



industriales
etsii

**Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial**

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

**Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Industrial**

**Utilización de métodos de selección multicriterio, para la
integración de Energías Renovables en el Mix Energético de
República Dominicana**

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER EN ENERGÍAS RENOVABLES

Autor: Carlos Noel Sánchez Mateo

Director: María del Socorro García Cascales



**Universidad
Politécnica
de Cartagena**

Cartagena, España, Octubre 2018

Dedicatoria

A mi madre Belkis Mateo y a mi hermana Noelia Sánchez, por ser fuentes de inspiración y ejemplo en mi vida, para procurar ser siempre un mejor ser humano, hijo, hermano y profesional. Tenerlas en mi vida es una de las bendiciones más grandes que Dios me ha otorgado.

Gracias por todo

Tabla de contenido

1.	Índice de gráficos	4
2.	Índice de figuras	4
3.	Índice de Tablas	5
4.	Introducción	7
5.	Objetivos	8
5.1.	Objetivo general	8
5.2.	Objetivo específico	8
6.	Estado del arte	8
6.1.	Origen de las Energías Renovables	8
6.2.	Energías renovables en el mundo	9
6.3.	Energías Renovables en República Dominicana	10
6.3.1.	Aparición de la Energía Renovable en República Dominicana	10
6.3.2.	Composición del sector eléctrico dominicano	13
6.3.3.	Marco Regulatorio	17
6.3.4.	Potencial de las Renovables en República Dominicana	19
6.3.5.	Estatus de las Renovables en República Dominicana	24
7.	Propuesta REmap 2030	28
7.1.	Propuestas presentadas en el Informe REmap	30
7.2.	Evaluación preliminar de las propuestas en materia de generación	33
7.2.1.	Energía Eólica	34
7.2.2.	Energía Solar	35
7.2.3.	Biomasa	38
8.	Metodología	39
8.1.	Proceso analítico jerarquizado (método AHP)	40
8.2.	Método TOPSIS	42
8.3.	Alternativas	43
8.4.	Criterios	43
8.4.1.	Criterios Cuantitativos	43
8.4.2.	Criterios cualitativos	45
8.5.	Encuesta realizada a los expertos	46
8.5.1.	Encuesta realizada	48
8.5.2.	Resultado de las encuestas	54
9.	Conclusiones	86

10. Bibliografía	88
11. Anexos.....	89

1. Índice de gráficos

Gráfico 1: Capacidad total instalada en E.R. a nivel mundial desde 2008-2017. Fuente: Propia.....	9
Gráfico 2: Comparación del IGH de las zonas dominicanas seleccionadas Vs la de Alemania. Fuente: © Worldwatch Institute.	23
Gráfico 3: Capacidad total instalada en E.R. en Rep. Dom. 2008-2017. Fuente: Propia. .	25
Gráfico 4: Crecimiento de E.R. en Rep. Dom. 2008-2017. Fuente: Propia.	25
Gráfico 5: Grafica de Potencia Instalada bajo el Programa de Medición Neta Dic 2017. Fuente: CNE.	27
Gráfico 6: Composición de la generación- sistema eléctrico de Rep. Dom. a Dic 2017. Fuente: CNE.	28
Gráfico 7: Matriz Energética de Rep. Dom. Fuente: IRENA	29
Gráfico 8: Proyección del uso final de energía renovables modernas en la Republica Dominicana REmap 2030. Fuente: REmap 2030.	33
Gráfico 9: Capacidad instalada y número de clientes registrado bajo el Programa de Medición Neta a dic. 2017. Fuente: CNE.	36
Gráfico 10: Proyección de la evolución de la cap. Solar fotovoltaica descentralizada a 2030. Fuente: Propia.....	37

2. Índice de figuras

Figura 1: Comisión del sector eléctrico. Fuente: REmap2017	17
Figura 2: Imagen representativa de las zonas evaluadas. Fuente: Informe ‘Worldwatch Institute’	20
Figura 3: Mapa de vientos de la Republica Dominicana. Fuente: ‘Global Wind Atlas’ IRENA.	21
Figura 4: Imagen de la Irradiancia Normal Directa IND en Rep.Dom. Fuente: © Worldwatch Institute	21
Figura 5: Vista aérea parque eólico los cocos. Fuente: egehaina.com	26
Figura 6: Monte plata solar. Fuente: eldinero.com.do	27
Figura 7: Ubicación de la Generación eléctrica propuesta REmap 2030. Fuente: IRENA.	30
Figura 8: Esquema descriptivo método analítico combinado AHP-TOPSIS. Fuente: TFG- Analisis Comparativo de Tecnicas de Generacion Electrica; AHP y Topsis Fuzzificado.	40
Figura 9: jerarquización método AHP. Fuente: TFG- Analisis Comparativo de Tecnicas de Generacion Electrica; AHP y Topsis Fuzzificado.....	42

3. Índice de Tablas

Tabla 1: Listado de unidades que entraron en funcionamiento entre inicios del 70 y finales del 90. Fuente: EGEHID.	11
Tabla 2: Unidades de generación Hidroeléctrica que entraron en funcionamiento entre 2001-2007. Fuente: EGEHID.	13
Tabla 3: Total de puntos de red y factor de capacidad del viento por región. Fuente: '©Worldwatch Institute'	20
Tabla 4: Definición de Irradiancia horizontal Global, Irradiancia Normal Directa e Irradiancia Horizontal Difusa. Fuente: © Worldwatch Institute.....	22
Tabla 5: Potencial de Biomasa en Rep. Dom. Fuente: © Worldwatch Institute.	24
Tabla 6: Resumen de resultados por tecnología Remap 2030. Fuente: REmap 2030.....	31
Tabla 7: Resumen de resultados por tecnología (valores expresados en TeraWatt hora y en Peta Julios). Fuente: REmap2030.....	32
Tabla 8: Escala de valores de Saaty. Fuente: Libro análisis de decisión multicriterio de Carlos Romero.[15]	47
Tabla 9: Matriz de comparación binaria entre criterios. Fuente: Propia.....	60
Tabla 10: Media geométrica de los criterios y vector de pesos para los criterios (evolución 1er experto). Fuente: Propia.....	61
Tabla 11: Matriz resultante de la multiplicación entre el vector de pesos y la matriz de comparación binaria entre criterios (evaluación 1er experto). Fuente: Propia	61
Tabla 12: Índice aleatorio a partir del número de criterios. Fuente:.....	61
Tabla 13: Matriz de decisión (evaluación 1er experto). Fuente: Propia.....	62
Tabla 14: Matriz de decisión normalizada (evaluación 1er experto). Fuente: propia.	62
Tabla 15: Matriz ponderada con los valores máximos y mínimos resaltados (evolución 1er experto). Fuente: Propia.....	63
Tabla 16: Solución ideal positiva (PIS) y solución ideal negativa (NIS) (evaluación 1er experto). Fuente: propia.....	63
Tabla 17: Calculo de las medidas de las distancias de cada alternativa respecto al PIS y al NIS. (evaluación 1er experto) Fuente: propia.....	63
Tabla 18: Calculo de la proximidad relativa para cada alternativa (evaluación 1er experto). Fuente: propia.....	64
Tabla 19: Matriz de comparación binaria entre criterios (evaluación 2do experto). Fuente: propia,.....	70
Tabla 20: Media geométrica y vector de pesos (evaluación 2do experto). Fuente propia.	70
Tabla 21: Matriz resultante de multiplicar el vector de pesos por la matriz de comparación entre criterios. Fuente: Propia.....	70
Tabla 22: Matriz de decisión (evaluación 2do experto). Fuente Propia.	71
Tabla 23: Matriz de decisión normalizada. (evaluación 2do experto). Fuente: Propia. ...	71
Tabla 24: Matriz ponderada (evaluación 2do experto). Fuente: Propia.....	72
Tabla 25: Solución ideal positiva (PIS) y solución ideal negativa (NIS) (evaluación 2do experto). Fuente: Propia.....	72
Tabla 26: Calculo de las distancias positivas y negativas para cada alternativa (evaluación 2do experto). Fuente: Propia.....	72
Tabla 27: Calculo de la proximidad relativa para cada una de las alternativas (evaluación 2do experto). Fuente: propia.....	73

