Ilustración 14. Tecnología fotovoltaica. Fuente Acciona

7.2.2. Energía solar térmica

La energía solar térmica se refiere al calor generado por la radiación solar. Esta energía se utiliza en aplicaciones industriales, comerciales y residenciales a través de tecnologías diferentes, que incluyen la producción de vapor, agua caliente sanitaria, los sistemas de calefacción, los sistemas de refrigeración e incluso la generación de electricidad [16].

Esta tecnología puede producir temperaturas que van desde los 45°C hasta más de 300°C, por lo cual es potencialmente útil para una amplia gama de sectores tales como el minero, el de alimentos y bebidas, así como para la manufactura de textiles, la producción química y la fabricación de pulpa y de papel [16].

Un colector solar es la herramienta que se utiliza para captar la irradiación, la irradiación es absorbida por el colector solar, luego se transfiere como calor a su fluido de trabajo (aire, agua o aceite). El fluido caliente se puede utilizar directamente, o cargar un tanque o depósito de inercia del cual se puede extraer el calor para usarlo más tarde (en la noche o días nublados) [17].

Energía Solar Térmica

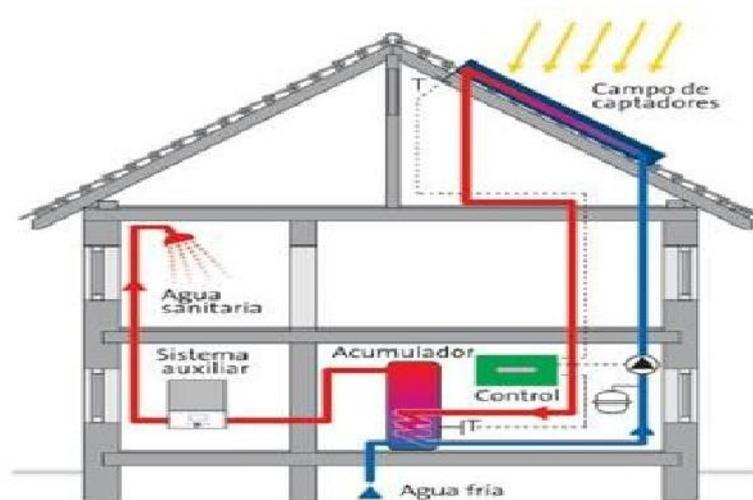


Ilustración 15. Esquema básico de sistema solar térmica. Fuente: Internet

En este trabajo nos enfocaremos más a la tecnología fotovoltaica, por lo tanto, no profundizaremos en esta tecnología.

8. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

8.1. Una Perspectiva Global

Según el informe Global Market Outlook 2019-2023, solo en el año 2018 se agregó 102,4 GW, por primera vez supera los 100 GW de capacidad agregada en un año, esto representa a un 36% de todas las capacidades de energía agregada en ese año, y contribuye con un 2,2% de la producción mundial de electricidad. Esto muestra que, a pesar del papel dominante de la energía solar en las adiciones anuales de generación de energía, existe un enorme potencial sin explotar para la energía solar y sus pares renovables [18].

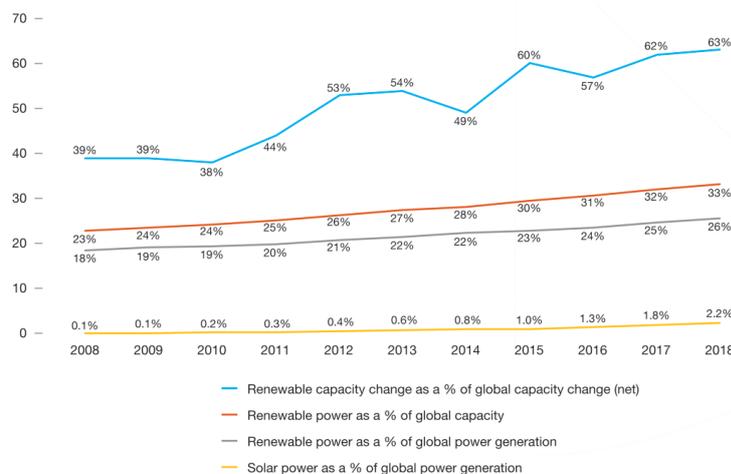


Ilustración 16. Generación de Renovable y Fotovoltaica en comparación con el mercado mundial 2008-2018. Fuente: Solar Power Europe

La capacidad total de la energía fotovoltaica instalada creció un 25% llegando a 509,3 GW al final del año 2018, frente a los 407 GW en 2017. Desde principios de siglo, la energía solar total ha crecido casi 320 veces. Una década atrás, la capacidad fotovoltaica acumulada del mundo aumentó en más del 3,200%, con 15,8 GW de nueva capacidad instalada en 2008 [18].

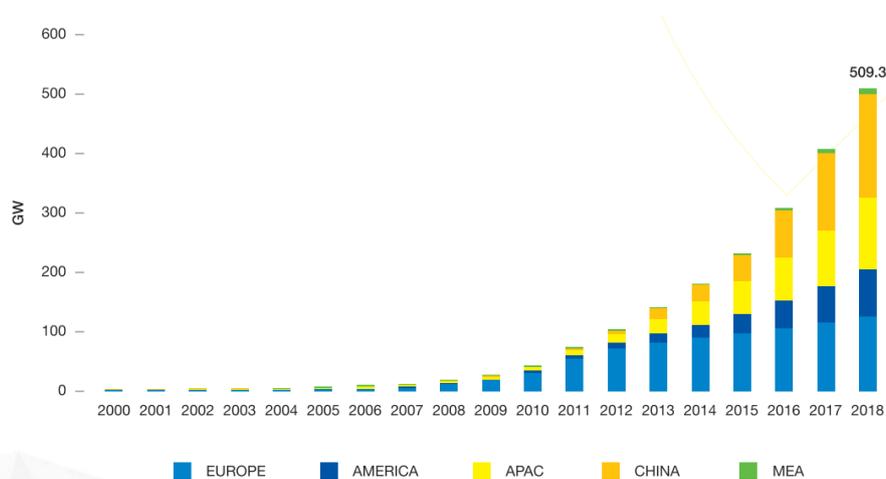


Ilustración 17. Evolución anual de la capacidad fotovoltaica acumulada 2000-2018. Fuente: Solar Power Europe

Aunque el crecimiento de los tres principales mercados asiáticos se desaceleró, pero la región de Asia expandió aún más su liderazgo en la energía solar en 2018, representando nuevamente más de la mitad de las capacidades de generación de energía solar global. Agregando 71,3 GW en 2018 alcanza una capacidad total de 295,7 GW, lo que equivale a una participación de mercado global de 58%. Los pioneros solares europeos no pudieron evitar que el continente perdiera cuota en el mercado. Reduciendo un 3% con un total de 25% en el mercado. Aun así, Europa mantuvo su segunda posición con una capacidad fotovoltaica acumulada de 125,8 GW. Las Américas volvieron a ser la tercera región de energía solar más grande del mundo en 2018, con una capacidad acumulada de 78,2 GW y una participación del 15%. El aumento de la actividad en el Medio Oriente y África cambió la ruta de desarrollo solar de la región el año pasado. Con una capacidad solar total de 9,6 GW, su participación en el mercado mundial creció ligeramente en 2018, subiendo hasta 1,9%, desde 1,7% el año anterior [18].

China sigue siendo el líder en energía fotovoltaica, la contracción del mercado del año 2018 no le afectó en absoluto a su dominio en este mercado, su capacidad de operativa de generación solar aumento 2% con respecto al año 2017 con un total de 34,4%, superando un tercio de la capacidad total mundial. Como en los años anteriores, después de China le sigue Estados Unidos, Japón y Alemania. La capacidad acumulada de los Estados Unidos alcanzó 62,1 GW, equivalente a una participación global del 12,2%; Los 55,9 GW de Japón cae en una participación del 11,0%, y los 45,9 GW de Alemania tiene una participación del 9,0%, por debajo del 10,6% de 2017. India no tuvo un buen año solar en 2018, su caída del mercado no se reflejó en la Clasificación de potencia global, sus 27,3 GW de capacidad total instalada fueron suficientes para mantenerse en el quinto lugar y aumentar su participación al 5,4%, del 4,7% en 2017 [18].

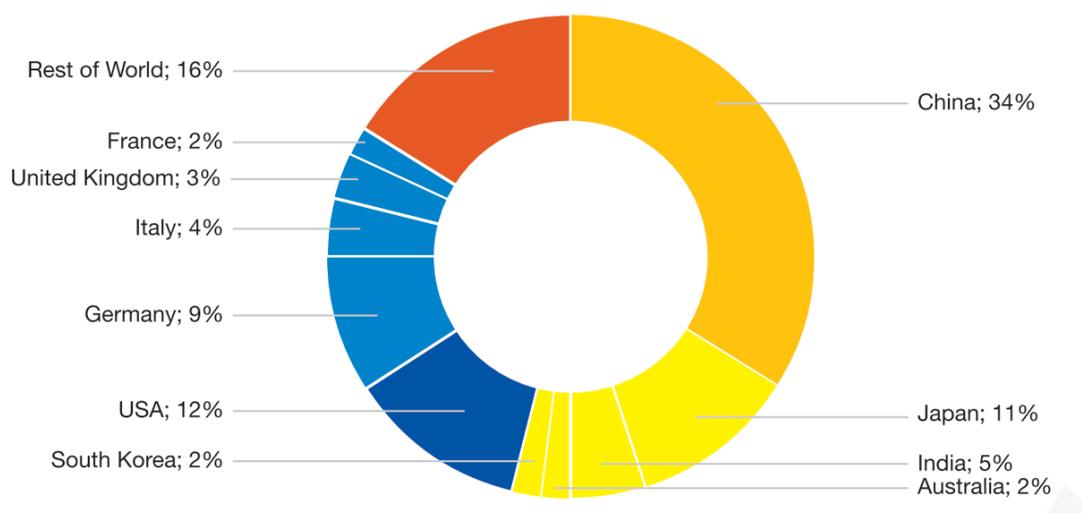


Ilustración 18. TOP 10 de los mercados solar fotovoltaicos instaladas a finales de 2018

Fuente: Solar Power Europe

8.2. Costo de la Energía Solar Fotovoltaica

Una de las razones que hace competitiva la energía fotovoltaica es el bajo costo. El LCOE promedio global de la energía solar fotovoltaica a escala de servicios públicos en 2010 fue de USD 0,371 / kWh, mientras que en 2018 bajó a USD 0,085 / kWh, 77% menos que en 2010. La disminución interanual de 2018 fue de 13 % (véase ilustración 19) [19]. Este precio ya es competitivo frente a otras energías renovables, incluso ante las energías fósiles tradicionales.

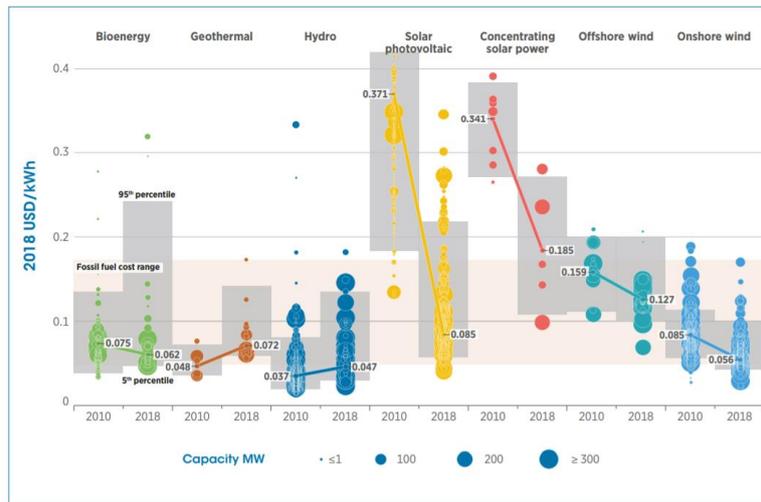


Ilustración 19. LCOE global de tecnologías de generación de energía renovable a escala de servicios públicos, 2010–2018. Fuente: IRENA

El costo promedio global de los proyectos de energía solar fotovoltaica a escala de servicios públicos en 2018 fue de USD 1.210 / kW, por debajo de USD 1.389 / kW en 2017, una disminución del 13%, y si comparamos con USD 4621 / kW del año 2010, hubo una disminución de 73,82% (véase ilustración 20). Aunque ha habido una convergencia en los costos totales de instalación hacia los países de referencia más competitivos, que históricamente han sido China y Alemania, pero todavía existe una amplia diferencia en los costos totales instalación [19].

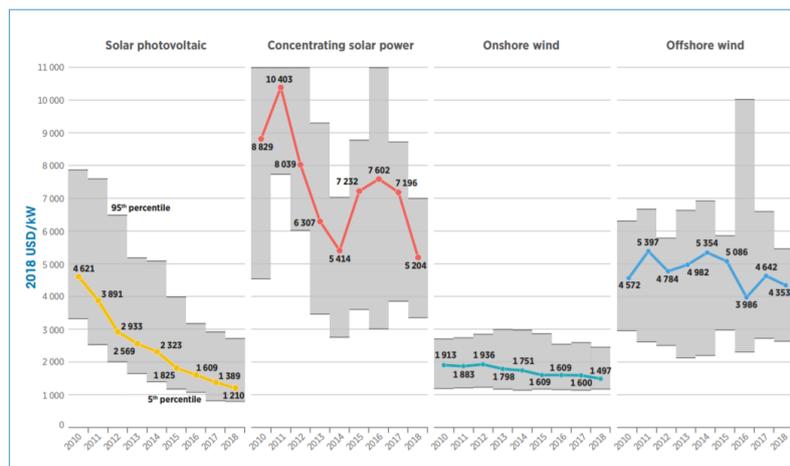


Ilustración 20. Costos promedio total globales de instalación y rangos de porcentuales del proyecto para CSP, energía solar fotovoltaica, eólica terrestre y eólica marina, 2010–2018. Fuente: IRENA.

8.3. Aplicación y Mercado de Tecnología Fotovoltaica

Existen diversas aplicaciones para los sistemas de energía fotovoltaica, desde pequeños sistemas de iluminación de algunos vatios hasta plantas fotovoltaicas a gran escala de cientos de megavatios.

Los Sistemas Pico han experimentado un desarrollo significativo en los últimos años, combinando el uso de luces de bajo consumo (Leds) con controladores de carga y baterías, con un pequeño panel de PV de unos pocos vatios, se pueden proporcionar servicios esenciales, como iluminación, carga del teléfono y alimentación de una radio o una pequeña computadora. Las versiones expandibles de los sistemas solares pico PV han ingresado al mercado y permiten comenzar con un pequeño kit y luego agregar cargas adicionales más adelante. Se utilizan principalmente para electrificar zonas rurales sin acceso a la red eléctrica en los países subdesarrollados [20].

Los sistemas aislados domésticos suministran electricidad a los hogares y aldeas que no están conectados a la red eléctrica. Proporcionan electricidad para iluminación, refrigeración y otras cargas de baja potencia, este sistema se ha implementado en todo el mundo, y muchas veces son las tecnologías más adecuada para satisfacer las demandas energéticas de las comunidades que no tiene acceso a la red eléctrica. Los sistemas domésticos fuera de la red en los países informantes suelen tener un tamaño de hasta 5 kw.

En general, ofrecen una alternativa más económica que extender la red de distribución de electricidad a distancias de más de 1 o 2 km de las líneas eléctricas existentes [20].

Los sistemas aislados no domésticos fueron la primera aplicación comercial para sistemas fotovoltaicos terrestres. Proporcionan energía para una amplia gama de aplicaciones, como telecomunicaciones, bombeo de agua, refrigeración de vacunas y ayudas de navegación. Estas son aplicaciones en las que pequeñas cantidades de electricidad tienen un alto valor, lo que hace que el PV sea comercialmente competitivo con otras fuentes de generación como electrógeno Diesel [20].