Tabla 28: Comparación binaria entre criterios (evaluación 3er experto). Fuente: Propia.	79
Tabla 29: Media geométrica de los criterios y vector de peso. Fuente: Propia	79
Tabla 30: Vector resultante, índice de consistencia y ratio de consistencia (evaluación 3er experto). Fuente: Propia.....	80
Tabla 31: Matriz de comparación binaria entre criterios (evaluación 1er experto). Fuente Propia.....	80
Tabla 32: Matriz de comparación binaria entre criterios (evaluación 2do experto). Fuente: Propia.....	81
Tabla 33: Matriz de comparación binaria entre criterios resultante del aporte de ambos expertos. Fuente: Propia.....	81
Tabla 34: Vector de pesos resultante, integración de las valoraciones de ambos expertos. Fuente: Propia.....	81
Tabla 35: Matriz producto de la matriz de comparación entre criterios y el vector de peso. Fuente: Propia	82
Tabla 36: Matriz de decisión (evaluación 1er experto). Fuente: Propia.....	82
Tabla 37: Matriz de decisión (evaluación 2do experto). Fuente: Propia.....	83
Tabla 38: Matriz de decisión resultan tras aplicar media geométrica. Fuente: Propia. ...	83
Tabla 39: Matriz de decisión normalizada (aporte de evaluación de ambos expertos). Fuente: Propia.....	84
Tabla 40: Matriz ponderada. Fuente: Propia.	84
Tabla 41: Solución ideal positiva (PIS) y solución ideal negativa (NIS). Fuente: Propia....	84
Tabla 42: Cálculos de las medidas de las distancias negativas y positivas para cada alternativa. Fuente: Propia.	85
Tabla 43: Calculo de la proximidad relativa para cada una de las alternativas. Fuente: Propia.....	85

4. Introducción

La República Dominicana, es un país cuyo sistema eléctrico es relativamente joven en comparación con otros del mundo. El consumo energético del mismo cada vez es mayor y por esta razón, la carrera energética que debe afrontar es sumamente ardua para conseguir cumplir con la demanda de un sistema que va creciendo rápidamente, económica y medioambientalmente viable.

Uno de los problemas a los que se enfrenta este sistema, es que depende en más de un 86% de la importación de combustibles fósiles.[1] Producto de esto, el precio de la generación de energía es costoso debido a que en la mayoría de los casos el combustible utilizado por las generadoras del país son heavy fuel oil No.6 (HFO6), heavy fuel oil No.2 (HFO2), ambos derivados del petróleo. Sumado a esto, la preocupación del pueblo dominicano por la situación climática y los cambios evidentes que se han venido presentando con los años, les ha hecho plantearse la posibilidad de buscar vías alternativas de generación de energía.

Tomando en cuenta la zona en la que se encuentra ubicado el país, este posee las condiciones necesarias para que se continúe incursionando en el desarrollo de las energías renovables de acuerdo con los recursos naturales allí existentes, tales como viento, sol, entre otros. Algunos estudios realizados con la finalidad de descubrir el potencial de esta nación para el desarrollo de proyectos de este tipo han mostrado resultados positivos para la puesta en marcha de proyectos de solar-fotovoltaica, energía eólica y finalmente la implementación de plantas de biomasa que aprovechen los residuos urbanos y de producción agropecuaria en el país.

Tomando como punto de partida el informe ejecutivo realizado por la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA) en conjunto con la Comisión Nacional de Energía (CNE), en el cual se proponen una serie de proyectos de cara al 2030, se evaluará mediante métodos de selección

multicriterio con la finalidad de determinar cual deberá ser la ruta más idónea por seguir, en la implementación de dichos proyectos.

5. Objetivos

5.1. Objetivo general

Determinar cuál sería el orden idóneo para la implementación de los proyectos evaluados a partir de la propuesta REmap 2030.

5.2. Objetivo específico

Realizar una evaluación preliminar de los aspectos descritos en el informe, a fin de enfocarnos en los proyectos que aportaran energía al sistema eléctrico.

Aplicación de método selección multicriterio a los proyectos propuesto para la generación de energía eléctrica.

Análisis de los resultados, ponderación del orden final en el que se deberán ejecutar los proyectos.

6. Estado del arte

6.1. Origen de las Energías Renovables

Por su procedencia las energías no renovables se definen como “aquella que se obtiene a partir de acumulaciones estáticas de energía, que permanecen fijas hasta que se liberan por los seres humanos (combustibles fósiles)” [2]. Atendiendo a esta definición, podemos decir que las energías renovables son todo lo contrario, debido a que tal como su nombre lo indica son recursos provenientes de la naturaleza con el potencial de renovarse en un periodo de tiempo determinado.

El origen de las energías renovables viene del sol, la gravedad, la rotación de la tierra y el calor interno de la tierra. Aunque algunas de las tecnologías existentes para la explotación de este tipo de energía, están relacionadas directa o indirectamente con el sol. La tierra recibe unos 40,000 Tera watts (TW) de energía en forma de radiación fotónica, los cuales son absorbidos por la atmosfera y los mares, dando lugar a la evaporación de estos últimos generando nubosidad y las diferencias de

presión que generan los vientos, de la misma manera este proceso influye en la generación del oleaje. [2]

Con el pasar de los años, el desarrollo tecnológico, el crecimiento de la demanda de energía y el cambio climático han servido como entes motivadores en la búsqueda del desarrollo de las energías renovables. La implementación de este tipo de energía es cada vez mayor en todo el mundo, aunque de cierta manera por los años de desarrollo e inversión de recursos algunas estén más desarrolladas que otras, todas han tenido cabida en el desarrollo energético de las naciones y al mismo tiempo cada una saca provecho de estas, de acuerdo con la cantidad de recursos renovables con los que cuenta.

6.2. Energías renovables en el mundo

Las energías renovables han tomado cada vez más fuerza con los años, los países han apostado por las tecnologías de este tipo como una solución a la creciente demanda energética a nivel mundial. Prueba de esto es como la capacidad instalada de energía renovable ha crecido en la última década como puede observarse en la figura siguiente.

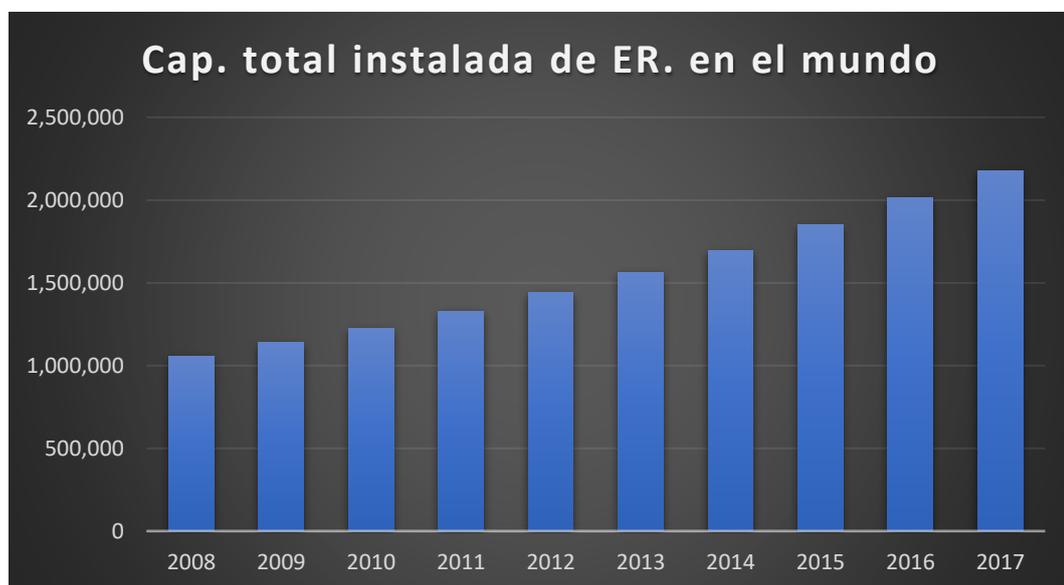


Gráfico 1: Capacidad total instalada en E.R. a nivel mundial desde 2008-2017. Fuente: Propia

Es claro y evidente que las energías renovables se fortalecen más cada año, de manera tal que en tan solo nueve años se duplicó la potencia que

había instalada a nivel mundial a finales del 2008. En 2017 el crecimiento estimado fue de 8.5%, lo que representó unos 167GW nuevos agregados en ese año a la capacidad mundial instalada.