Los sistemas generación híbridos combinan la tecnología fotovoltaica con otros tipos de fuentes, generalmente con generador convencional de Diesel o incluso con otras energías renovables como la eólica (véase ilustración 21). Dichos sistemas híbridos reducen significativamente el consumo de combustible, así reducir los costos operativos y ofrecen una energía de mejor calidad en comparación con los sistemas tradicionales de única fuente. La combinación de tecnologías ofrece nuevas posibilidades. Los sistemas microhíbridos para uso como fuente de energía confiable y rentable para estaciones de telecomunicaciones continúan desarrollándose y expandiéndose. El desarrollo de pequeños sistemas de generación híbrida distribuida para la electrificación rural sirve para cubrir las necesidades de las comunidades remotas. Los híbridos a gran escala se implementan para grandes ciudades alimentadas por generadores diésel, como, por ejemplo, en África, central híbrida para alimentar ciudades alejadas de la red con basado de paneles fotovoltaica a gran escala y baterías para almacenamientos [20].

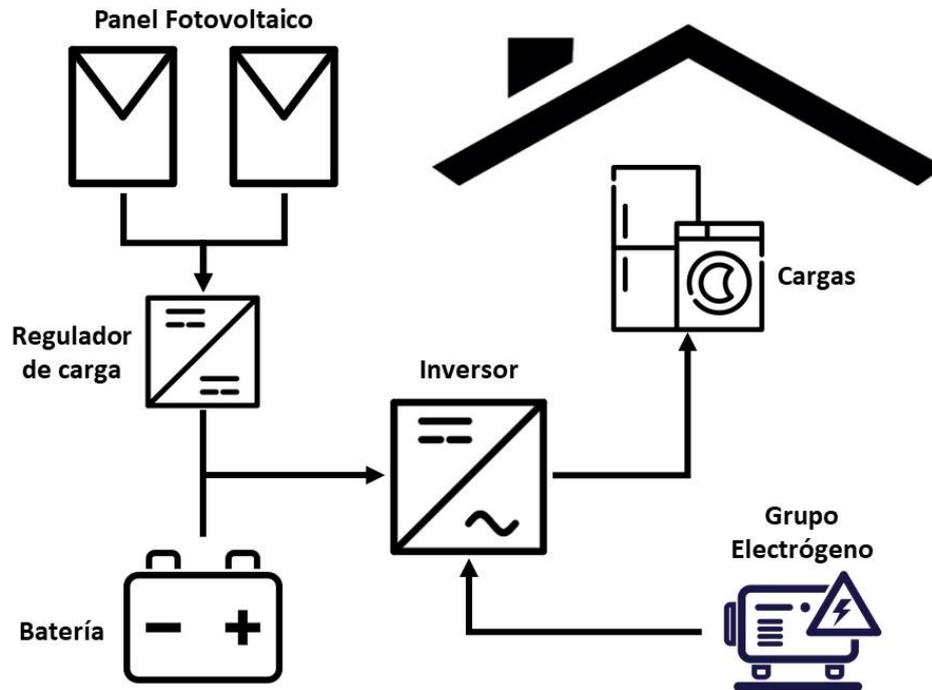


Ilustración 21. Sistema híbrido. Elaboración propia.

Los sistemas conectados a la red se instalan para proporcionar energía a un cliente conectado a la red. Dichos sistemas pueden estar o integrarse en las instalaciones del cliente del lado de la demanda del medidor, en edificios residenciales, comerciales, industriales, etc. En los edificios, tenemos que distinguir entre los sistemas BaPv (building-applied photovoltaics) y BIPv (Building Integrated Photovoltaics). BaPv se refiere a los sistemas Pv instalados en un edificio existente, mientras que BIPv impone reemplazar de los materiales de construcción convencionales por módulos fotovoltaicos [20].

Los sistemas centralizados se refieren a instalaciones de plantas solares a gran escala desde cientos a miles de megavatios, generalmente están ubicado en zonas lejanos de las ciudades, son grandes granjas de generación de energía solar que ocupa un gran espacio terrestre, y produce una cantidad de energía relevante, Estos sistemas suelen estar montados en el suelo y se requieren subestaciones eléctricas y línea de evacuación para inyectar la energía producida a la red eléctrica [20].

Los sistemas fotovoltaico-flotantes se están desarrollando rápidamente, muchas veces aprovechan la superficie de las presas de agua para implementar este sistema. Por otro lado, en el área agrícola también se está desarrollando rápidamente buscando combinar cultivos y producción de energía en el mismo sitio.

8.4. Perspectiva Técnica

Un sistema fotovoltaico es un conjunto de dispositivos que aprovecha la energía de la luz solar y lo convierte en energía eléctrica. Conectando uno o varios módulos fotovoltaicos a una red eléctrica (Grid-connected) o a unas series de cargas fuera de la red (Off-Grid), a través de varios dispositivos electrónicos destinados a adaptar la salida del módulo fotovoltaico a los estándares de la red eléctrica o las de las cargas.

8.4.1. Sistemas fotovoltaicos conectado a red (On-Grid)

La energía solar conectada a la red significa que la instalación solar está conectada directamente a la red eléctrica. El hogar puede usar la electricidad de la instalación solar para operar sus cargas, en casos que no sea suficiente, cualquier demanda adicional extraerá la energía de la red eléctrica. Si no se consume toda la electricidad del sistema solar, el exceso se inyecta a la red [21].

En los sistemas conectados a la red, utilizan inversor para convertir la electricidad de corriente continua (DC) producida por los módulos fotovoltaicos a corriente alterna (AC) para alimentar las cargas domésticas o inyecta a la red eléctrica (véase ilustración 22). La eficiencia de conversión para esta tecnología está en el rango de 95% a 99%. La mayoría de los inversores incorporan un rastreador de punto de máxima potencia (MPPT), que ajusta continuamente la impedancia de carga para proporcionar la máxima potencia de los módulos fotovoltaicos [20].

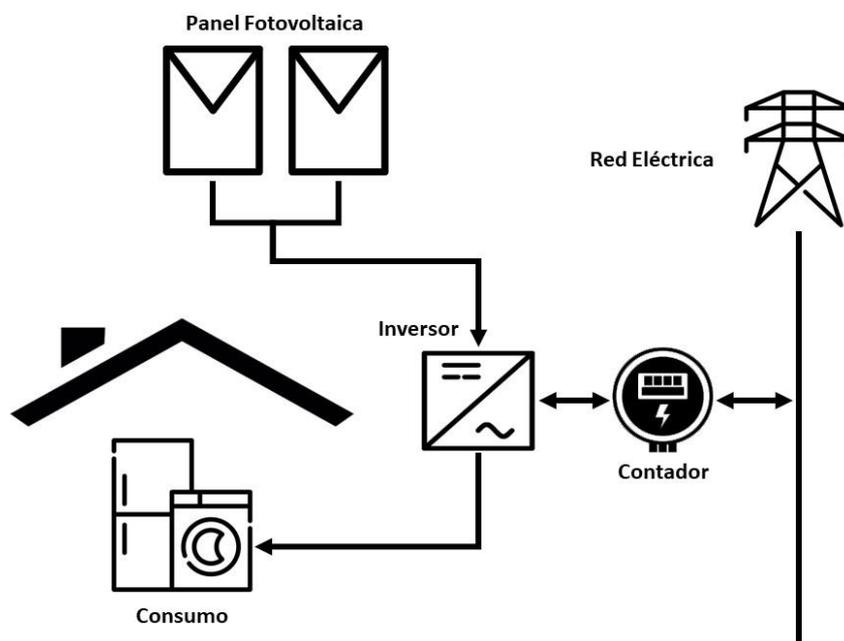


Ilustración 22. Sistema conectado a la red.

8.4.2. Sistemas fotovoltaicos fuera de la red (Off-Grid)

Los sistemas fuera de la red son implementados en las zonas donde no hay acceso a la red eléctrica, o que están muy alejadas de la red eléctrica y la conexión es muy costosa, también en algunas zonas donde la electricidad tiene un costo excesivamente alto (islas con una pequeña red eléctrica de combustible Diesel), en estos casos, la instalación de un sistema solar fotovoltaico aislado con almacenamiento de batería puede proporcionar una energía más confiable y viable económicamente [21].

Un sistema aislado consta de un módulo fotovoltaico, una batería como dispositivo de almacenamiento, un regulador de carga, para cargar las baterías y un convertidor CC / CA (Inversor) para las cargas en corriente alterna (véase ilustración 23). Los sistemas solares fotovoltaicos independientes se han generalizado tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo [22].

Al depender de recurso solar, los sistemas aislados requieren una batería de almacenamiento para proporcionar energía durante los períodos de poca luz. Las mayorías de las baterías utilizadas para los sistemas fotovoltaicos son del plomo-ácido de descarga profunda. La vida útil de una batería varía, ciclo de carga y las condiciones de funcionamiento, pero generalmente están entre 5 a 10 años, es importante administrar el uso de la batería porque las condiciones de funcionamiento y la protección de carga y descarga tienen una gran influencia en la vida útil de la batería [20].

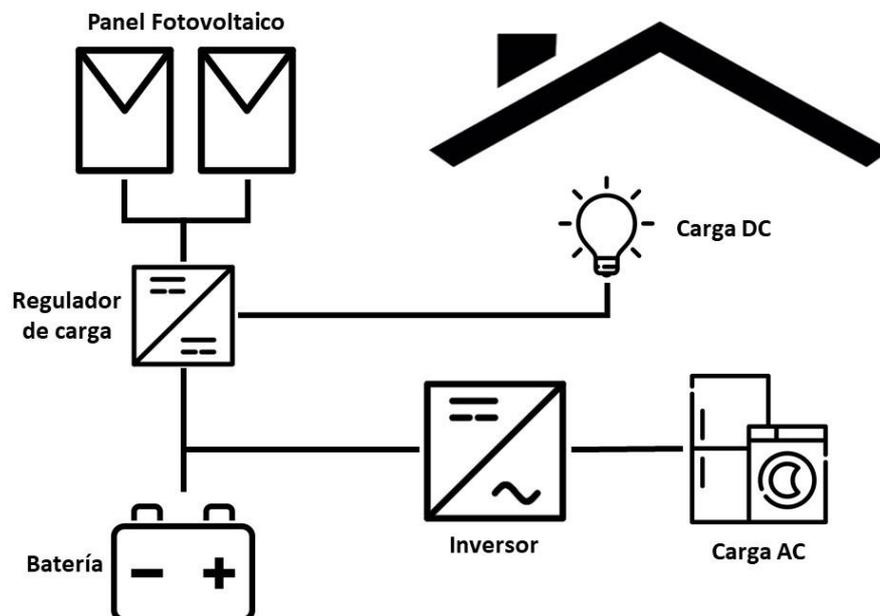


Ilustración 23. Sistema aislado. Elaboración propia.

8.5. Componentes de Un Sistema Fotovoltaico

8.5.1. Panel fotovoltaico

El panel fotovoltaico es el principal elemento de un sistema solar fotovoltaico, está hecho de un material semiconductor que convierte la luz solar directamente en electricidad. Existen varias tecnologías fotovoltaicas desarrolladas, algunas ya se comercializan y otras aún permanecen a nivel de investigación [23].

El mercado actual está dominado por la tecnología de silicio cristalino (c-Si) ya sea monocristalino o policristalino, puede alcanzar a una eficiencia de 26.1%. Por otro lado, también existe otra tecnología como célula de lámina fina (a-Si, CdTe, CdS), células orgánicas. Otra tecnología muy estudiada es la célula de perovskita, en tan solo 10 años alcanzó una eficiencia de 28%, sin embargo, la tecnología de silicio cristalino tardó más de 40 años para alcanzar los que es hoy en día (véase ilustración 24) [24].

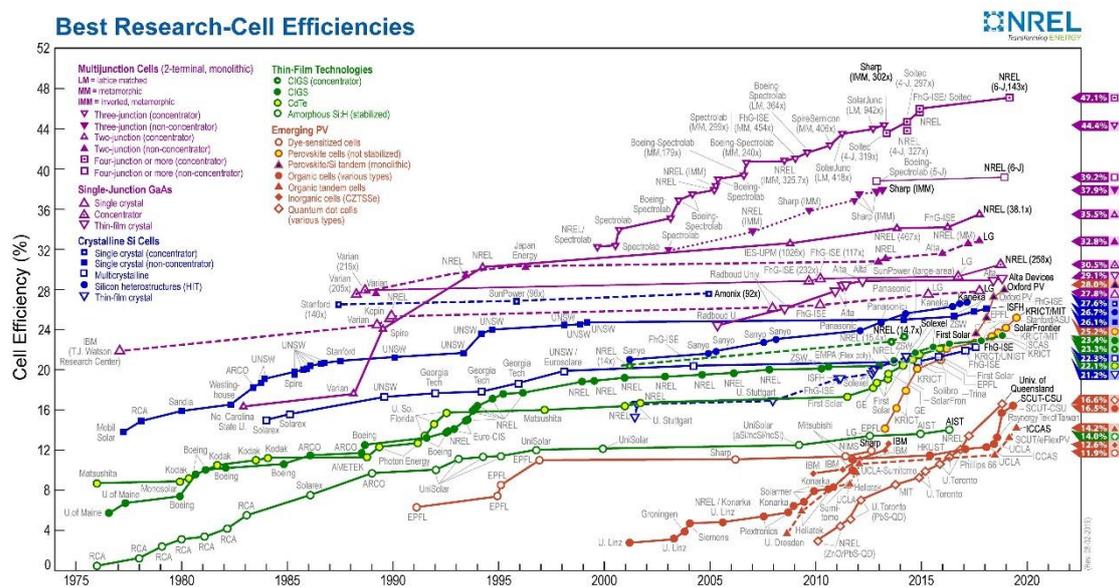


Ilustración 24. Eficiencia de célula por materiales. Fuente NREL.

8.5.2. Inversor

Los paneles solares producen corriente y voltaje en continua (DC). Los sistemas de almacenamiento de energía como las baterías también trabajan en corriente continua. Pero, la mayoría de las cargas domésticas están diseñadas para funcionar con corriente alterna (AC). Por lo tanto, se han desarrollado numerosos tipos de inversores especialmente diseñados para diferentes usos. La potencia de los inversores comerciales varía en el rango de decenas de vatios a megavatios [25].

Para un sistema "On-Grid", el objetivo del inversor es inyectar una corriente sinusoidal a la red eléctrica pública ya existente. La amplitud de la corriente es proporcional a la potencia de CC en el momento de los paneles; por lo tanto, el inversor tiene la característica de una fuente de corriente eléctrica [25].

En una aplicación “*Off-Grid*”, el inversor mismo debe producir un voltaje de salida que sea estable tanto en amplitud como en frecuencia para las cargas domésticas; en este caso, el inversor actúa como una fuente de voltaje [25].

Los inversores para bombas de agua producen un voltaje de salida que varía tanto en frecuencia como en amplitud según las características de la bomba y la potencia real proporcionada por el generador solar [25].

8.5.3. Reguladores de Carga

Un regulador de carga solar se coloca entre los paneles fotovoltaicos y las baterías, básicamente se encarga de controlar el flujo de energía que circula entre ambos componentes y permiten obtener la máxima potencia de los paneles solares haciéndolos trabajar siempre en el punto de máxima potencia (MPPT), no todos los reguladores de carga tienen esta capacidad. Por otro lado, tiene la capacidad de desconexión para evitar la carga y descarga excesiva de las baterías, así proteger y alargar su vida útil [25].

8.5.4. Batería

El almacenamiento de energía se considera esencial en casi todas las aplicaciones *Off-Grid*, se debe compensar los períodos con demanda de carga y sin suficiente irradiación solar, como en la noche o clima nublado. Por lo general, esto significa almacenar electricidad generada por el sol en una batería, cada vez se encuentra más variedad de baterías en el mercado (Pb-Sb, Li-ion, NiMH, NiCd, Zn-air y otros). Las mayorías de las aplicaciones solares utilizan batería de descarga profunda de plomo-ácido, que cuenta con placas de plomo más gruesas para una mayor vida útil. [14] Normalmente la capacidad de la batería se dimensiona de tal manera que el uso rutinario no se descargue más de un 50%, Las baterías diseñadas, dimensionadas y mantenidas adecuadamente pueden alcanzar una vida útil de 10 años o más [25].

9. LA REPÚBLICA DOMINICANA

La República Dominicana es un país situado en el mar caribe, compartiendo la isla La Española con Haití, el territorio dominicano ocupa el 74% de la parte oriental de la isla, y tiene una superficie total de 48.442 km² y una línea de costa de 1.288 km. Este país cuenta con 11.088.647 de habitantes y tiene una densidad de población de 228.91 habitantes por kilómetro cuadrado [26].

Tiene un clima predominante tropical cálido, la temperatura es bastante estable a lo largo del año, ronda entre 25 a 35 °C, las temperaturas más altas se alcanzan en veranos entre los meses de julio y agosto, mientras que de noviembre a enero disminuye un poco llegando a 18 °C, en regiones de gran altitud, y 24 °C en el resto del país [27].

Debido a su clima tropical cálido, las lluvias son abundantes, la época de precipitaciones coincide con el verano, generalmente se establece dos estaciones de lluvias, desde abril a junio, y septiembre a noviembre [27].

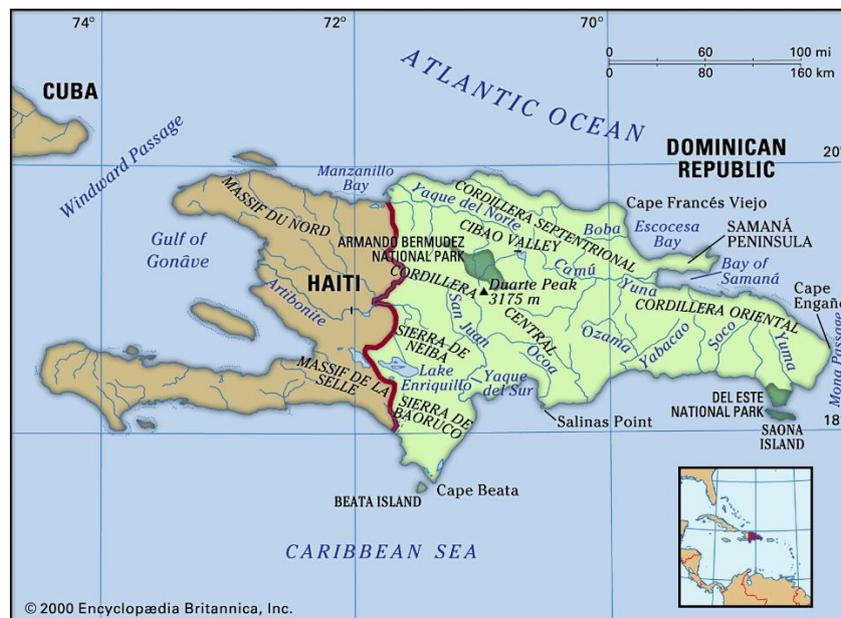


Ilustración 25. Mapa de la República Dominicana. Fuente: Enciclopedia Británica

9.1. Situación Energética Actual

La República Dominicana es una de las economías más importantes y diversificadas de la región del Caribe, y su consumo energético está creciendo de forma acelerada. La demanda nacional de electricidad ha experimentado un rápido crecimiento, aproximadamente un 45%, con respecto a la década anterior. La generación total de electricidad alcanzó los 19,65 TWh en 2018 a partir de una capacidad instalada de generación de alrededor de 5,2 GW (incluyendo la capacidad del Sistema Eléctrico Nacional Interconectado (SENI), la de los sistemas aislados y las de los auto productores). Pero el país está dependiendo en gran medida de las importaciones de combustibles fósiles, los cuales comprenden casi todo el suministro

energético primario hasta hoy en día [28]. Más del 70% de la capacidad instalada opera con combustibles fósiles tradicional, principalmente fueloil pesado el cual es especialmente contaminante (véase ilustración 26).

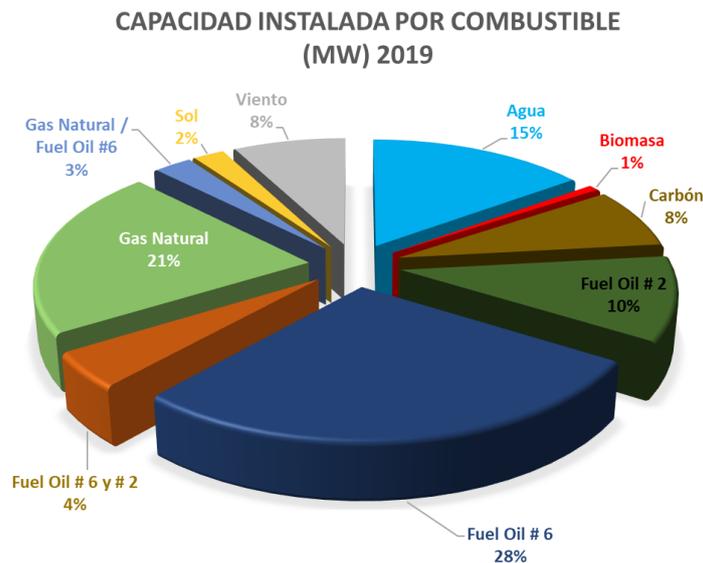


Ilustración 26. Capacidad Instalada por Combustible (MW), República Dominicana. Fuente: Superintendencia de Electricidad.

Antes del año 2000, el aceite combustible suministraba el 90% de la energía en el sistema, mientras que la hidroelectricidad constituía el resto. Han ocurrido avances sustanciales hacia la diversificación de generación puramente a base de aceite combustible. Hoy en día, las tecnologías principales son los generadores de ciclo combinado, esta tecnología ocupa el 42% de la capacidad total instalada, luego son los motores de combustión con un 17%, Hidroeléctrica 15%, Turbinas de vapor (9%), Eólica (8%), Turbina a gas (7%), y por último tecnología solar fotovoltaica contribuye a penas un 2% (véase ilustración 27) [3].



Ilustración 27. Capacidad Instalada por Combustible (MW), República Dominicana. Fuente: Superintendencia de Electricidad

9.2. Energías Renovables

Es lamentable ver que las tecnologías de energía renovable en la isla caribeña solo representan un 15% de la capacidad total de generación instalada [28]. Viendo solo una participación de energías renovables en el sector eléctrico a nivel nacional de un 14% (2,747 TWh) de la generación eléctrica total. Esto se conforma de un 9,06% de energía hidroeléctrica, 2,53% de energía eólica, 1,22% de bioenergía, y el resto corresponde a energía solar fotovoltaica (véase ilustración 28). La capacidad instalada y la generación a partir de energía renovable no están creciendo al mismo ritmo que la demanda de electricidad [3].

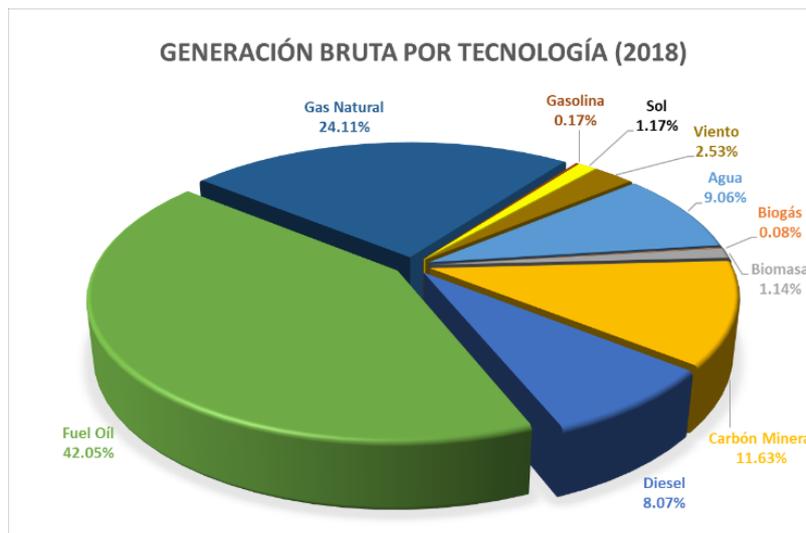


Ilustración 28. Generación bruta por tecnología (GWh).
Fuente: Sistema de Información Energética Nacional (SIEN)

9.2.1. Potencial de los Recursos de Energía Renovable

La República Dominicana tiene abundantes recursos de sol y viento. Las centrales mini hidroeléctricas también ofrecen algún potencial residual en ciertas partes del país. El potencial de la bioenergía se limita a algunas materias primas específicas, pero podría beneficiarse de la vasta experiencia en el cultivo de la caña de azúcar y de las tierras no cultivadas sin avocarse a un cambio en su uso o a la preocupación por los recursos forestales [28].

El potencial eólico es grande. Un análisis (zona por zona) del potencial del viento, muestra que alrededor de la mitad de 500 puntos evaluados de la red, tienen un factor de capacidad de al menos 20%. Además, 120 y 78 puntos tienen factores de capacidad de al menos 25% y 30% respectivamente [28].

Mucho del gran potencial hidroeléctrico del país ya ha sido utilizado. Existe potencial para usar esta capacidad más eficientemente, incrementando de ese modo los factores de capacidad de las plantas que hoy están limitadas por las regulaciones de despacho, para priorizar el uso del agua para beber y para la agricultura. En comparación, hay un potencial de la capacidad de generación, para plantas

hidroeléctricas más pequeñas llegando a decenas o centenas de kilovatios especialmente en las áreas del norte del país [28].

El potencial solar es particularmente grande, con niveles irradiación horizontal global de 5-7 kWh/m²/día en la mayor parte del país (véase ilustración 29). La irradiación es constante durante todo el año, ofreciendo una ventaja particular (con la diferencia máxima de irradiación, llegando a 3 kWh/m²/día entre diciembre y julio). Los niveles de irradiación en las dos ciudades más grandes del país, Santo Domingo en el sur y Santiago de los Caballeros (centro-norte) promedia más de 5 kWh/m²/día durante todo el año. Esto proporciona condiciones favorables para sistemas solares fotovoltaicos en las azoteas. Asimismo, muchas de las zonas turísticas tienen al menos el mismo nivel de disponibilidad de recursos para los sistemas similares en la azotea y/o aislados para reemplazar parcial o totalmente los sistemas basados en diésel [28].

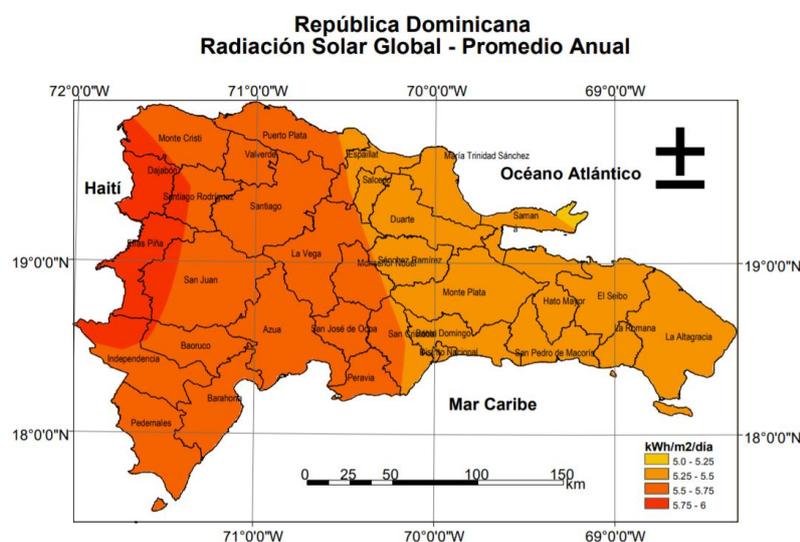


Ilustración 29. Mapa de recurso solar promedio anual. Fuente: CNE

9.2.2. Posibilidad de la energía solar

En el histórico energético del país las proyecciones indican que un crecimiento de la demanda de electricidad será cubierto cada vez más, por capacidad de generación basada en productos derivados del petróleo, carbón y gas natural. Sin embargo, la hoja de ruta global de energía renovable de IRENA (REmap) muestra que una parte de esta nueva demanda puede definitivamente ser satisfecha por energía hidroeléctrica, eólica en tierra, solar fotovoltaica y bioenergía. En el caso de productos derivados del petróleo cierta capacidad de generación existente que sería dada de baja en 2030, podría sustituirse también con las energías renovables. La generación de carbón es la capacidad adicional más alta de energía, observada en la tendencia histórica, se estima que crecerá cuatro veces mayor a la actual. Pero el potencial de las energías renovables identificado en REmap sustituye casi la mitad de esta capacidad adicional con pequeñas hidroeléctricas, instalaciones solares fotovoltaicas y generación de energía de gas de vertedero. Aún más, se sustituye toda capacidad de nueva generación basada en petróleo con eólico en tierra en tierra y energía solar fotovoltaica [28].

Instalaciones solares fotovoltaicas: Hay una adición de 871 MW de las instalaciones de energía solar fotovoltaica. Como se muestra en la ilustración 26, se supone que estarán situadas cerca de los principales centros de la demanda, es decir, en las provincias de Santiago y Santo Domingo. Se predice por el REmap que se agregara 665 MW de generación distribuida, que comprende instalaciones en la red para uso residencial y comercial (véase ilustración 30). Estas se pueden dividir en azotea y sistemas montados en tierra y la generación resultante cubriría alrededor del 25% de la demanda de electricidad en edificios. Suponiendo que todo esto sea para los sistemas de azotea, 3.7 millones de m² de áreas de azotea se requieren para instalaciones residenciales. Esto representaría alrededor del 2% del área doméstica, disponible en la azotea. Así mismo, se utilizarían aproximadamente 1.9 millones de m² para instalaciones comerciales, que representan alrededor de 7% del área disponible de azoteas para este tipo de edificios [28].

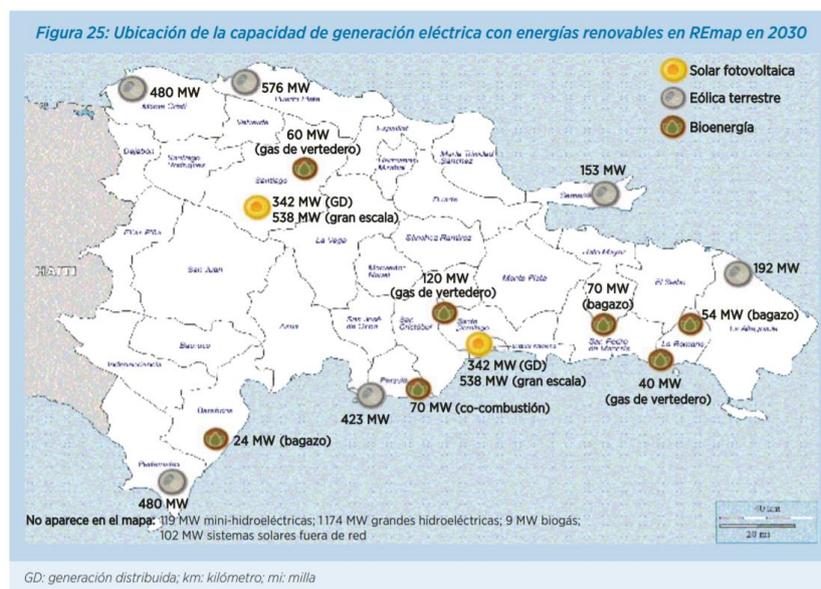


Ilustración 30. Fuente: IRENA, CNE

Se supone que alguna de la capacidad solar fotovoltaica descentralizada, estará integrada con almacenamiento eléctrico por baterías. La capacidad correspondiente de almacenaje para éstas en REmap es de 440 MWh, y el 17% de las instalaciones fotovoltaicas descentralizadas está construido. Se trata de un promedio de almacenamiento de energía de 4 kWh/kW [28].

Energía Solar fotovoltaica para la electrificación rural fuera de la red: El acceso a la electricidad se ve reforzado por la adición de sistemas aislados de energía solar fotovoltaica para la electrificación rural. En los países en desarrollo, el sistema solar fotovoltaico con almacenamiento se está haciendo cada vez más común para proporcionar electricidad a las regiones rurales que carecen de acceso a las redes de transmisión o de distribución. Esto incluye instalaciones de solar fotovoltaica residenciales y públicas aisladas con baterías eléctricas (equivalentes a 400 MWh de almacenamiento de energía) lo cual aumentaría la tasa de electrificación de República Dominicana para zonas rurales remotas [28].