En el caso de República Dominicana, estudios como el realizado por Worldwatch Institute de 2015 y el informe ejecutivo publicado en 2017 desarrollado por la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA), han expuesto que el país cuenta con los recursos necesarios para desarrollar proyectos de energía solar fotovoltaica, Eólica y Biomasa.

6.3. Energías Renovables en República Dominicana

6.3.1. Aparición de la Energía Renovable en República Dominicana

Los inicios de las energías renovables en la República Dominicana, se originan en los años 1950 con la instalación de la central hidroeléctrica Jimenoa, esta tiene una capacidad de 8.4 MW y está ubicada en el municipio de Jarabacoa. Con este hecho, se marca un antes y un después para el sector eléctrico dominicano, debido a que posteriormente se comenzarían a explotar los recursos hidrológicos del país con proyectos de este tipo para la producción de energía eléctrica.

En las décadas posteriores a los años 60, la instalación de plantas hidroeléctricas fue tomando más auge, entre los inicios de los 70 y finales de los 90 entraron en funcionamiento 15 proyectos de este tipo, representando un aumento de 393.86 MW en capacidad instalada para el mix energético dominicano que hasta ese momento dependía solo de derivados del petróleo.

A continuación, se muestra la tabla con el año de la puesta en marcha y capacidad instalada de cada central Hidroeléctrica.

Nombre de la Unidad	Año de puesta en servicio	Potencia Instalada (MW)
Tavera	1973	96.00
Valdesia	1975	54.00
Rincón	1978	10.10
Sabana Yegua	1980	13.00
Sabaneta	1981	6.30
Hatillo	1984	8.00
Angostura	1987	18.00
Aguacate	1992	60.00
Jigüey	1992	98.00
Nizao Najayo	1994	0.33
Baiguaque	1995	1.20
El Salto	1995	0.62
Rio Blanco	1996	25.00
C.E. Monción	1998	3.20
Los Anones	1998	0.11

Tabla 1: Listado de unidades que entraron en funcionamiento entre inicios del 70 y finales del 90. Fuente: EGEHID.

Ya para comienzos del año 2000 el sector eléctrico estaba en proceso de ser reestructurado producto de que antes de esta fecha el sector eléctrico era manejado por “Corporación Dominicana de Electricidad” (CDE), la cual tenía la responsabilidad de generar, distribuir, electricidad en el país. Este tipo de estructura comenzó a presentar fallos a escasos años de su puesta en vigencia, los apagones, déficit creciente en la oferta del sistema, falta del mantenimiento del plantel físico y un deterioro de la relación empresa consumidor que amplió considerablemente la situación de no pago del servicio facturado mediante fraudes y el aumento de usuarios clandestinos.[3]

Pese a esto, como un intento por salvar el sector eléctrico de la Republica dominicana en 2001 se promulga la ley No. 125-01 o mejor conocida como la “Ley general de Electricidad” a partir de la cual se inició un proceso que se conoce hoy en día como la “Capitalización del Sector Eléctrico Dominicano”, la cual tenía los siguientes objetivos:

- Atraer capitales del sector privado para actualizar, reacondicionar y ampliar el sistema.

- Crear un mercado competitivo de electricidad que recompense la eficiencia, la buena administración y preste un mejor servicio a los usuarios.
- Incorporar capacidad de gestión al sector eléctrico para aumentar la eficiencia y productividad del negocio eléctrico
- Aumentar la calidad y confiabilidad del suministro de electricidad.
- Crear un marco legal y normativo que permita el desarrollo de la industria eléctrica con el aporte del sector privado.[3]

En cuanto a lo que a las renovables se refería, aun para esta fecha solo se invertía en proyectos hidroeléctricos, por este motivo el artículo 138, párrafo 1 de la Ley General de Electricidad No. 125-01, de fecha de 26 del 2001 y modificado por la Ley No. 186-07, de fecha 8 de agosto del 2007 contempla lo siguiente:

“El poder Ejecutivo Creara dentro de un plazo no mayor a noventa (90) días la Empresa de Transmisión Eléctrica Dominicana (ETED), a la cual se transferirán todas las líneas y sistemas de transmisión eléctricas (sistema interconectado). El Poder Ejecutivo creara la Empresa de generación Hidroeléctrica Dominicana (EGEHID) a la cual se le traspasaran la propiedad y administración de los sistemas de generación hidroeléctrica del Estado habidos y por haber. Estas empresas serán propiedad estrictamente estatal, tendrán personería jurídica y patrimonio, y estarán en capacidad de contraer obligaciones comerciales contractuales según sus propios mecanismos de dirección y control.”[4]

Pese a la promulgación de esta ley, la empresa Hidroeléctrica Dominicana (EGEHID) no fue creada hasta el 2007 mediante el decreto No. 628-07, de fecha 2 de noviembre del 2007. Aunque desde la puesta en vigencia de la Ley General de Electricidad hasta la creación de EGEHID transcurrieron cerca de 6 años, esto no fue un obstáculo para la integración de nuevas centrales hidroeléctricas al sistema.

Listado de las unidades que entraron en funcionamiento entre 2001 y 2007.

Nombre de la Unidad	Año de puesta en servicio	Potencia Instalada (MW)
Los Toros	2001	9.70
Monción	2001	52.00
Aniana Vargas	2003	0.70
Domingo Rodríguez	2004	3.90
Rosa Julia De la Cruz	2005	0.90
Magueyal	2006	3.20

*Tabla 2: Unidades de generación Hidroeléctrica que entraron en funcionamiento entre 2001-2007.
Fuente: EGEHID.*

Con la inclusión de estas 6 unidades, dotan al sistema de 70.4 MW más de capacidad instalada disponible para la generación de energía. A la fecha hay 27 unidades activas aportando un total de 613.81 MW de capacidad al sistema.

Tabla con listado completo de unidades de generación hidroeléctrica en el anexo 1.