La tasa de electrificación se sitúa en alrededor del 96%. Según la CNE (2014a), esto llegará a 98% en 2030 bajo el supuesto de que los programas de acceso a energía tengan una mayor cobertura en los próximos años. Identifica un potencial de solar fotovoltaica de 102 MW para electrificación doméstica, asumiendo que se alcance el acceso universal a la electricidad en el año 2030, es decir unas 70 000 instalaciones de 1.3 kV pico [28].

9.3. Pobreza Energética

La Pobreza Energética se puede definir como aquella condición en la cual un hogar no cuenta con los equipamientos suficientes para lograr satisfacer sus requerimientos básicos de energía que aseguren cierto nivel de calidad de vida [29].

En la medida en que las economías en vía de desarrollo continúen con el ritmo de crecimiento exhibido en las últimas décadas, se espera que se produzca una mejora en la calidad de vida de su población. Dicha mejora implica la necesidad de un mayor consumo de energía para satisfacer sus requerimientos energéticos [29].

Hoy en día los hogares necesitan cada vez mayor acceso a fuentes modernas de energía para satisfacer sus requerimientos energéticos como son cocción, refrigeración de alimentos, diversión y comunicación y lavado de ropas y prendas. Estos usos son mayormente cautivos de la energía eléctrica por lo que para satisfacerlos, es necesario realizar un pago por el consumo de electricidad para ponerlos en funcionamiento [29].

El problema energético siempre ha sido un problema para la República Dominicana, según el informe “Análisis de la Pobreza Energética República Dominicana” elaborado por la Comisión Nacional de Energía en el 2014, todavía hay altos porcentaje de zonas sin acceso a la energía eléctrica y combustibles modernos para la cocina (Véase tabla 1).

Provincia	No Electrificados	Cocción Combustibles No Modernos	Provincia	No Electrificados	Cocción Combustibles No Modernos
Azua	8.07%	26.86%	Monseñor Nouel	1.89%	10.04%
Baoruco	12.43%	35.57%	Monte Cristi	16.05%	23.83%
Barahona	8.92%	28.14%	Monte Plata	9.78%	32.07%
Dajabón	15.34%	22.96%	Pedernales	32.44%	42.66%
Distrito Nacional	0.31%	0.97%	Peravia	2.17%	15.05%
Duarte	4.19%	15.07%	Puerto Plata	5.49%	16.32%
El Seibo	27.62%	37.30%	Samaná	23.69%	15.42%
Elías Piña	30.20%	59.50%	San Cristóbal	2.14%	13.58%
Espailat	3.21%	11.62%	San José de Ocoa	16.51%	32.38%
Hato Mayor	10.82%	24.43%	San Juan	10.63%	34.59%
Hermanas Mirabal	5.08%	22.72%	San Pedro de Macorís	3.27%	11.56%
Independencia	11.34%	34.97%	Sánchez Ramírez	4.14%	18.08%
La Altagracia	8.96%	9.62%	Santiago	1.48%	7.04%
La Romana	5.46%	6.82%	Santiago Rodríguez	20.19%	24.65%
La Vega	3.41%	10.53%	Santo Domingo	0.77%	3.16%
María Trinidad Sánchez	4.40%	14.32%	Valverde	8.42%	17.40%

Tabla 1. Porcentaje de hogares sin acceso a las energías modernas.

Fuente: Elaboración con base estadísticas del IX Censo de Población y Vivienda de República Dominicana (2010), ONE

Existe una correlación fuerte (0,7824) entre hogares no electrificados y aquellos que cocinan con combustibles no modernos (leña, carbón y otros combustibles). Por lo que ambas son condiciones que podrían estar relacionadas a situaciones o circunstancias muy parecidas y que reflejan la condición de pobreza energética en los hogares que no tienen acceso a servicios modernos de energía [29].

Para el nivel de electrificación, se evidencia que dos provincias de la zona fronteriza son las provincias con menor nivel de cobertura: Pedernales (32,44%) y Elías Piña (30,20%), junto con El Seibo (27,62%), Samaná (23,69%) y Santiago Rodríguez (20,19%) (véase tabla 1) [29].

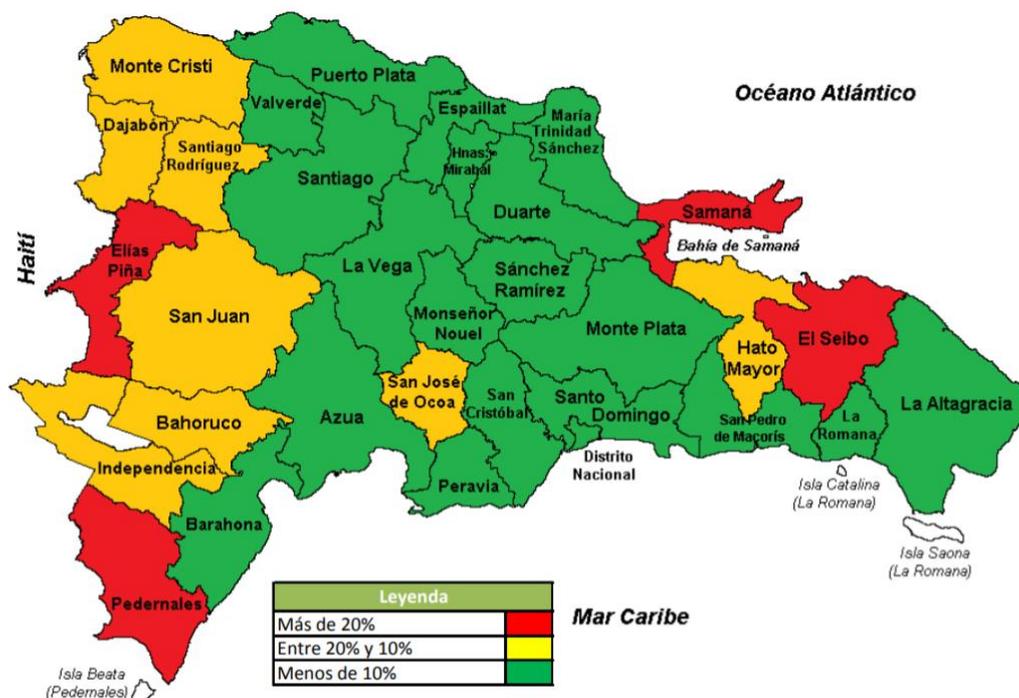


Ilustración 31. Porcentaje de hogares no electrificados por provincia.

Fuente: Elaboración con bases estadísticas del IX Censo de Población y Vivienda de República Dominicana (2010), ONE

Utilizaremos un índice para determinar el porcentaje de hogares que no cuenta con los equipamientos básicos para la satisfacción de las Necesidades Básicas de Energía. en términos generales el 43,8% de los hogares a nivel nacional se encuentra en estado de Pobreza Energética, es decir, un total de 1.170.062 hogares. El Distrito Nacional es la demarcación con menor índice: 28,3% en contraste con provincias como Elías Piña, Pedernales, El Seibo las cuales tienen un índice superior o muy cercano al 70%. En la tabla 2 se muestran los resultados desagregados por provincia según zona de residencia y grupo socioeconómico calculado [29].

Provincia	Zona Residencia		Grupo Socioeconómico Calculado					Total
	Rural	Urbana	Muy bajo	Bajo	Medio bajo	Medio	Medio alto-Alto	
Azua	81%	58%	100%	100%	33%	10%	3%	64%
Baoruco	85%	57%	100%	100%	30%	9%	2%	65%
Barahona	85%	56%	100%	100%	37%	13%	3%	61%
Dajabón	67%	46%	100%	100%	35%	9%	2%	54%
Distrito Nacional	0%	28%	100%	100%	48%	17%	4%	28%
Duarte	58%	41%	100%	100%	33%	15%	4%	47%
El Seibo	84%	52%	100%	100%	35%	12%	3%	68%
Elías Piña	91%	68%	100%	100%	39%	13%	5%	79%
Españillat	50%	34%	100%	100%	35%	9%	2%	43%
Hato Mayor	81%	45%	100%	100%	24%	9%	3%	55%
Hermanas Mirabal	51%	29%	100%	100%	26%	10%	2%	44%
Independencia	85%	58%	100%	100%	30%	10%	5%	64%
La Altagracia	70%	49%	100%	100%	31%	11%	3%	53%
La Romana	79%	44%	100%	100%	37%	13%	3%	46%
La Vega	51%	37%	100%	100%	33%	10%	2%	45%
María Trinidad Sánchez	57%	40%	100%	100%	30%	11%	3%	48%
Monseñor Nouel	53%	34%	100%	100%	45%	10%	3%	40%
Monte Cristi	69%	51%	100%	100%	28%	11%	3%	60%
Monte Plata	73%	54%	100%	100%	27%	9%	3%	64%
Pedernales	92%	63%	100%	100%	32%	9%	4%	72%
Peravia	56%	43%	100%	100%	30%	11%	3%	47%
Puerto Plata	58%	40%	100%	100%	44%	13%	4%	48%
Samaná	61%	46%	100%	100%	35%	12%	4%	54%
San Cristóbal	58%	40%	100%	100%	36%	12%	3%	49%
San José de Ocoa	84%	52%	100%	100%	45%	11%	3%	65%
San Juan	77%	49%	100%	100%	33%	10%	3%	61%
San Pedro de Macorís	76%	45%	100%	100%	34%	13%	3%	50%
Sánchez Ramírez	62%	38%	100%	100%	26%	9%	2%	48%
Santiago	44%	34%	100%	100%	58%	15%	4%	36%
Santiago Rodríguez	69%	30%	100%	100%	34%	8%	2%	50%
Santo Domingo	50%	34%	100%	100%	46%	15%	3%	36%
Valverde	65%	47%	100%	100%	29%	11%	3%	51%

Tabla 2. Cálculos de índice de pobreza energética del hogar por provincia según zona de residencia y grupo socioeconómico calculado.

Fuente: Elaboración con base estadísticas del IX Censo de Población y Vivienda de República Dominicana (2010), ONE.

En términos generales, la pobreza energética entre el mismo grupo socioeconómico es muy similar independientemente de la provincia o región, pero queda reflejada la marcada desigualdad que existe entre cada estrato a nivel nacional. Utilizando las informaciones obtenidas el IX Censo de Población y Vivienda de República Dominicana, los estratos muy bajo y bajo tienen un índice de pobreza energética de 100%, aquellos en medio bajo 39.9%, en las capas medias un 13.6% y un 3.4% en las medias altas y altas. Si enfocamos el análisis por zona de residencia, se evidencian amplios márgenes de diferencia entre los índices de pobreza energética, siendo para las zonas rurales un 60.1% mientras que para las zonas urbanas un 38.2% [29].

Merece la pena resaltar las grandes igualdades a nivel de los estratos, donde la varianza calculada para cada uno es muy pequeña, lo que da muestras de la poca dispersión respecto a la media de su estrato. Lo que refleja, además, las grandes

desigualdades sociales que existen en nuestro país, que condicionan la tenencia de equipamientos en los hogares para satisfacer sus necesidades básicas de energía [29].

9.4. Problema de Transmisión y Distribución

Según el informe “Iluminando el Futuro: Electricidad en Centroamérica y República Dominicana (CARD) en el 2040”, realizado en conjunto La Corporación Dominicana de Empresas Eléctricas Estatales (CDEEE) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), indica que la situación energética local es más un problema de transmisión y distribución que de generación [30].

Aproximadamente 17% del total de la electricidad producida en América Latina y el Caribe se pierde en la etapa de transmisión y distribución. Esta proporción es muy superior a la de los grupos de países de ingresos bajos (de 14% a 15%), países de ingresos medios (13%) y países de ingresos altos (de 6% a 9%). Es decir, en términos relativos, ALC tiene una de las ratios más altas de pérdidas de electricidad en el mundo. Incluso esta cifra es sin contar a Haití, país que sufre una pérdida mayor a 50%, al incluirlo la cifra sube a un 19% [31].

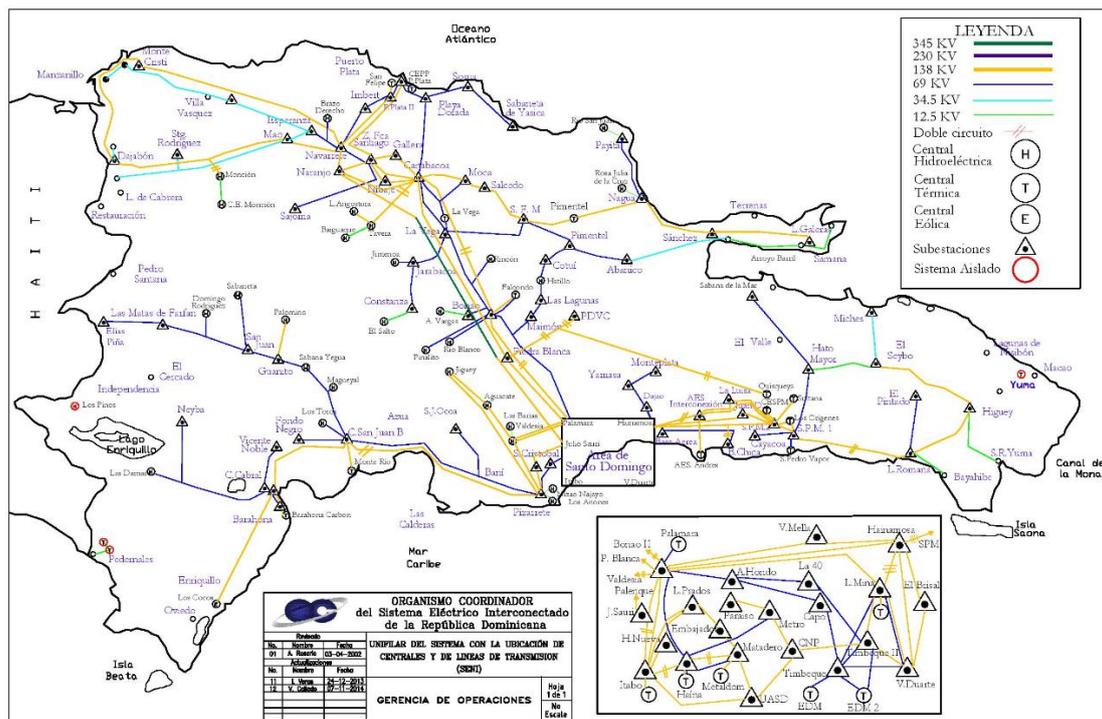


Ilustración 32. Esquemas de sistema eléctrica dominicana.

Fuente: Organismo Coordinador De Sistema Eléctrico Interconectado De La República Dominicana

Estas pérdidas incluyen tanto las técnicas como las no-técnicas, las pérdidas técnicas son el resultado natural del transporte de energía, y la no técnica son las pérdidas por fraudes [31].

Expertos en la industria eléctrica notaron que la mayoría de la capacidad instalada del país está plagada de ineficiencias y pérdidas en la distribución y transmisión, que evitan que el sistema satisfaga adecuadamente la demanda. La

transmisión de energía eléctrica en la República Dominicana se proporciona a través de la estatal Empresa de Transmisión Eléctrica Dominicana (ETED). El sistema de transmisión abarca 4,723.95 km de líneas de transmisión, con instalaciones de 345 kV, 138 kV y 69kV. La distribución está en manos de tres empresas estatales: Empresa Distribuidora de Electricidad del Sur S.A. (EDESur Dominicana), Empresa Distribuidora de Electricidad del Norte S.A. (EDENorte Dominicana) y la Empresa Distribuidora de Electricidad del Este S.A. (EDEEste) [32].

Las pérdidas de energía que registran las empresas distribuidoras representan un gran obstáculo para lograr la sostenibilidad. El promedio de 2007 a 2012 tiene un valor de 33% (3,02 TWh) de la generación total, representaba la mitad de su electricidad generada con petróleo. Este valor lo posiciona como el segundo país con más pérdida de electricidad en el América Latina y el Caribe después de Haití [31].