6.3.2. Composición del sector eléctrico dominicano

Como hemos podido observar, el sector eléctrico hasta ante de la década del 2000 era manejado completamente por la compañía eléctrica estatal (Corporación Dominicana de Electricidad – CDE) la cual estaba encargada de la generación, transmisión, distribución y venta al detalle de la energía eléctrica. [5]

El marco regulatorio para las actividades en el sector eléctrico fue finalmente definido por la Ley General de Electricidad 125-01 y sus normas adoptadas en julio del 2001. La reforma pretendía abordar cuestiones relacionadas con los altos costos de la electricidad, tarifas impulsadas por intereses políticos, electricidad no suministrada e ineficiencia operacional.[5]

El informe ejecutivo REmap de IRENA plantea que el proceso de reforma desagregó actividades dentro de la cadena de suministro de electricidad, permitiendo la participación del sector privado y la producción de la siguiente configuración

Generación: la actividad está estructurada dentro de un mercado competitivo de venta al por mayor (mercado eléctrico mayorista) con la

participación de las empresas de generación de propiedad privada y de sociedades entre compañías de generación público-privadas.[5]

Transmisión: la red de transmisión, la generación hidroeléctrica y la mayoría de los activos del sistema de distribución, permanecen bajo la propiedad del gobierno de República Dominicana.[5]

Distribución: se garantizaron tres concesiones a tres compañías estatales diferentes, las cuales entregan la electricidad a los consumidores conectados a nivel de distribución. Estas mismas empresas están a cargo de las actividades de venta de electricidad al detalle, a sus clientes regulados. [5]

Planificación a largo plazo de la generación, de los sistemas de transmisión y distribución: la planificación indicativa tiene como objeto, proporcionar señales apropiadas a las partes interesadas para promover las inversiones adecuadas y el desarrollo del sector, cuya responsabilidad recae sobre la Comisión Nacional de Energía (CNE).[5]

Operación del sistema eléctrico interconectado: la operación del Sistema Eléctrico Nacional Interconectado (SENI), es planeada y coordinada por el organismo de coordinación independiente OC-SENI, que calcula y determina las transacciones económicas entre los agentes del mercado eléctrico mayorista.[5]

La Operación en tiempo real: la operación del SENI, se lleva a cabo por el Centro de Control de Energía (CCE), una división de la Empresa de Transmisión Eléctrica Dominicana (ETED), en coordinación con OC-SENI.[5]

Cada uno de los segmentos que conforman la operación del sistema eléctrico como se pudo observar, es responsabilidad de una o más entidades del sector.

A continuación, definimos cuales son las empresas que intervienen en el sistema desde la generación hasta los puntos de consumo:

Ministerios de Energía y Minas – MEM: Este fue creado por la ley 100-13 adoptada en julio de 2013. El MEM está a cargo de los sectores de energía y minas, es responsable de desarrollar las políticas relativas a la energía.[5]

Comisión Nacional de Energía – CNE: Esta fue creada por la ley 125-01 en 2001. Entre otras funciones, la comisión contribuye al desarrollo de la política energética nacional mediante el seguimiento y actualización del Plan Energético Nacional (PEN). Dentro de sus responsabilidades está el promover las inversiones, planes indicativos de expansión no vinculante largo plazo y también administra la ley 57-07 para promover la inversión en tecnologías de energía renovable.[5]

Superintendencia de electricidad - SIE: creada a través de la ley 125-01 en 2001, es el órgano regulador encargado de las normas económicas y técnicas relacionadas con la generación, transmisión, distribución y venta de electricidad al detalle. [5]

Organismo Coordinador del Sistema Eléctrico nacional Interconectado – OC-SENI: establecido a través de la ley 125-01 en 2001, el OC-SENI planea y coordina la operación y coordinación de las transacciones comerciales entre agentes, en el mercado eléctrico mayorista.[5]

Corporación Dominicana de Empresas Eléctricas Estatales – CDEEE: Es la empresa responsable de coordinar las estrategias, objetivos y acciones de todas las empresas de electricidad que sean propiedad del estado o controladas por él. Adicionalmente es responsable de los programas de electrificación rural del gobierno y la administración de contratos PPA “Power Purchase agreement” existentes con los productores independientes de electricidad.[5]

Empresa de Transmisión Eléctrica Dominicana – ETED: Es la empresa estatal responsable de operar, mantener y administrar la red de transmisión de alta tensión (345-69 kV). [5]

Las compañías de distribución, EDENORTE, EDESUR y EDEESTE: la distribución de electricidad dentro del SENI es realizada por tres empresas estatales que administran tres concesiones diferentes en todo el territorio nacional, como se muestra en el anexo 2. Las empresas de distribución también controlan la venta minorista de energía eléctrica para clientes regulados. [5]

Las empresas de Generación: A partir de diciembre de 2014, 16 empresas de generación de energía eléctrica se asociaron con el OC-SENI. Todos los mayores activos de generación hidroeléctrica pertenecen a la Empresa de Generación Hidroeléctrica Dominicana (EGEHID). Dos de los productores de energía independiente, Compañía de Electricidad de San Pedro de Macorís y Generadora San Felipe, entregan electricidad bajo PPAs administrados por CDE. Las 13 compañías restantes poseen las plantas eléctricas térmicas y participan con EGEHID, en el mercado mayorista a través de transacciones de energía y potencia. [5]

Los consumidores: Estos están clasificados en regulados y no regulados. Los consumidores regulados están representados en el mercado mayorista por las compañías de distribución de acuerdo con el régimen de tarifas y reglas establecido por el regulador, SIE. Los consumidores con demandas de más de 1MW pueden cubrir sus necesidades eléctricas a través de transacciones directas con los generadores en el mercado mayorista. [5]

A continuación, se muestra una imagen con todos los actores involucrados en el sector eléctrico. [5]

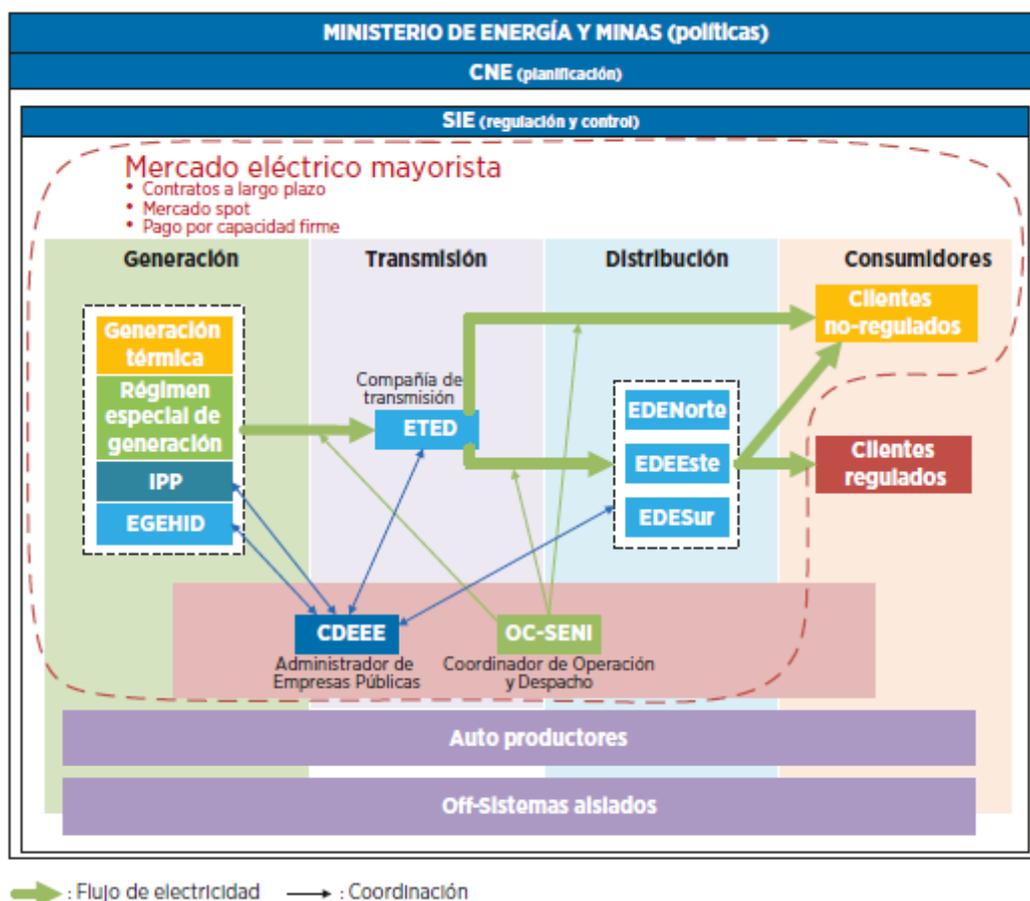


Figura 1: Comisión del sector eléctrico. Fuente: REmap2017

6.3.3. Marco Regulatorio

El desarrollo de las Energías Renovables en la República Dominicana comenzó a fomentarse con más fervor a finales del 2007 con la promulgación de la ley 57-07. Cuyo alcance está descrito en su artículo 2, el cual dice “La presente ley constituye el marco normativo y regulatorio básico que se ha de aplicar en todo el territorio nacional, para incentivar y regular el desarrollo y la inversión en proyectos que aprovechen cualquier fuente de energía renovable y que procuren acogerse a dichos incentivos.”[6]

Cuyos objetivos frente a las Energías Renovables están definidos en el artículo 3 de la misma ley, el cual expone lo siguiente:

Objetivos:

- Aumentar la diversidad energética del país en cuanto a la capacidad de autoabastecimiento de los insumos estratégicos que significan los combustibles y la energía no convencionales, siempre que resulte más viable;
- Reducir la dependencia de los combustibles fósiles importados;
- Estimular los proyectos de inversión privada, desarrollados a partir de fuentes renovables de energía;
- Proporcionar que la participación de la inversión privada en la generación de electricidad a ser servida al SENI esté supeditada a las regulaciones de los organismos competentes y de conformidad al interés público;
- Mitigar los impactos ambientales negativos de las operaciones energéticas con combustibles fósiles;
- Propiciar la inversión social comunitaria en proyectos de energías renovables;
- Contribuir a la descentralización de la producción de energía eléctrica y biocombustibles, para aumentar la competencia del mercado entre las diferentes ofertas de energía
- Contribuir al logro de las metas propuestas en el plan energético nacional específicamente en lo relacionado con las fuentes de energías renovables, incluyendo los biocombustibles.[6]

La promulgación de esta ley en la República Dominicana, marca un antes y un después para el sistema eléctrico, debido a que los beneficios asociados a este, fruto de las condiciones que plantea para promover las nuevas inversiones en Energía Renovable sean económicamente rentables para los inversionistas.

Los incentivos que ofrece la Ley 57-07, están detallados en el capítulo III (INCENTIVOS GENERALES A LA PRODUCCION Y AL USO DE ENERGIA RENOVABLE) de dicha ley, dentro de los cuales se encuentran los siguientes:

Artículo 9: Exención de Impuesto.

Artículo 10: Exención del Impuesto Sobre la Renta.

Artículo 11: Reducción de Impuesto al Financiamiento Externo.

Artículo 12: Incentivo Fiscal a los Autoprodutores.

Artículo 13: Incentivo a Proyectos Comunitarios.

Artículo 14: Certificados y/o Bonos Por Reducción de Emisiones Contaminantes.

Estos artículos están debidamente desglosados en el “Anexo 3” de este documento.

6.3.4. Potencial de las Renovables en República Dominicana

De acuerdo con estudios realizados por el ‘Worldwatch Institute’ en la República Dominicana, esta cuenta con un potencial importante para desarrollar proyectos en base a energía eólica y energía solar, sumando a la capacidad hidráulica innata con la que cuenta el país que ha sido explotada a lo largo de los años.

Estos estudios se realizaron en conjunto con la empresa 3TIER, con el fin de determinar el potencial eólico y solar existentes en el país.

En cuanto al potencial eólico de la isla, se destacaron 6 zonas que fueron evaluadas de forma puntal, Puerto Plata, Baní, Montecristi, la Altagracia, Samaná y Pedernales. Para la evaluación se plantearon puntos en forma de red de 4.5 Km² dando como resultado un número de puntos distintos para cada provincia, como se podrá observar en la imagen siguiente.

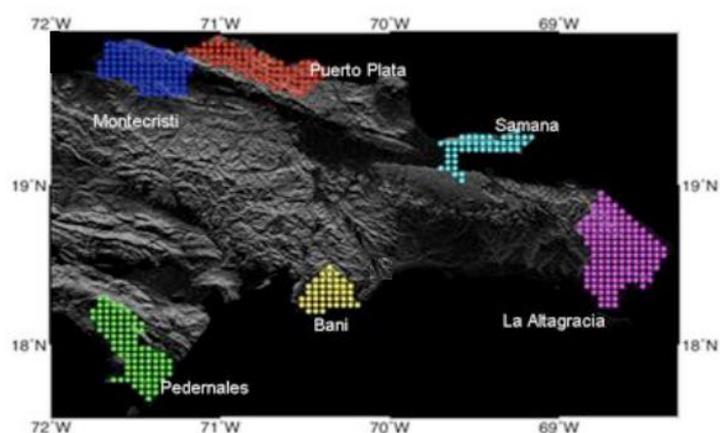


Figura 2: Imagen representativa de las zonas evaluadas. Fuente: Informe 'Worldwatch Institute'.

Los resultados de este estudio se representan en el siguiente cuadro:

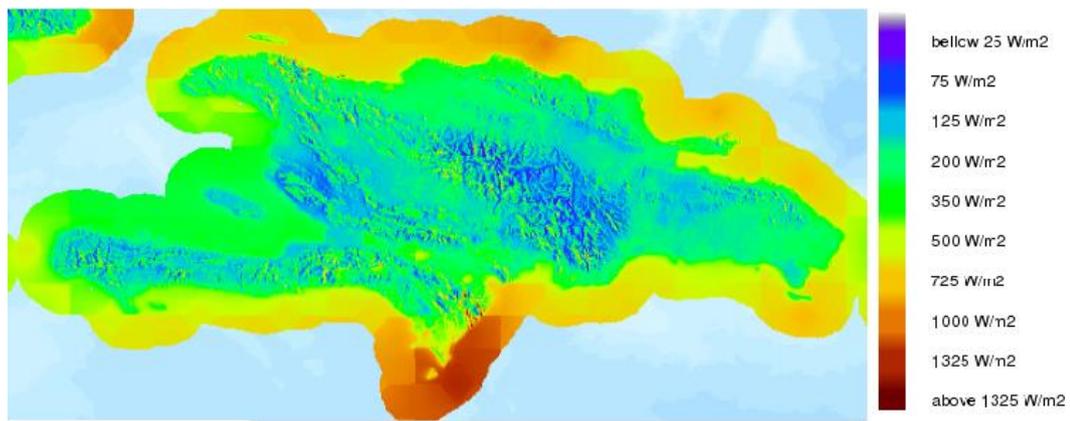
Región	Total de puntos de la red	Puntos de la red con un factor de capacidad $\geq 20\%$	Puntos de la red con un factor de capacidad $\geq 25\%$	Puntos de la red con un factor de capacidad $\geq 30\%$
Pedernales	92	70	60	55
Baní	43	41	29	18
Montecristi	91	72	30	5
Puerto Plata	84	30	2	0
La Altagracia	139	0	0	0
Samaná	45	1	0	0
Todas las regiones	494	214	121	78

Tabla 3: Total de puntos de red y factor de capacidad del viento por región. Fuente: '@Worldwatch Institute'

En el estudio se segmentaron los resultados en aquellos puntos que tienen un factor de capacidad de 20%, 25% y 30%. Se estableció como un parámetro aceptable aquellos puntos de la red que arrojaron valores a partir del 20%, debido a que a partir de este valor es posible la explotación del lugar para estos fines.