El sistema eléctrico actual está muy centralizado, sin embargo, el alto costo para tender nuevas líneas a pueblos retirados sin acceso a electricidad lo hace casi imposible; esto sumado a la baja eficiencia de las estas son los principales problemas para la electrificación rural del país. Por lo tanto, la tecnología descentralizada es una solución viable para este problema.

9.5. Cambio Climático

La República Dominicana es uno de los países del mundo más vulnerables al cambio climático de acuerdo al Global Climate Risk Index 2016 (Índice de Largo Plazo Riesgo Climático-CRI), se encuentra en el onceavo lugar y Haití, con la cual comparte la isla, se encuentra entre los tres países más afectados del mundo, colocando la isla como de las más afectadas a nivel global. Sin embargo, representa menos del 0.1% de las emisiones mundiales. Las emisiones per cápita están por debajo de la media de Latinoamérica y El Caribe (4.9 tCO₂e), la tendencia de las emisiones de algunos sectores económicos es importante, en especial, transporte, energía, manufactura y construcción, residuos y agropecuaria [33].

Las temperaturas mínimas y temperaturas máximas muestran un incremento en sus valores promedio anuales, donde existe un incremento tendencial generalizado de entre 2°C y 3°C en los valores promedio anuales de temperatura mínima y de 1°C a 3°C en la temperatura máxima, implicando condiciones cada vez más cálidas que evidencian un ciclo hidrológico más intensificado. Lo anterior, facilita la ocurrencia de eventos extremos de lluvia y con ello mayor propensión a inundaciones repentinas [33].

9.5.1. Emisión de gases invernadero

En el 2015 la emisión de gases invernadero y el CO₂ alcanzaron 22.8 millones de toneladas, de las que el 62% fueron resultantes de la quema de combustible fósiles para la generación de energía eléctrica. De allí que sea imprescindible avanzar en la reducción de la participación de las fuentes no renovables, en particular los hidrocarburos, en la producción de energía e incrementar las de fuentes renovable como la eólica y fotovoltaica [34].

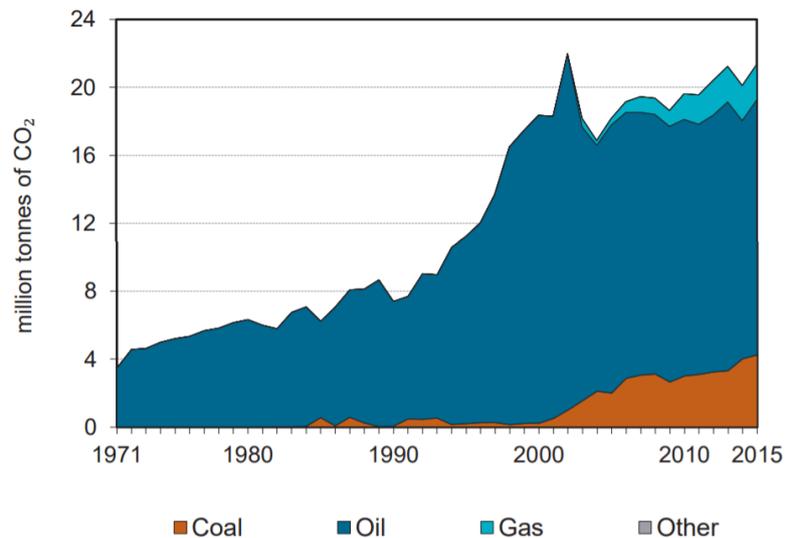


Ilustración 33. Emisiones de CO₂ por combustible, República Dominicana. Fuente IEA

En la tabla 3, podemos ver que las emisiones de CO₂ por kWh generada, ha ido disminuyendo año tras año, pero, aun así, República Dominicana sigue teniendo alta emisión de CO₂ comparando con otros países de Latinoamérica.

País	1990	1995	2000	2005	2010	2014	2015
Haití	412	330	349	310	472	783	911
Cuba	773	867	697	832	914	770	770
Curasao	724	715	716	698	696	688	689
Jamaica	765	897	832	577	659	615	644
República Dominicana	877	904	714	628	594	577	599
Trinidad y Tobago	712	714	689	764	703	620	584
México	552	547	591	538	502	464	460
Chile	452	261	342	320	415	413	438
Guatemala	75	299	397	396	286	306	426
Honduras	10	330	284	413	333	446	386
Argentina	400	341	341	310	363	384	384
Nicaragua	348	478	597	486	465	328	358
Ecuador	189	311	217	347	414	353	335
Panamá	172	320	233	277	369	352	313
Venezuela	282	185	190	209	246	243	282
El Salvador	68	395	328	306	222	264	265
Perú	186	188	156	211	292	253	244
Colombia	13	208	163	133	181	188	200
Brasil	57	57	90	85	87	160	157
Uruguay	43	54	57	104	80	43	51
Costa Rica	20	156	8	28	56	73	7

Tabla 3. Producción de CO₂ por cada kWh generada en América Latina.
Fuente: CO₂ emissions from fuel combustion, IEA

9.6. Planes frente al cambio climático

A pesar de que la República Dominicana aporta una contribución muy baja a las emisiones globales de GEI responsables del calentamiento global, el país, consciente de las repercusiones que el fenómeno tiene a diferente escala, ha empezado un camino orientado, por un lado, a la mitigación del cambio climático y, por el otro, al desarrollo de soluciones que permitan incrementar su adaptación al mismo y mejorar la resiliencia de sus sistemas sociales y ecológicos [35].

Específicamente sobre cambio climático, el país ha hecho importantes avances a partir de la preparación institucional que ha logrado. Elaboró tres Comunicaciones Nacionales ante el Secretariado de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC), el plan de desarrollo económico compatible con el cambio climático y las Contribuciones Previstas y Determinadas a Nivel Nacional (NDC) con metas concretas de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero para 2030 [34]. Ha venido progresando en la integración del cambio climático en su política, introduciéndolo como eje transversal en los diferentes aspectos de la sociedad, la economía y el medio ambiente. A partir de la Segunda Comunicación Nacional, la mitigación y adaptación al cambio climático se han insertado como elementos clave en el marco político dominicano, adquiriendo un rol significativo en la orientación de las políticas del país a todos los niveles. Sin embargo, todavía queda mucho camino por recorrer para llevar a cabo una integración real y efectiva de la temática del cambio climático en la política nacional [35].

La República Dominicana ratificó la Convención Marco de Naciones sobre el Cambio Climático (CMNUCC) en el año 1998 y el Protocolo de Kioto en 2002. Ha presentado su Primera Comunicación Nacional a la CMNUCC en el año 2003 y la Segunda Comunicación Nacional en el año 2009. Durante el 2016, presenta la "Tercera Comunicación Nacional para la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático" (TCNCC), y la actualización del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático PNACC 2015-2030 [33].

En el 2011, la República Dominicana suscribió y ratificó el Protocolo de Kyoto con el que los países asumieron nuevos compromisos de limitar y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, y otras medidas para fomentar la sostenibilidad ambiental. Además, en 2015 renovó su compromiso con políticas más trascendentes de reducción de dichos gases [34].

En el 2015 se elaboró la "Contribución Nacional Prevista y Determinada de la República Dominicana (INDC-RD) ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático", siendo de los primeros países en Latinoamérica en presentarlas. En términos de emisiones, la RD representa menos del 0.1% de las emisiones mundiales. Las emisiones per cápita están por debajo de la media de Latinoamérica y El Caribe (4.9 tCO₂e) [33]. El país se comprometió a reducir en un 25 % las emisiones proyectadas como escenario de línea base del 2010 al 2030, según lo establecido en el Plan DECCC y la END 2030. De esta manera, las emisiones per cápita pasarían de 3.6 toneladas de CO₂ equivalente por persona por año a 2.8 toneladas de CO₂ en el 2030. La misma END 2030 define un conjunto de líneas de acción para el

alcance de las metas establecidas, así como líneas guía para que la adaptación al cambio climático sea incorporada como eje transversal en la política del Estado dominicano, articulándose con los demás ejes, especialmente la sostenibilidad ambiental, la gestión de riesgos, la cohesión territorial y la equidad de género, con especial enfoque en la promoción de la capacidad humana e institucional del país[35].

En septiembre de 2015 mediante Decreto 269-15, se publicó la Política Nacional de Cambio Climático, la cual tiene como objetivo gestionar la variabilidad climática atribuida, directa o indirectamente, a la actividad humana y a los efectos que genera sobre la población y el territorio nacional, a través de una adecuada estrategia, programación, planes y proyectos en el ámbito nacional, de conformidad con lo establecido en la Convención [35].

La Política Nacional de Cambio Climático se articula con los instrumentos del Sistema Nacional de Planificación, con la Estrategia Nacional de Desarrollo 2030 y con el Plan Nacional Plurianual del Sector Público, a fin de propiciar un marco político e institucional favorable a un desarrollo bajo en emisiones de gases de efecto invernadero y resiliente al cambio climático [35].

Dentro del Decreto se establecen acciones de alto interés para el Estado dominicano y se establecen tres instituciones clave para llevar a cabo dicha política: el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, el Consejo Nacional de Cambio Climático y el Mecanismo de Desarrollo Limpio y el Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo [35].

Uno de los documentos clave en el tema de cambio climático es el Plan de Desarrollo Económico Compatible con el Cambio Climático (DECCC) del año 2011, en el cual la República Dominicana aspira a duplicar su Producto Interno Bruto para el 2030 y a la vez, en el mismo período de tiempo, reducir sus emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Para fines de implementar el Plan DECCC, la República Dominicana ha venido desarrollando Acciones Nacionalmente Apropriadas de Mitigación, así como Sistemas de Medición, Reporte y Verificación (MRV) en los sectores de cemento y residuos. En el 2017 se iniciará con el sistema de MRV Nacional y con el del sector forestal como parte del proyecto de REDD+ [35].

En el 2016 se promulgó el Decreto No. 23-16, que crea la Comisión Interinstitucional de Alto Nivel para el Desarrollo Sostenible, encargada de trazar la ruta para la implementación de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible e integrar los Objetivos de Desarrollo Sostenible en todos los instrumentos gubernamentales de planificación, en especial en la Estrategia Nacional de Desarrollo 2030. Dicho decreto es posteriormente modificado por el Decreto No. 26-17 para, entre otras cosas, ampliar su vigencia [35].

En adición se elaboró una Estrategia para Fortalecer los Recursos Humanos y las Habilidades para Avanzar hacia un Desarrollo Verde, con Bajas Emisiones y Resiliencia Climática. Dicha estrategia se encuentra directamente articulada con la Estrategia Nacional de Desarrollo 2030 y tiene como objetivo principal crear un marco

nacional de acción coordinada para fortalecer el aprendizaje relevante para un desarrollo verde, con bajas emisiones y resiliencia climática [35].

El 29 de marzo de 2017, el Congreso Nacional emitió la Resolución No.122-17, aprobando el Acuerdo de París, suscrito por la República Dominicana el 22 de abril de 2016 en Nueva York y adoptado en París el 12 de diciembre de 2015, en la vigésima primera reunión de la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático [35].

Entre los principales desafíos que el país debe enfrentar están: mejorar el cumplimiento de la ley; diseñar e implementar una adecuada planificación de uso del territorio y sus recursos; mejorar la financiación para acciones de mitigación y adaptación; aumentar los espacios de participación; mejorar la coherencia entre las instituciones gubernamentales encargadas del tema; fortalecer la difusión y el escalamiento de modelos exitosos de generación local de energía, entre otros [35].

10. MARCO LEGAL

En esta sección, presentaremos las leyes relacionado con las energías renovables:

- **Ley No. 57-07** sobre Incentivo al Desarrollo de Fuentes Renovables de Energía y de sus Regímenes Especiales.

Uno de los objetivos principales de la Ley No. 57-07 de Incentivo a las Energías Renovables y sus Regímenes Especiales, consiste en reducir la importación de combustibles fósiles, atenuando la dependencia de los mismos, a favor de la diversificación de las fuentes que permitan promover la independencia energética de República Dominicana.

Este propósito se lograría a través de la incorporación de alternativas nativas limpias para lograr la satisfacción de las necesidades del país de forma sostenible desde la óptica ambiental, social y económica [36].

- **Ley 64-00** Ley General sobre Medio Ambiente, esta Ley propende por la protección de los recursos naturales, la disminución de su vulnerabilidad, la reversión de las pérdidas recurrentes por uso inadecuado del medio ambiente y los recursos naturales. Así, se pretende alcanzar la máxima armonía posible en las interrelaciones de la sociedad con la naturaleza, tomando en cuenta [37]:

- La naturaleza y las características de los diferentes ecosistemas.
- El potencial de cada región en función de sus recursos naturales.
- El equilibrio indispensable entre las actividades humanas y sus condiciones ambientales.
- Los desequilibrios ecológicos existentes por causas humanas.
- El impacto ambiental de los nuevos asentamientos humanos, obras de infraestructura y actividades conexas.

- **Ley Orgánica No. 1-12** Estrategia Nacional de Desarrollo 2030 es resultado de un proceso de concertación de múltiples actores para definir qué país desean tener los dominicanos y las dominicanas para el año 2030. Aspira a la construcción de un país próspero, de una democracia participativa y a la justicia social. La Estrategia establece cuatro ejes estratégicos, con sus correspondientes objetivos y líneas de acción, los cuales definen el modelo de desarrollo al que aspira la República Dominicana y en torno a los cuales deberán articularse las políticas públicas [38].

Enfocado en:

- Derecho a la información pública
- Derecho a la participación
- Derecho a recurrir
- Cambio climático
- Enfoque de género y grupos vulnerables
- Educación ambiental

11. PROPUESTA

11.1. Selección de Emplazamiento

Nuestra propuesta es instalar un sistema solar fotovoltaico en Río Limpio, un distrito municipal del municipio Pedro Santana, en la provincia Elías Piña de la República Dominicana (véase ilustración 34), situado en la parte oeste del país, tiene frontera con Haití, y es la provincia con mayor índice de pobreza energética, el cual es de 79% [29].



Ilustración 34. Río Limpio, Elías Piña, República Dominicana. Fuente: Google Maps

Río Limpio está ubicado al norte de la provincia Elías Piña, a 44 kilómetros fuera de la capital, cuenta con aproximadamente 400 hogares en la zona (véase ilustración 35).

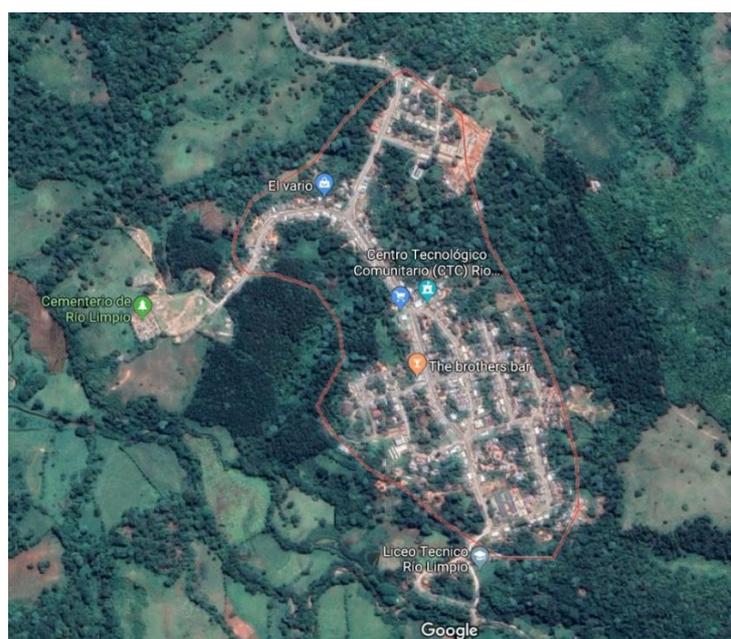


Ilustración 35. Río Limpio, Elías Piña, República Dominicana. Fuente: Google Maps

11.2. Cálculo de Demanda

Para la demanda eléctrica del sector, se estimó utilizando datos encontrados en el artículo “El Consumo Mínimo De Energía Eléctrica” realizado por el Fondo De Inclusión Social Energético. Este documento indica que el consumo promedio en un hogar de la zona rural es de alrededor de 30 kWh por mes e incluso muchos están por debajo de esta cifra. Utilizando el dato encontrado, procedimos a calcular la demanda eléctrica de la zona propuesta (Véase tabla 4)

Demanda Energética	
Hogares	400
Consumo por hogar (kWh/día)	1
Consumo por hogar (kWh/mes)	30
Demanda total (kWh/día)	400
Demanda total (kWh/mes)	12000

Tabla 4. Demanda energética del sector propuesta.