En la tabla 4 se puede observar como de las 6 zonas evaluadas solo 3 arrojaron valores significativos en su factor de capacidad, Pedernales, Baní y Montecristi cuentan con puntos de red de entre 20% y 30% en casi la mayoría de estos, descartando a la provincia la Altagracia y Samaná como lugares posibles para la explotación de este recurso. Puerto Plata por otro lado, no presenta gran capacidad de entre el 25% y 30%, pero si por encima del 20%, por lo cual pudiera ser una zona para considerar y requeriría de una evaluación más exhaustiva para determinar la

factibilidad de colocar allí un parque. El mismo informe, hace mención de que para un área de 4.5 km² como la utilizada en el estudio se recomienda la colocación de 20 turbinas, dicha recomendación fue hecha al gobierno dominicano en su momento bajo la premisa de que se colocaran aerogeneradores marca Vestas V90 de 3Mw.



IRENA: Global Wind Atlas

Figura 3: Mapa de vientos de la República Dominicana. Fuente: 'Global Wind Atlas' IRENA.

En cuanto al recurso solar de la isla, los estudios han reflejado que República Dominicana cuenta con niveles de irradiación importantes, estos se mantienen constantes casi todo el año brindando la fiabilidad necesaria para el desarrollo de proyectos fotovoltaicos.

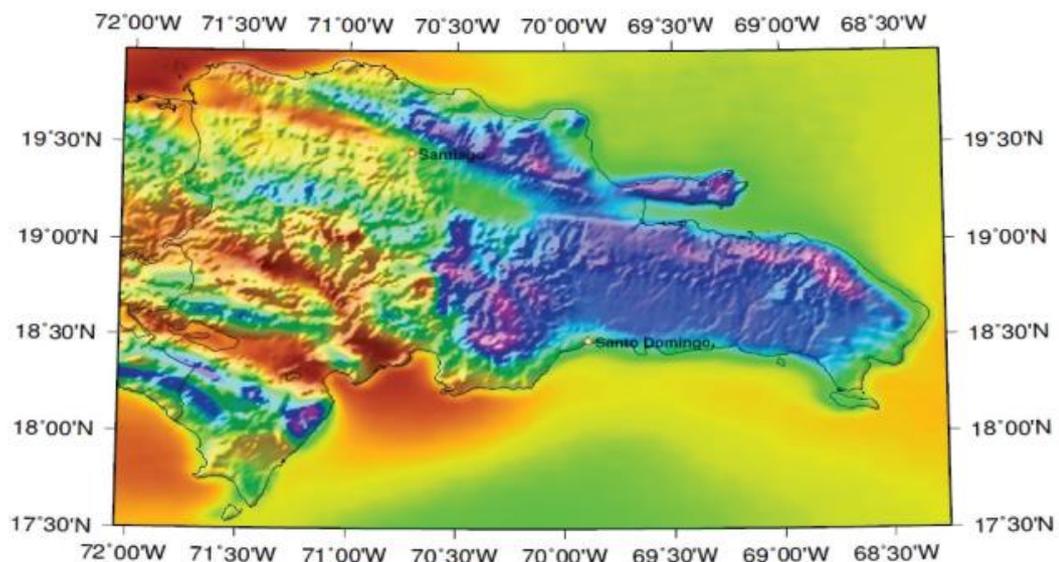


Figura 4: Imagen de la Irradiancia Normal Directa IND en Rep.Dom. Fuente: © Worldwatch Institute

En su informe el ‘Worldwatch institute’ describe 3 componentes importantes de la irradiación solar, estas son descritas y se da una idea de la importancia de dichas componentes según el tipo de instalación solar a ejecutar.

Medida	Descripción	Aplicación
GHI	Radiación solar total por unidad de superficie que es interceptada por una superficie plana y horizontal	Instalaciones de energía solar fotovoltaica
DNI	Radiación solar total de rayo directo por unidad de superficie que es interceptada por una superficie plana que apunta en todo momento en dirección al sol	Instalaciones de energía solar concentrada e instalaciones que rastrean la posición del sol
DIF	Radiación solar difusa por unidad de superficie que es interceptada por una superficie plana y horizontal, que no está sujeta a sombras y no llega en trayectoria directa desde el sol	Algunas instalaciones solar FV que se adaptan mejor a la radiación difusa (la DIF se incluye en el cálculo de la GHI)

Tabla 4: Definición de Irradiancia horizontal Global, Irradiancia Normal Directa e Irradiancia Horizontal Difusa. Fuente: © Worldwatch Institute.

El potencial solar de la República Dominicana, resulta un tanto excepcional, este alcanza valores de Radiación Solar Global que van de 5-7 kWh/m²/día en la mayor parte del país.[7]

Estas cifras son tan buenas, que en el estudio comparan los valores de República Dominicana con países como Alemania y Estados Unidos, los cuales tienen una irradiación horizontal global de 3.5 kWh/m²/día y 5.7 kWh/m²/día respectivamente, aunque este último hace referencia concretamente a Phoenix Arizona, la cual es famosa por su potencial solar. [1]

En concreto, el estudio de ‘Worldwatch institute’ se enfocó en resaltar el potencial de las ciudades demográficamente más pobladas y cuya concentración de consumo energético es mayor, como son Santo Domingo (Capital del país) y Santiago (centro-norte), los valores promedio de irradiancia global horizontal en ambas ciudades es de más de 5kWh/m²/día. En el siguiente gráfico se podrá apreciar lo descrito anteriormente.

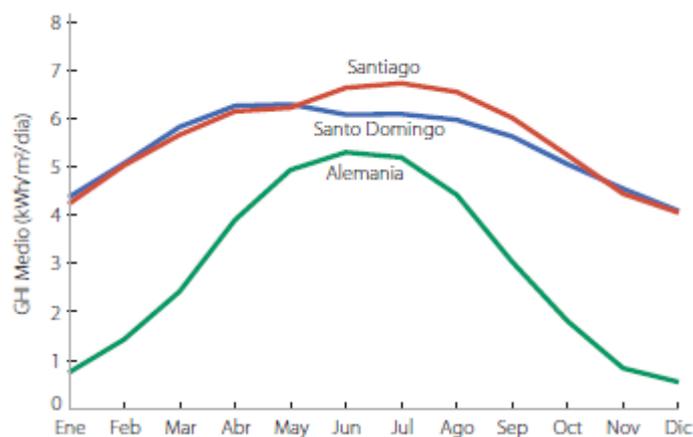


Gráfico 2: Comparación del IGH de las zonas dominicanas seleccionadas Vs la de Alemania. Fuente: © Worldwatch Institute.

Estos números nos dan a demostrar el gran potencial existente en el país para desarrollar proyectos solares, especialmente de índole fotovoltaica que son aquellos que aprovechan más los valores de IHG como se indica en la tabla 5.

A pesar de esto, en el mapa de la figura 21 es evidente que en la parte oeste del país estos parámetros son mucho mejores y es importante que se explote esta zona, aunque requieran de algunos estudios in situ para determinar la factibilidad de estos.

Por otro lado, con respecto a la biomasa, se ha realizados intentos de abordar este tema y de la importancia que supondría para el país incurrir en proyectos de este tipo, debido a que la generación a partir de la Biomasa si es gestionable, comparándola con las otras dos fuentes de fuerza en el país como son la energía eólica y la solar.

Según un levantamiento realizado a cultivos en las zonas agrícolas del país por el Departamento de Agronomía de la Universidad ISA de la ciudad de Santiago en conjunto con el “worldwatch Institute”, donde se determinó que 6 plantaciones con potencia para ser utilizadas en la producción de Biomasa arrojaban las cifras que se describen el cuadro a continuación.

Fuente	Cantidad de biomasa disponible anualmente	Densidad de energía
		megajoules por kilogramo
Café	496,905 toneladas (a nivel de la finca); 576,420 toneladas (residuos de fabricación de pasta)	No disponible
Cacao	1.5 millones de toneladas	No disponible
Caña de azúcar	2.3 millones de toneladas (a nivel de la finca, no utilizado); 1.2 millones de toneladas (a nivel de la fábrica)	8-9 MJ/kg
Arroz	48,739 toneladas (salvado); 112,142 toneladas (en cáscara)	15.8 MJ/kg (cáscara); 15.1 MJ/kg (paja)
Plátano	7.9 millones de toneladas frescas o 945,748 toneladas secas	No disponible
Banana	7.9 millones de toneladas frescas o 945,748 toneladas secas	18.9 MJ/kg (cáscara)

Tabla 5: Potencial de Biomasa en Rep. Dom. Fuente: © Worldwatch Institute.

Datos como estos, nos dan a entender que hay un valor importante en los cultivos para generar energía a partir de Biomasa. Para el año 2015, en el país se producía alrededor de 1.5 millones de toneladas de bagazo de caña de azúcar al año, donde solo el 30% de este se utiliza para generar electricidad[1] producto de que algunos de los distintos ingenios azucareros han implementado la cogeneración para suplir la energía eléctrica necesaria para sus operaciones.

Es decir que de 1.5 millones de toneladas, solo se utilizan 450,000 en generación y el resto no se aprovecha. Según “worldwatch institute”, si la generación de bagazo está conectada a la red para permitir la venta de exceso de electricidad, las calderas de alta presión eficientes pueden generar 370-510 kwh o más por tonelada de bagazo.[1]

6.3.5. Estatus de las Renovables en República Dominicana

Aunque las regulaciones y el fomento de las energías renovables en el país iniciaron de forma activa en 2007 a través de la promulgación de la ley 57-07, desde el siglo pasado la Republica Dominicana ha incursionado en proyectos de este tipo mediante proyectos Hidráulicos para la producción de energía como se ha expresado anteriormente.

Hoy en día, el país cuenta con unos 874MW de capacidad instalada en energía renovable como se podrá observar en las siguientes gráficas.



Gráfico 3: Capacidad total instalada en E.R. en Rep. Dom. 2008-2017. Fuente: Propia.

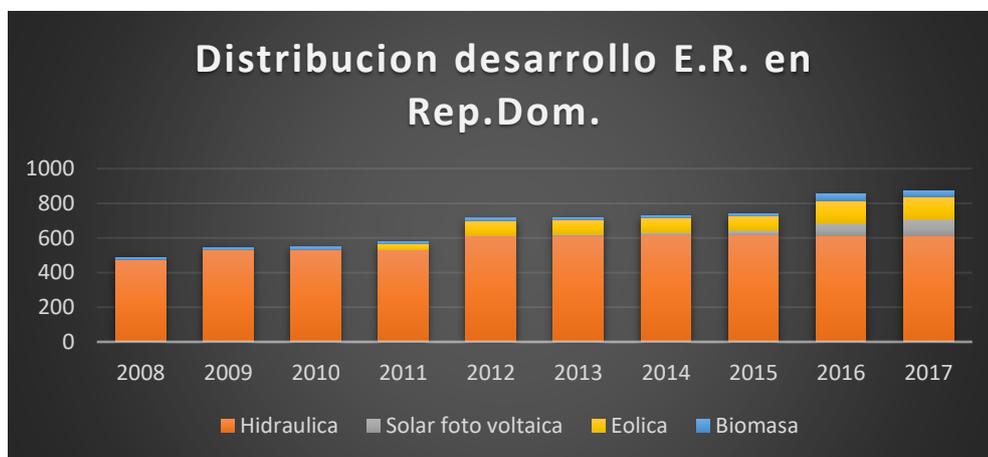


Gráfico 4: Crecimiento de E.R. en Rep. Dom. 2008-2017. Fuente: Propia.

De toda la matriz energética del sistema eléctrico nacional interconectado (SENI), las energías renovables representan el 15% del cual, las hidroeléctricas ocupan el 9%, la energía eólica cuenta con un 1.5%, la bioenergía posee un 1% y el resto le pertenece a la energía solar fotovoltaica.

Hoy en día, en el país se cuenta con proyectos renovables de importancia, los cuales, aunque no tengan un impacto tan significativo en la generación de energía como las fuentes convencionales, pero si representan un cambio importante con relación a 10 años atrás.

Como en el desarrollo de este documento hemos tomado como punto de partida el informe ejecutivo REmap2017 realizado por la Agencia

Internacional de energía Renovable en conjunto con la Comisión Nacional de Energía, donde se destaca el potencial Eólico, Solar y Biomasa del país, nos centraremos en resaltar los proyectos existentes relacionados con estas 3 tecnologías.

En el caso de la energía eólica el primer proyecto de este tipo que entró en funcionamiento fue el parque eólico los cocos con una capacidad de 25.2 MW a un costo de 100 US\$ millones en 2011[8], el cual posteriormente fue repotenciado y se elevó su capacidad instalada a 77.2 MW en 2012.[8]

Otro parque de este tipo entró en funcionamiento en 2016, el cual lleva por nombre Larimar, este tiene una capacidad instalada de 49.5 MW y está compuesto de 15 aerogeneradores Vestas V112H. Por último, en este renglón tenemos el parque eólico Quilvio Cabrera con una capacidad de 8.25 MW.



Figura 5: Vista aérea parque eólico los cocos. Fuente: egehaina.com

Con relación a la energía solar fotovoltaica, actualmente la República Dominicana cuenta con dos plantas a gran escala. La primera en su tipo lleva el nombre de Monte Plata Solar, la cual está ubicada en Atabey provincia Monte Plata, está compuesto por 132,000 paneles fotovoltaicos y 1,000 inversores para dar cabida a su capacidad instalada de 30MW a un costo de US\$110 millones.



Figura 6: Monte plata solar. Fuente: eldinero.com.do

Otro proyecto importante, fue puesto en funcionamiento recientemente en la provincia de Montecristi, este lleva el nombre de Montecristi solar y actualmente es la planta solar fotovoltaica más grande del caribe, tiene una capacidad de 58MWa un costo de US\$250 millones, este está compuesto de 215,000 paneles con los cuales se espera que se integran a la red unos 103 GW por año.

El resto de las instalaciones fotovoltaicas en el país corresponden a aquellas acogidas bajo el Programa de Medición Neta, el cual cuenta con una capacidad instalada de 54.48 MW distribuida de la siguiente forma.

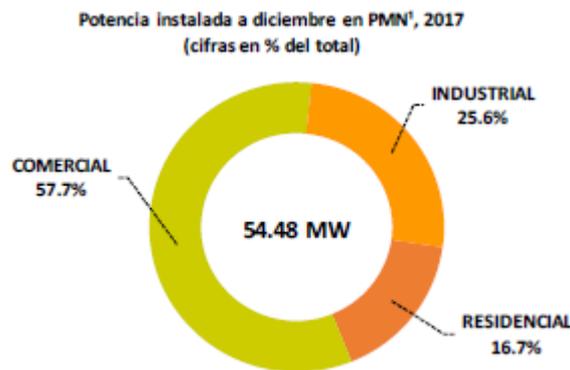


Gráfico 5: Grafica de Potencia Instalada bajo el Programa de Medición Neta Dic 2017. Fuente: CNE.

El tipo de clientes bajo los cuales están subdivididos son, Residencial, Comercial e Industrial, siendo el sector comercial el más predominante en instalaciones de este tipo.

En cuanto a la obtención de energía eléctrica a partir de la biomasa dentro del mix energético Dominicano esta solo ocupa el 0.8% [9], como puede observarse en el siguiente grafico

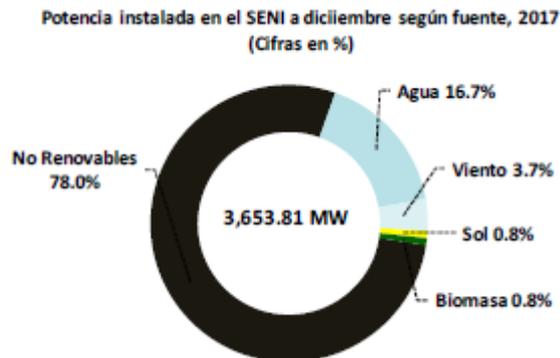


Gráfico 6: Composición de la generación- sistema eléctrico de Rep. Dom. a Dic 2017. Fuente: CNE.