11.3. Irradiación y Temperatura de la Zona

Los valores de irradiación y temperatura han sido obtenidos en el Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) del EC-JRC, son valores fundamentales para diseñar una instalación fotovoltaica y poder calcular la generación de electricidad a partir del recurso disponible (irradiancia) y considerando las pérdidas debidas a la temperatura. La tabla 5 muestra los datos obtenido de PVGIS.

Month	Hh	Hopt	Temperatura
Jan	4340	5363	19,9
Feb	3948	4564	19,3
Mar	5735	6138	20
Apr	5700	5580	21,7
May	5735	5363	22,3
Jun	5640	5130	23,8
Jul	6138	5642	24,9
Aug	5704	5487	25,2
Sep	5190	5340	24,3
Oct	4836	5363	22,8
Nov	4020	4740	21,5
Dec	4061	5084	20,6

Tabla 5 Irradiación y temperatura de la zona propuesta.

Hh: Irradiación global horizontal (Wh/m²)

Hopt: Irradiación global con el ángulo óptimo (Wh/m²)

Temperatura media diaria (°C)

11.4. Selección de Equipos

Los equipos más importantes para la instalación del proyecto son los paneles fotovoltaicos y el inversor.

El panel seleccionado es el JKM330PP-72 de Jinko Solar (Véase ilustración 36, tabla 6) con 330Wp de potencia.



Ilustración 36. Panel fotovoltaico JKM330PP-72 de 310-330W de Jinko Solar. Fuente: Jinko Solar.

JKM330PP-72	
Potencia nominal (W)	330
V_{mpp} (VDC)	37,8
I_{mpp} (I)	8,74
V_{oc} (VDC)	46,9
I_{sc} (I)	9,14
Eficiencia	17.01%
Temperatura de funcionamiento (°C)	-40~+80
Tensión máxima (VDC)	1000
Tolerancia de potencia nominal (%)	0~3
Coefficiente de temperatura de P _{MAX} (%/°C)	0,4
Coefficiente de temperatura de V _{OC} (%/°C)	-0,3
Coefficiente de temperatura de I _{SC} (%/°C)	0,06
Temperatura operacional nominal (°C)	45
Tolerancia (%)	+/- 3

Tabla 6. Característica del módulo solar.

El inversor es la MGS100-40/27.6 de 40KW (véase ilustración 37, tabla 7) de la marca ABB, es un inversor solar híbrido de multifunción, con entrada de energía solar fotovoltaica que incluye el seguimiento del punto de máxima potencia incorporado (MPPT), entrada AC de la red eléctrica y generadores Diesel, y por último almacenamiento de batería.



Ilustración 37. Inversor MGS100-40/27.6 de 40KW (ABB). Fuente: ABB

<i>Inversor</i>	
Inversor elegido (marca y modelo):	MGS100-80/100
Potencia nominal (W):	40000
Voltaje limite (input) (V):	1000
Corriente limite (input) (A):	64
Voltaje limite (output AC) (V):	220
Corriente limite (output AC) (A):	58
Eficiencia (máxima):	98

Tabla 7. Característica del inversor.

11.5. Pérdidas

En el cálculo de producción de energía es necesario tomar en cuenta las pérdidas, existe pérdida desde la producción de energía en los paneles, la transformación en los inversores, hasta en los cables y los conectores.

La pérdida por temperatura es la que más afecta a los paneles solares, se puede determinar con los datos del proveedor y la temperatura media del lugar.

$$T_c = T_a + \frac{NOCT - 20}{800} G$$

$$R_T = 100 - K_t(T_c - 25)$$

T_c es la temperatura de panel.

T_a es la temperatura ambiental.

R_t es el rendimiento del panel.

K_t es constante de temperatura.

Aplicando la fórmula, se calculó las pérdidas por temperatura para cada mes del año (Véase tabla 8).

	Temperatura ambiente	Temperatura de la célula	Rendimiento por temperatura
	°C	°C	%
Ene	19,9	51,2	89,54
Feb	19,3	50,6	89,78
Mar	20,0	51,3	89,50
Abr	21,7	53,0	88,82
May	22,3	53,6	88,58
Jun	23,8	55,1	87,98
Jul	24,9	56,2	87,54
Ago	25,2	56,5	87,42
Sep	24,3	55,6	87,78
Oct	22,8	54,1	88,38
Nov	21,5	52,8	88,90
Dic	20,6	51,9	89,26

Tabla 8. Rendimiento del módulo por temperatura.

También hay que tomar en cuenta la eficiencia del inversor, pérdidas por dispersión, conectores y polvo. Debido a la abundante precipitación en la zona, estimamos que la pérdida de polvo tiene un valor muy bajo de 0.5%. La tecnología actual para el diseño de conectores es muy eficiente, por lo tanto, la pérdida por conector es casi imperceptible, está alrededor de 0.01% (véase tabla 9).

	RT	Rpol	Rdis	Rinv	Rcon	PR
Ene	89,54	99,5	97,5	98	99,99	85,12%
Feb	89,78	99,5	97,5	98	99,99	85,35%
Mar	89,5	99,5	97,5	98	99,99	84,65%
Abr	88,82	99,5	97,5	98	99,99	84,01%
May	88,58	99,5	97,5	98	99,99	83,78%
Jun	87,98	99,5	97,5	98	99,99	83,22%
Jul	87,54	99,5	97,5	98	99,99	82,80%
Ago	87,42	99,5	97,5	98	99,99	82,69%
Sep	87,78	99,5	97,5	98	99,99	83,03%
Oct	88,38	99,5	97,5	98	99,99	83,59%
Nov	88,9	99,5	97,5	98	99,99	84,51%
Dic	89,26	99,5	97,5	98	99,99	84,85%

Tabla 9. Rendimiento del sistema.

11.6. Cálculo de Módulos Necesarios

Para el cálculo de la cantidad de módulos que se van a instalar, es importante tomar en cuenta el mes con irradiación mínima, debemos de cubrir como mínimo la necesidad energética de este mes (diseño basado en la demanda). En este caso para la zona elegida, el mes con menor irradiación es febrero, con 4564 (Wh/m²).

Utilizando la siguiente formula podemos calcular cual es la potencia mínima que debemos de instalar:

$$Potencia_{minima} = \frac{Demanda}{Hora\ equivalente * Rendimiento} = \frac{Demanda}{\frac{G}{G_{STC}} * Rendimiento}$$

$$Potencia_{minima} = \frac{400kWh}{\frac{4564Wh}{\frac{m^2}{1000W}} * 85,35\%} = \frac{400kWh}{4.564h * 85,35\%} = 103kW$$

11.7. Dimensionamiento

Para satisfacer la demanda, usamos 3 inversores solares MGS100-40/27.6 de 40KW, con una potencia total de 120kW, cada inversor tiene una entrada PV máximo de 1000 VDC y una corriente de 64 A. Por lo tanto, la conexión serie paralela de los paneles están limitado a estos valores (Véase tabla 10).

	Modulo	Serie x Paralela	Voltaje de entrada (Vdc)	Corriente de entrada (A)
Inversor 1	126	21 x 6	984,9	54,84
Inversor 2	126	21 x 6	984,9	54,84
Inversor 3	126	21 x 6	984,9	54,84

Tabla 10. Dimensionamiento de los paneles e inversor.

Contamos en total con 378 paneles fotovoltaicos y una potencia pico total de 124,74 kWp.

La ventaja de usar tres inversores de 40 kW y no un solo inversor de 120kW, es cuando surgiere una falla, solo se detiene uno, los otros dos pueden seguir operando sin problema, de lo contrario, si utilizamos un solo, el día que ocurra una avería, el sistema completo dejará de funcionar. Al igual que el mantenimiento, no es necesario parar la producción completa para hacer el mantenimiento, se puede realizar por sección y no afectar en la totalidad el suministro de energía.

11.8. Distancia mínima entre paneles

Los paneles solares deben de mantener una distancia entre sí, para no general sombra una fila con la otra fila, por lo tanto, es necesario determinar la distancia mínima que debe de tener cada fila.

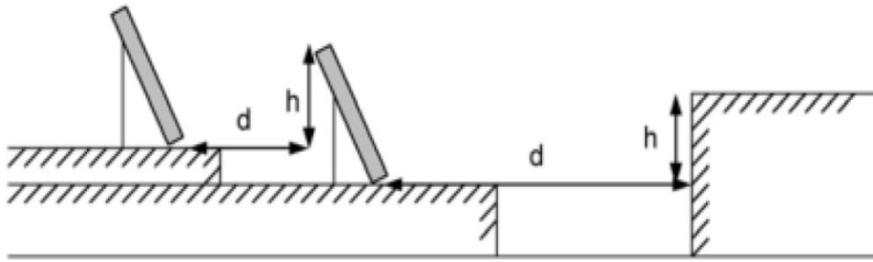


Ilustración 38. Esquema de separación entre panel.
Fuente: Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red

La distancia mínima del panel se determina mediante la fórmula $d = h * k$. y k se obtiene de la siguiente manera:

$$k = \frac{1}{\tan(61^\circ - \text{latitud})}$$

Utilizando la latitud de la zona 19,243488, procedimos a calcular el valor de k :

$$k = \frac{1}{\tan(61^\circ - 19,2434)}$$

$$k = \frac{1}{\tan(61^\circ - 19,2434)} = 1,299$$

Los paneles se instalan de forma horizontal, y cada fila lleva 3 paneles horizontal uno puesto encima del otro, con una inclinación de 20° y un azimut de 0° (véase ilustración 39). Los valores óptimos de la inclinación y el azimut se determinaron mediante programa PVGIS.

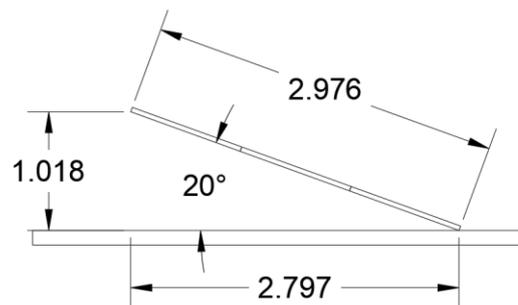


Ilustración 39. Vista lateral de paneles solares, elaboración propia.

H es la altura de los paneles, en este caso es 1,018.

$$d = h * k$$

$$d = 1.018 * 1.229 = 1.25 \text{ m}$$

La distancia mínima entre las filas es de 1,25 m, menor a este valor ya se generan sombra entre sí.

11.9. Emplazamiento

Debido a que es una zona rural, el espacio para la instalación no es un problema, ya que una central fotovoltaica, no produce ni ruido, ni humos contaminantes, por lo tanto, puede estar instalado cerca del pueblo.

La zona propuesta es la siguiente (Véase ilustración 40):

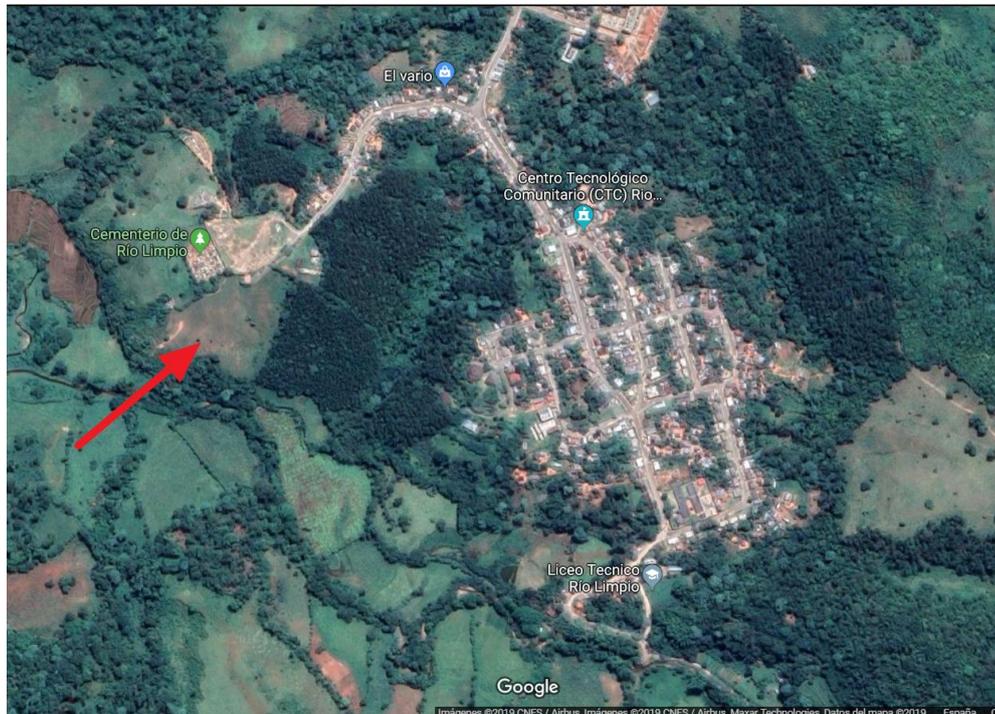


Ilustración 40. Emplazamiento de la instalación solar. Fuente Google Earth

Como habíamos mencionado antes, se instalarán 6 fila de 63 paneles como muestra en la figura, 2 filas completas para cada inversor (véase ilustración 41).

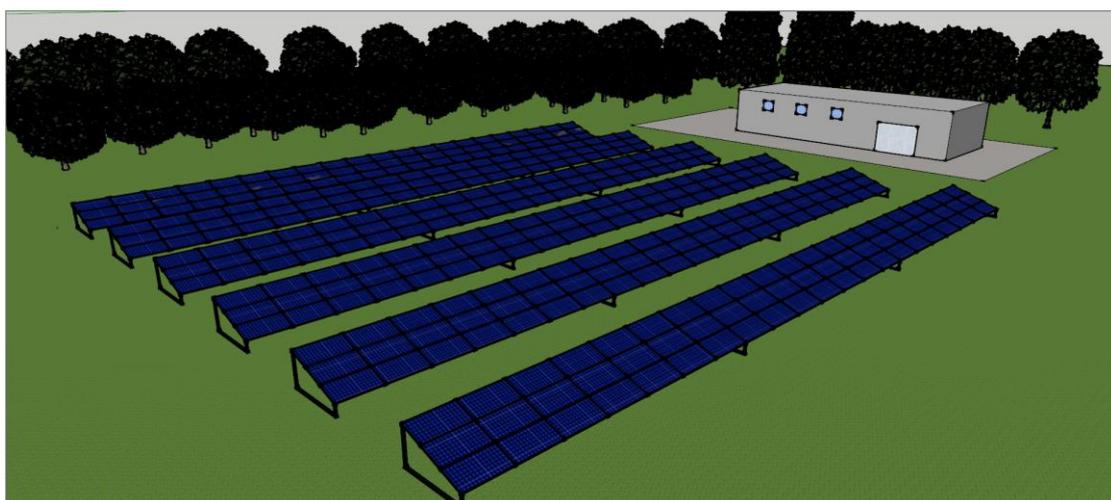


Ilustración 41. Esquema de instalación, elaboración propia.

11.10. Producción

Después de obtener la potencia total, ya podemos calcular la producción de energía de nuestra planta solar fotovoltaica, en el cálculo de producción, debemos de utilizar los valores de la irradiación, pérdida, potencia pico de los paneles (Véase tabla 11). Por otro lado, también calculamos la energía acumulado a lo largo de 25 año (véase tabla 12)

Mes	Irradiación (kWh/m ² /día)	Pérdida	Energía (kWh/día)	Energía (kWh/mes)
Ene	5,36	15,32%	566,51	17.561,83
Feb	4,56	15,09%	483,40	13.535,26
Mar	6,14	15,36%	648,09	20.090,69
Abr	5,58	16,00%	584,69	17.540,80
May	5,36	16,23%	560,44	17.373,54
Jun	5,13	16,79%	532,46	15.973,71
Jul	5,64	17,21%	582,67	18.062,78
Ago	5,49	17,32%	565,89	17.542,47
Sep	5,34	16,98%	552,99	16.589,81
Oct	5,36	16,41%	559,17	17.334,32
Nov	4,74	15,92%	497,12	14.913,67
Dic	5,08	15,58%	535,36	16.596,15
Total anual:			kWh/año	203.115,01

Tabla. 11. Producción diario y mensual.

Tenemos una producción media mensual de 555 kWh, esta energía cubre satisfactoriamente la demanda total de la zona, la producción adicional, se puede verter a la red eléctrica y obtener otros ingresos.

Año	kWh/año	kWh (acumulado a la fecha)
0	203115.0	203115.0
1	201490.1	404605.1
2	199878.2	604483.3
3	198279.1	802762.4
4	196692.9	999455.3
5	195119.4	1194574.7
6	193558.4	1388133.1
7	192009.9	1580143.0
8	190473.9	1770616.9
9	188950.1	1959567.0
10	187438.5	2147005.5
11	185939.0	2332944.4
12	184451.5	2517395.9
13	182975.8	2700371.7
14	181512.0	2881883.8
15	180059.9	3061943.7

16	178619.5	3240563.2
17	177190.5	3417753.7
18	175773.0	3593526.6
19	174366.8	3767893.4
20	172971.9	3940865.3
21	171588.1	4112453.4
22	170215.4	4282668.8
23	168853.7	4451522.4
24	167502.8	4619025.3
25	166162.8	4785188.1

Tabla 12. Energía acumulada a lo largo de 25 años.

11.11. Cálculo de Batería

Realizamos un breve cálculo para saber, en caso de que se quiera que la instalación sea totalmente aislada de la red, cuantas baterías se necesitan. Para determinar la carga de batería, usamos la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{\text{Demanda} * Fsb}{V_{batería} * (1 - Q_{min} - Q_{max})}$$

Q = Carga de batería.

Q_{min} = Profundidad de descarga.

Q_{max} = Carga Máxima.

Fsb = días a cubrir.

Para cubrir la demanda de 5 días en caso de que no haya energía solar, con una carga máxima de 90% y una profundidad de descarga de 20%, para un sistema de 48Vdc, procedimos a calcular la carga de la batería:

$$Q = \frac{400.000 \text{ Wh} * 5 \text{ (día)}}{48\text{Vdc} * (1 - 20\% - 10\%)}$$

$$Q = 59523.8Ah$$

Con una batería de 250Ah, se necesitaría:

$$\text{Cantidad de batería} = \frac{59523.8Ah}{250Ah} = 238 \text{ batería}$$

Un sistema solar con batería aumentaría mucho el presupuesto, por lo tanto, siempre se recomienda un sistema conectado a red cuando hay una línea de red existente.

12. IMPACTO AMBIENTAL

Aparte del suministro de energía a las zonas sin acceso a la electricidad, otro tema muy importante es la contaminación ambiental, tenemos que evaluar como nuestro proyecto influye al cambio climático y la emisión de gases invernadero.

Como se había mencionado anteriormente, el principal gas invernadero es el dióxido de carbono (CO₂), por lo tanto, queremos estimar que tanto CO₂ se puede evitar con nuestra instalación fotovoltaica. Para calcular este valor, primero debemos de determinar la cantidad de emisión de CO₂ por kilovatio de electricidad producida en el mix eléctrico de la República Dominicana.

En el informe “CO₂ Emissions from Fuel Combustion 2017” de IEA, podemos encontrar la cantidad de CO₂ generada por el mix eléctrico de la República Dominicana, en nuestro cálculo, utilizaremos el ultimo valor registrado del 2015, que corresponde a un 559 gCO₂/kWh (véase ilustración 42).

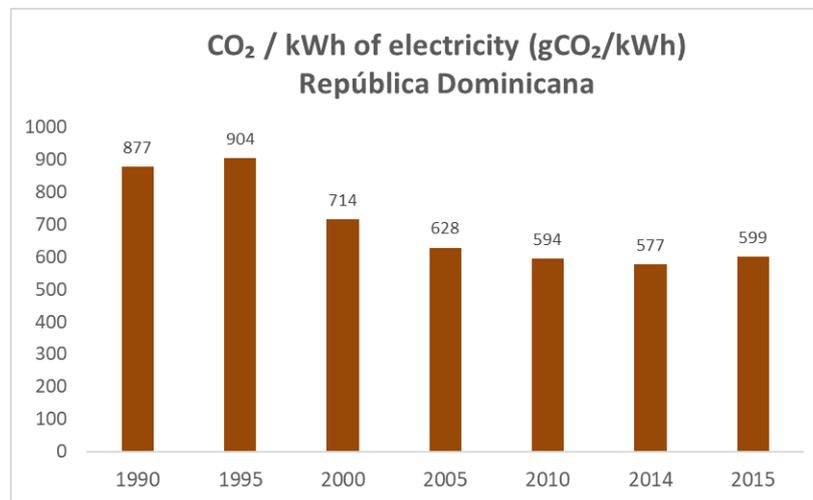


Ilustración 42. Cantidad de Co2 5 kilovatio de electricidad generada. Fuente IEA

Por otro lado, también estimamos las emisiones de Dióxido de azufre (SO₂) y el Óxidos de nitrógeno (NO_x), son gases liberados a la atmósfera por la quema combustibles fósiles. Estos gases químicos reaccionan con el agua, el oxígeno y otras sustancias para formar soluciones diluidas de ácido nítrico y sulfúrico. Los vientos propagan estas soluciones ácidas en la atmósfera a través de cientos de kilómetros. Cuando la lluvia ácida alcanza la Tierra, fluye a través de la superficie mezclada con el agua residual y entra en los acuíferos y suelos de cultivo [39].

En la lucha contra el cambio climático, uno de los mecanismos que en los últimos años ha demostrado ser más eficiente es la fijación del precio del carbono. Este concepto nace de la necesidad de tener en cuenta el daño ambiental, social y económico que se produce al emitir gases contaminantes, a lo que los economistas llaman “asumir una externalidad negativa” [40]. Históricamente este precio tiene una fuerte oscilación, el promedio del año 2019 es 24,84 €, mientras que en el 2014 es 5,96 y en el 2010 es 14,32 [41].

Año	Energía Generada (kWh)	g CO2eq	g SOx	g NOx	Ahorro por emisiones CO2eq (Euro)
0	203.115,01	121.665.890,84	74.340,09	53.013,02	3.022,18€
1	201.490,09	120.692.563,72	73.745,37	52.588,91	2.998,00€
2	199.878,17	119.727.023,21	73.155,41	52.168,20	2.974,02€
3	198.279,14	118.769.207,02	72.570,17	51.750,86	2.950,23€
4	196.692,91	117.819.053,36	71.989,61	51.336,85	2.926,63€
5	195.119,37	116.876.500,94	71.413,69	50.926,15	2.903,21€
6	193.558,41	115.941.488,93	70.842,38	50.518,75	2.879,99€
7	192.009,94	115.013.957,02	70.275,64	50.114,60	2.856,95€
8	190.473,87	114.093.845,36	69.713,43	49.713,68	2.834,09€
9	188.950,07	113.181.094,60	69.155,73	49.315,97	2.811,42€
10	187.438,47	112.275.645,84	68.602,48	48.921,44	2.788,93€
11	185.938,97	111.377.440,68	68.053,66	48.530,07	2.766,62€
12	184.451,45	110.486.421,15	67.509,23	48.141,83	2.744,48€
13	182.975,84	109.602.529,78	66.969,16	47.756,69	2.722,53€
14	181.512,04	108.725.709,54	66.433,41	47.374,64	2.700,75€
15	180.059,94	107.855.903,87	65.901,94	46.995,64	2.679,14€
16	178.619,46	106.993.056,64	65.374,72	46.619,68	2.657,71€
17	177.190,50	106.137.112,18	64.851,72	46.246,72	2.636,45€
18	175.772,98	105.288.015,29	64.332,91	45.876,75	2.615,35€
19	174.366,80	104.445.711,16	63.818,25	45.509,73	2.594,43€
20	172.971,86	103.610.145,47	63.307,70	45.145,66	2.573,68€
21	171.588,09	102.781.264,31	62.801,24	44.784,49	2.553,09€
22	170.215,38	101.959.014,20	62.298,83	44.426,21	2.532,66€
23	168.853,66	101.143.342,08	61.800,44	44.070,81	2.512,40€
24	167.502,83	100.334.195,35	61.306,04	43.718,24	2.492,30€
25	166.162,81	99.531.521,78	60.815,59	43.368,49	2.472,36€
Total	4.785.188,07	2.866.327.654,31	1.751.378,83	1.248.934,09	71.199,58€

Tabla 13. Emisiones De Gases CO2, SO2 Y NOx Por Kwh De Energía Eléctrica Generada.

Nuestra instalación, para el primer año, podemos evitar la emisión de 121.665,89 kg CO2 y conseguir un ahorro de 3.022 Euros, y a lo largo de 25 años podemos evitar un total de 2.866.327,65 kg CO2 y un ahorro total de 71.199 Euros (véase tabla 13). Aunque esto es un porcentaje muy pequeño comparado con la producción del país, pero si cada vez se aplica más de esta tecnología, poco a poco podemos ir reduciendo el consumo de combustibles tradicionales y acercarnos más hacia el objetivo de reducción de emisión CO2 para el 2030.

13. CÁLCULO ECONÓMICO

En esta sección se hará un análisis de rentabilidad de nuestra instalación solar micro-grid conectada a la red, se estimará el precio de inversión inicial, coste de explotación y por último, el ingreso por venta de energía.

13.1. Inversión Inicial

En la tabla 14 se mostrará los elementos considerados para la inversión inicial, y luego su método de estimación:

Precio	Precio	Cantidad	% de Estimación	Total
Panel Solar - JKM 330 PP	149	378	-	56.322,00 €
Inversor - MGS100-40/27.6	21.344	1	-	21.344,00 €
Cableado	-	-	2%	1.553,32 €
Montaje	-	-	4%	3.106,64 €
Estructura	-	-	6%	4.659,96 €
Obra Civil	-	-	7%	5.436,62 €
Otros Costes	-	-	12%	9.319,92 €
Inversión total				101.742,46 €

Tabla 14. Presupuesto de la inversión inicial.

El precio de los paneles fotovoltaicos e inversor son obtenidos por precio de lista encontrados en catálogo y precios de mercado, mientras que los precios de los demás elementos de la instalación se estimaron mediante un porcentaje con respecto al precio combinado de los paneles y el inversor.

13.2. Costes de Explotación

Los costes de explotación son los gastos ordinarios de la empresa, necesario para que funcione la instalación, en este caso, son los gastos de operación y mantenimiento de los paneles e inversor.

Para este proyecto, el coste de operación y mantenimiento, se estima que es un 5% de la inversión inicial, y es afectado cada año por el índice de precios al consumo (IPC). Utilizamos el IPC (1,7%) real de la República Dominicana para agosto de 2019 [42].

13.3. Ingreso

Nuestro ingreso proviene de la venta de energía eléctrica a los clientes de la comunidad. Esto se consigue a través de multiplicar la energía consumida por el cliente en kWh por el precio del mercado. El precio es determinado mediante resoluciones publicadas por la Superintendencia de Electricidad (SIE) (véase tabla 15).

TARIFA	CONCEPTO	TARIFA BASE	MES JULIO - 2019		% SUBSIDIO FETE
		SEPTIEMBRE 2003	TARIFAS INDEXADAS (RD\$)	TARIFAS A APLICAR A USUARIOS (RD\$)	
BTS1	Cargo Fijo por Rangos de Consumo:				
	(i) Consumo mensual de 0 hasta 100 kWh	20.76	42.54	37.95	10.79%
	(ii) Consumo mensual de 101 kWh en adelante	75.07	153.83	137.25	10.78%
	Cargos por Energía:				
	(i) Los primeros kWh entre 0 y 200	5.04	10.33	4.44	57.03%
	(ii) Los siguientes kWh entre 201 y 300	5.04	10.33	6.97	32.57%
	(iii) Los siguientes kWh entre 301 y 700	6.21	12.73	10.86	14.85%
(iv) Consumo de 701 kWh o mayor, todos los kWh a	6.21	12.73	11.10	12.80%	

Tabla 15. Precio de la energía eléctrica en la República Dominicana (Julio 2019). Fuente: SIE

El precio varía por la cantidad de energía consumida, el precio incrementa si el consumo supera a los 200 kWh, así igualmente cuando supera los 300 kWh y 700 kWh. Pero debido a que nuestros clientes son de las zonas rurales y el consumo nunca supera los 30kWh al mes, por lo tanto, utilizaremos el precio del primer rango 10,33 Peso dominicano (DOP), aproximadamente 0,172€.

El cálculo se hace a 25 años, por lo tanto, utilizamos los datos históricos de la superintendencia De Electricidad para estimar el incremento de precio anual, podemos ver que la tendencia lineal tiene un incremento de alrededor de 8,53% anual (véase ilustración 43).

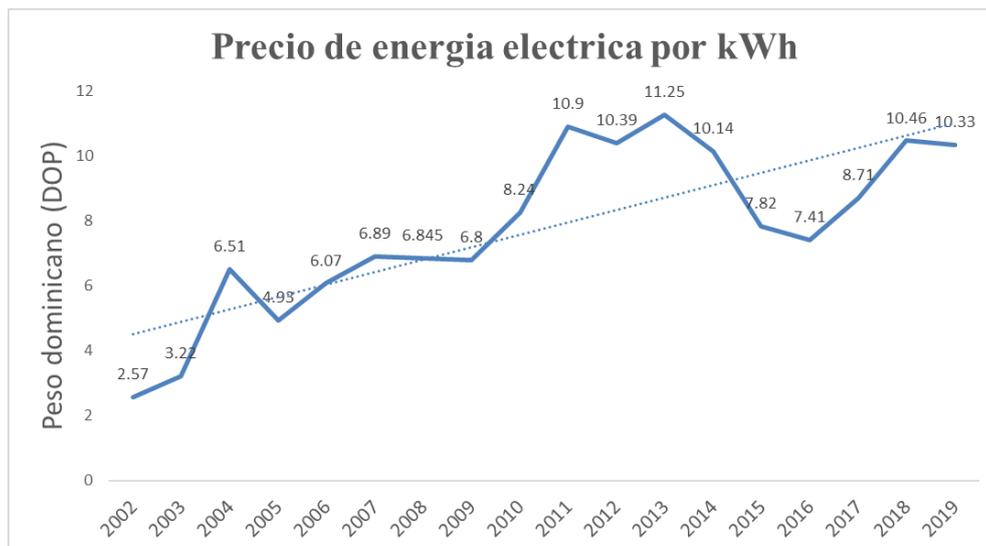


Ilustración 43 Histórico del precio de la electricidad por debajo de 200kWh.

13.4. Rentabilidad

Para este cálculo se toma en cuenta la cantidad de energía generada y todos los costos e ingresos mencionados anteriormente. Este análisis se realizó durante 25 años de explotación del sistema (véase tabla 16).

Años	0	1	2	3	4	5	6
Inversión	101742,5						
Ingresos	-	34969,6	37648,0	40531,5	43635,9	46978,0	50576,1
Costes de funcionamiento	-	5087,1	5173,6	5261,6	5351,0	5442,0	5534,5
Beneficio neto	-	29882,5	32474,4	35270,0	38284,9	41536,1	45041,7
Cash Flow	101742,5	29882,5	32474,4	35270,0	38284,9	41536,1	45041,7
Valor presente neto	101742,5	28616,1	29780,2	30973,2	32195,9	33449,7	34735,6
Acumulado	101742,5	73126,4	43346,1	12373,0	19823,0	53272,7	88008,3

Años	7	8	9	10	11	12	13
Inversión							
Ingresos	54449,8	58620,2	63110,0	67943,7	73147,6	78750,1	84781,7
Costes de funcionamiento	5628,6	5724,3	5821,6	5920,5	6021,2	6123,5	6227,6
Beneficio neto	48821,3	52896,0	57288,5	62023,2	67126,5	72626,6	78554,1
Cash Flow	48821,3	52896,0	57288,5	62023,2	67126,5	72626,6	78554,1
Valor presente neto	36054,8	37408,5	38797,9	40224,3	41689,0	43193,3	44738,7
Acumulado	124063,1	161471,6	200269,5	240493,8	282182,8	325376,1	370114,8

Años	14	15	16	17	18	19	20
Inversión							
Ingresos	91275,3	98266,2	105792,5	113895,3	122618,7	132010,2	142121,1
Costes de funcionamiento	6333,5	6441,2	6550,7	6662,0	6775,3	6890,5	7007,6
Beneficio neto	84941,7	91825,0	99241,8	107233,3	115843,4	125119,8	135113,5
Cash Flow	84941,7	91825,0	99241,8	107233,3	115843,4	125119,8	135113,5
Valor presente neto	46326,5	47958,1	49635,2	51359,2	53131,6	54954,2	56828,7
Acumulado	416441,3	464399,4	514034,6	565393,8	618525,4	673479,7	730308,3

Años	21	22	23	24	25
Inversión					
Ingresos	153006,4	164725,3	177341,9	190924,7	205547,9
Costes de funcionamiento	7126,7	7247,9	7371,1	7496,4	7623,9
Beneficio neto	145879,6	157477,4	169970,8	183428,3	197924,1
Cash Flow	145879,6	157477,4	169970,8	183428,3	197924,1
Valor presente neto	58756,6	60739,9	62780,3	64879,7	67040,1
Acumulado	789064,9	849804,8	912585,1	977464,8	1044504,9

Tabla 16. Cálculo de rentabilidad.

La viabilidad de un proyecto se determina mediante el VAN y el TIR. El VAN es el cálculo de los flujos de ingresos y egresos de la empresa, si la cantidad obtenida es mayor a la inversión inicial, quiere decir que el proyecto es viable. El TIR determina el porcentaje de ganancia o pérdida al momento de invertir en un proyecto nuevo.

El VAN se calcula de la siguiente forma:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

V_t = Flujos de caja en cada periodo t
 I_0 = Inversión Inicial
 n = Número de periodos considerado
 k = Tipo de interés

El TIR se calcula de la siguiente forma:

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

F_n = Flujos de caja en periodo n
 I_0 = Inversión Inicial
 n = Número de periodos considerado

CÁLCULO DE LOS PARAMETROS DE RENTABILIDAD	
Tasa de actualización	4,426%
VAN=	1.044.504,89
TIR=	37,79%

Tabla 17. cálculo de TIR y VAN.

Luego de realizar nuestro cálculo utilizando una tasa de actualización de 4.426%, obtenemos un VAN de 1.044.504,89€ y TIR de 37,79% (véase tabla 17). El periodo de retorno de inversión es de 3 año y 5 meses. Por lo tanto, podemos decir que nuestro proyecto es económicamente viable.

También se calculó el VAN y el TIR en caso de usar baterías, asumiendo la condición óptima de las baterías, con una vida útil de aproximadamente 12 año, encontramos siguiente batería en el mercado (véase tabla 18):

Batería	Precio (€)	Capacidad (Ah)
PlusEnergy Gel	330	250

Tabla 18. Información de la batería.

Igual realizamos el cálculo utilizando una tasa de actualización de 4.426%, vemos que el VAN disminuye a 798.852,25€ y el TIR a 21,93% (véase tabla 19). El periodo de retorno de inversión incrementa a 6 años y 4 meses. Aunque haya disminuido el VAN y el TIR, pero en general, el proyecto sigue siendo rentable.

CÁLCULO DE LOS PARAMETROS DE RENTABILIDAD	
Tasa de actualización	4,426%
VAN=	798.852,25
TIR=	21,93%

Tabla 19. cálculo de TIR y VAN para sistema con batería.

14. CONCLUSIONES

En el crecimiento económico global, se implica cada vez más la demanda energética. El sector eléctrico representa casi dos tercios de las emisiones total de CO₂, y la quema de combustible fósiles siguen siendo aún la principal fuente de generación de electricidad para muchos países del mundo, como los países Latinoamericanos y el Caribe.

Es fundamental darse cuenta de que el cambio climático es un problema de todos, el aumento del nivel del mar, las sequías y los fenómenos meteorológicos extremos, son cada vez más relevantes, especialmente para los países más vulnerables a los efectos de dicho cambio climático como lo es la República Dominicana.

Igualmente, el acceso a la energía para zonas rurales es uno de los principales problemas para los países en vía de desarrollo. En la República Dominicana todavía existe muchas zonas con escasez de la electricidad o incluso sin acceso a ésta. Lo que conlleva a limitar considerablemente el crecimiento económico, el desarrollo humano y la sostenibilidad ambiental.

Por consiguiente, las renovables se han convertido en una de las mejores alternativas para mitigar estas problemáticas cumpliendo el compromiso de reducir los gases de efecto invernadero, y proporcionando el acceso a la energía moderna, el cual forma parte de los objetivos de las Naciones Unidas. Estas nuevas tecnologías de generación limpia han tenido un crecimiento notable en los últimos años, principalmente la energía fotovoltaica y eólica, debido a la disminución de los costos de las energías renovables, donde se está teniendo un impacto positivo en el mercado eléctrico. Por otro lado, para la electrificación rural de países en desarrollo, la energía fotovoltaica juega un papel muy importante, con los sistemas fuera de la red y micro redes, siendo unas de las opciones más idóneas para tales fines de desarrollo energético.

En el presente documento, se ha propuesto un sistema fotovoltaico micro red conectada a la red, para cubrir la demanda eléctrica de una zona rural perteneciente a la parte oeste de la República Dominicana, haciendo un breve análisis de la demanda de energía, temperatura ambiental y recurso solar de la isla caribeña. Estimando mediante la demanda energética de la zona, una potencia calculada de unos 124 kW, arrojando como resultado una producción generada aproximadamente de unos 203 MWh de energía en el primer año, y a lo largo de 25 años una energía acumulada de 4,79 GWh, evitando una emisión de 2.866,33 toneladas de CO₂ a la atmosfera. Podemos decir que, con los resultados obtenidos, este proyecto cumple con los requisitos técnicos, medioambientales y es económicamente viable.

Es por ello, que debido al alto costo del precio de la energía eléctrica en la República Dominicana de unos 0,172 €/kWh, el periodo de retorno de inversión con la implementación del sistema propuesta, cabe alrededor de unos 3 años y 5 meses. No obstante, la cantidad de CO₂ evitada ocupa una proporción muy mínima del país, pero si se implementa en las mayorías de las zonas rurales, podemos reducir el consumo de energía mediante combustible fósil, para alcanzar el objetivo país de

reducir un 25% de gases de efecto invernadero para el 2030, como fue establecido en la ley 1-12.

En conclusión, podemos decir que la energía fotovoltaica tiene un gran impacto en la electrificación rural hoy día, estos pueden cubrir sin lugar a dudas demandas energéticas existentes en dichas zonas alejadas, con sistemas aislados en baterías o micro redes, siendo unos sistemas que no solo cumplen con la satisfacción eléctrica para las zonas rurales, si no que cumplen también con un impacto positivo en el mix eléctrico del país, reduciendo de esta manera, la alta utilización de los combustibles fósiles para el abastecimiento energético nacional.

15. BIBLIOGRAFÍA

- [1] International Energy Agency, “WEO-2017 Special Report: Energy Access Outlook,” *Https://Www.Iea.Org/Energyaccess/*, 2017.
- [2] Organización de las Naciones Unidas, “Cambio climático | Naciones Unidas.” [Online]. Available: <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/climate-change/index.html>. [Accessed: 18-Sep-2019].
- [3] Superintendencia de Electricidad, “Capacidad Instalada Septiembre 2019.” 2019.
- [4] Worldwatch Institute, “Aprovechamiento de los Recursos de Energía Sostenible de la República Dominicana,” 2015.
- [5] A.Chaurey and T. C.Kandpal, “Assessment and evaluation of PV based decentralized rural electrification: An overview,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 14, no. 8, pp. 2266–2278, 2010.
- [6] A.Chaurey and T. C.Kandpal, “A techno-economic comparison of rural electrification based on solar home systems and PV microgrids,” *Energy Policy*, vol. 38, no. 6, pp. 3118–3129, 2010.
- [7] Acciona, “Programa Luz en Casa Oaxaca - México.” [Online]. Available: <https://sites.google.com/a/accioname.org/accioname-microenergia-mexico/programa-luz-en-casa-oaxaca>. [Accessed: 19-Sep-2019].
- [8] Acciona, “Llevamos electricidad a 2.250 personas con nuestro primer proyecto en Panamá.” [Online]. Available: <https://www.accioname.org/es/sala-prensa/noticias/2019/enero/piloto-lc-ngabe-bugle/>. [Accessed: 19-Sep-2019].
- [9] T.Lebledu, “PowerCorner, the power of sustainable mini-grids for rural villages.” [Online]. Available: <https://solarimpulse.com/news/view/powercorner-the-power-of-sustainable-mini-grids-for-rural-villages>. [Accessed: 19-Sep-2019].
- [10] “「玉樹點燈」公益行動第四年 玉樹完成校校通電目標 - 每日頭條.” [Online]. Available: <https://kknews.cc/news/x8volk9.html>. [Accessed: 19-Sep-2019].
- [11] International Energy Agency, “Global Energy & CO2 Status Report,” *Glob. Energy CO2 Status Rep.*, no. March, pp. 1–15, 2018.
- [12] Naciones Unidas, “What is the Kyoto Protocol? | UNFCCC.” [Online]. Available: https://unfccc.int/kyoto_protocol. [Accessed: 18-Sep-2019].
- [13] “Acuerdo de París | Acción por el Clima.” [Online]. Available: https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_es#tab-0-0. [Accessed: 18-Sep-2019].
- [14] International Energy Agency, “Renewables Information 2019: Overview,” *J. Chem. Inf. Model.*, 2019.
- [15] “El Sol fuente básica de la energía - Enciclopedia Medioambiental.” [Online]. Available: https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/energia/el_sol_fuente_basica_de_energia.asp. [Accessed: 17-Sep-2019].
- [16] A.Bohorquez, “La Energía Solar Térmica,” *Bid*, 2013.
- [17] Y.Tian and C. Y.Zhao, “A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications,” *Appl. Energy*, vol. 104, pp. 538–553, 2013.
- [18] Solar Power Europe, “Global Market Outlook For Solar Power / 2019 - 2023,” 2019.
- [19] IRENA, *Renewable Power Generation Costs in 2014*. 2014.

- [20] International Energy Agency, *Trends 2018 in Photovoltaics Applications, Report*. 2018.
- [21] K.Udui, I.Renewable, E.Agency, K.Ualesi, P.Regional, andE.Programme, “Energy technical manual and training handbook for financing institutions,” no. January, pp. 1–43, 2015.
- [22] R. K.Akikur, R.Saidur, H. W.Ping, andK. R.Ullah, “Comparative study of stand-alone and hybrid solar energy systems suitable for off-grid rural electrification: A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 27, pp. 738–752, 2013.
- [23] J. M. V.Antonio Erias, Cansu Karaka, Corinna Grajetzki, James Carton, Mekalia Paulos, Pirjo Jantunen, Prajwal Baral, Samal Bex, “World Energy Resources 2016,” *World Energy Counc. 2016*, pp. 6–46, 2016.
- [24] NREL, “Certified best cell efficiency from NREL.” 2019.
- [25] A.Luque andS.Hegedus, *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. 2011.
- [26] “República Dominicana - Geografía - Libro Mundial de Hechos.” [Online]. Available: <http://www.oratlas.com/libro-mundial/republica-dominicana/geografia>. [Accessed: 21-Sep-2019].
- [27] “Clima en República Dominicana.” [Online]. Available: <https://www.visitarepublicadominicana.org/clima-en-republica-dominicana>. [Accessed: 21-Sep-2019].
- [28] IRENA andComisión Nacional de Energía, *PERSPECTIVAS DE ENERGÍAS RENOVABLES: REPÚBLICA DOMINICANA*. 2017.
- [29] F. J. C.Castillo, “Análisis de la Pobreza Energética de Republica Dominicana,” Santo Domingo, 2014.
- [30] S. delaCruz, “República Dominicana, el país con más apagones en AL y el Caribe,” 2017. [Online]. Available: <https://www.eldinero.com.do/40325/republica-dominicana-el-pais-con-mas-apagones-en-al-y-el-caribe/>. [Accessed: 22-Sep-2019].
- [31] R.Jiménez, T.Serebrisky, andJ.Mercado, “Dimensionando las pérdidas de electricidad en los sistemas de transmisión y distribución en América Latina y el Caribe - Reporte del Banco Interamericano de Desarrollo,” 2014.
- [32] M.MARGULIS, “El futuro del sector eléctrico en la República Dominicana,” no. 41, pp. 105–137, 2018.
- [33] CNCCMDL, MIMARENA, andPNUD, “Plan Nacional de adaptación para el cambio climático en la República Dominicana 2015-2030 (PNACC RD),” vol. 2030, p. 81, 2016.
- [34] Comisión Interinstitucional de Alto Nivel para el Desarrollo Sostenible, “Informe Nacional Voluntario 2018 - Compromisos, Avances Y Desafíos Hacia El Desarrollo Sostenible,” 2018.
- [35] Consejo Nacional para el Cambio Climático, Mecanismo de Desarrollo Limpio (CNCCMDL), andMinisterio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, “Tercera Comunicación Nacional de República Dominicana para la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.”
- [36] J. A. P.Gómez, “Energías renovables en República Dominicana,” *LISTÍN DIARIO*, 2016.
- [37] “Ley General sobre Medio Ambiente (Ley 64-00) de República Dominicana | Observatorio Regional de Planificación para el Desarrollo.” [Online]. Available: <https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/marcos-regulatorios/ley-general-sobre-medio-ambiente-ley-64-00-de-republica-dominicana>. [Accessed: 29-Sep-2019].
- [38] “Estrategia Nacional de Desarrollo 2030 (Ley Orgánica No. 1-12) | Observatorio del

- Principio 10.” [Online]. Available:
<https://observatoriop10.cepal.org/es/instrumentos/estrategia-nacional-desarrollo-2030-ley-organica-no-1-12>. [Accessed: 29-Sep-2019].
- [39] “Lluvia ácida | National Geographic.” [Online]. Available:
<https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/lluvia-acida>. [Accessed: 26-Sep-2019].
- [40] “El precio del carbono | Sostenibilidad para todos.” [Online]. Available:
<https://www.sostenibilidad.com/cambio-climatico/precio-del-carbono/>. [Accessed: 26-Sep-2019].
- [41] “Precios CO2 - Sendeco2.” [Online]. Available:
<https://www.sendeco2.com/es/precios-co2>. [Accessed: 26-Sep-2019].
- [42] “IPC de República Dominicana 2019 | datosmacro.com.” [Online]. Available:
<https://datosmacro.expansion.com/ipc-paises/republica-dominicana>. [Accessed: 26-Sep-2019].

Ley y/o Normativas

- Ley número 57-07. Sobre Incentivo al Desarrollo de Fuentes Renovables de Energía y sus Regímenes Especiales.
- LEY número 64-00. Ley General sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Ley número 1-12. La Ley Orgánica de la Estrategia Nacional de Desarrollo de la República Dominicana 2030.

Referencias de precios de los componentes

- https://www.amazon.es/wccsolar-es-Bateria-PlusEnergy-instalaci%C3%B3n-Profundo/dp/B07S4BF4ZM/ref=sr_1_4?_mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&keywords=bateria%2Bgel%2Bsolar%2B250ah&qid=1569854908&sr=8-4&th=1
- <https://www.voleba.com/india/product-s101-exports-data.html>
- <https://solarplak.es/panel-solar-330w-jinko-policristalino.html>