Hoy en día los pioneros en este tipo de tecnología son las algunas zonas francas, las cuales utilizan residuos de cascara de arroz y el bagazo de caña de azúcar para autoabastecer sus necesidades energéticas.

Los cuatro grandes productores de caña de azúcar del país, como son el Ingenio Cristóbal Colón, el ingenio Barahona, Ingenio Porvenir y el Ingenio Central Romana. En el caso del Ingenio Cristóbal Colón, Ubicado en San Pedro de Macorís, produce unas 30,000 toneladas de bagazo de caña de azúcar por año, los cuales son utilizados para mover una turbina de 7MW y así suplir toda la energía que necesitan para sus operaciones. [7]

El Ingenio Barahona tiene 6 MW de capacidad instalada y es capaz de proveerse a sí mismo en su totalidad con el bagazo de caña resultante de su producción. [1]

7. Propuesta REmap 2030

El programa REmap de la Agencia Internacional de Energías Renovables, IRENA por sus siglas en inglés, muestra que es posible duplicar la cuota de energía renovable para 2030 en comparación con 2014. Este crecimiento acelerado ayudaría a alcanzar el Objetivo de Desarrollo

Sostenible (ODS) para una energía asequible y limpia, y contribuiría a mitigar el cambio climático.[7]

Dentro de este informe, IRENA evalúa todos los sectores que componen la sociedad dominicana a fin de buscar la manera más idónea de integrar energías renovables en cada ámbito, tanto en la generación eléctrica como en diversos consumos energéticos es los que los consumidores deben incurrir en el diario vivir.

De acuerdo con los datos levantados en la realización del informe, el consumo energético por áreas está distribuido de la siguiente manera

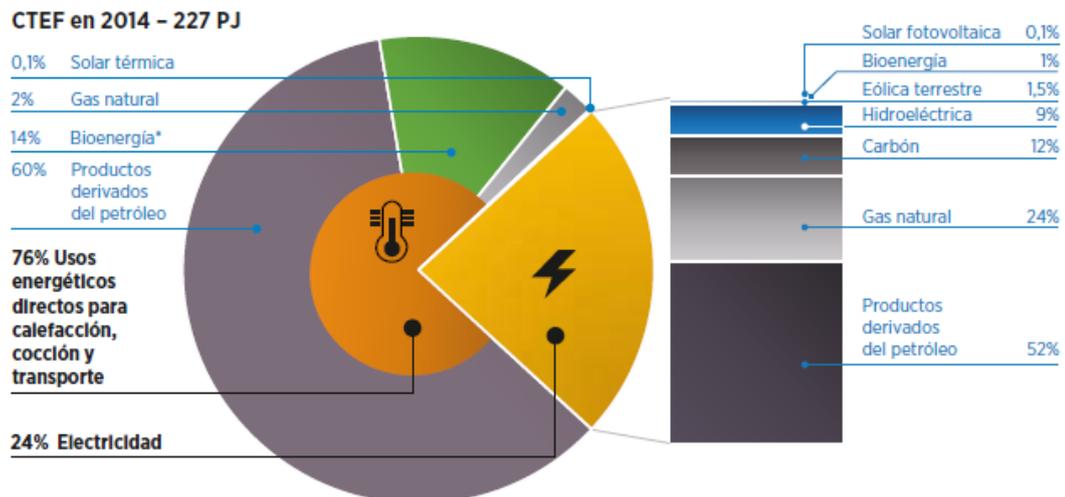


Gráfico 7: Matriz Energética de Rep. Dom. Fuente: IRENA

Como se puede observar, de todo el conjunto la generación de energía eléctrica solo ocupa el 24% de todo el consumo energético del país, el resto del consumo está ligado a aplicaciones que involucran directamente a los consumidores.

En lo que se refiera al sector de generación eléctrica, es evidente que la participación de las renovables es baja, pero es importante destacar que con relación a años anterior se ha avanzado mucho. De este renglón los productos derivados del petróleo son los más utilizados, como son el heavy fuel oil No.6 (HFO6), heavy fuel oil No.2 (HFO2), después les sigue el gas natural y el carbón respectivamente donde cabe destacar que la

incidencia del carbón será un poco mayor en los próximos años, debido a que entrará en funcionamiento la planta de Generación Punta Catalina.

En los que a las renovables se refiere, a lo largo de todo el informe hemos podido ver como de todas las fuentes renovables es la más explotada de todas, pero pese a esto de acuerdo con el informe REmap si se incrementase la generación eólica en el país en conjunto con la hidráulica el impacto sería muy significativo para este sector.

7.1. Propuestas presentadas en el Informe REmap

Las propuestas hechas por la Agencia Internacional de la Energía Renovable se dividen en dos renglones, las que van destinadas a la generación de energía eléctricas (en la cual nos centraremos) y al consumidor final.

En primer lugar, tenemos las referentes a la generación que son las siguientes de acuerdo con la siguiente figura

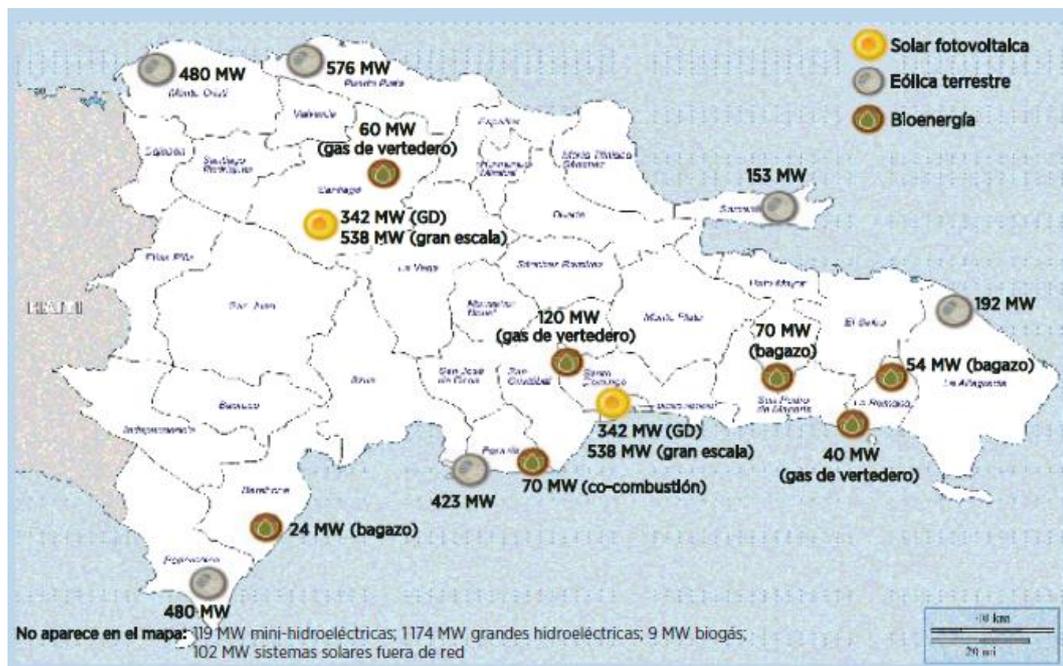


Figura 7: Ubicación de la Generación eléctrica propuesta REmap 2030. Fuente: IRENA

De acuerdo con el informe la capacidad de generación de energía renovable aumentaría hasta alcanzar unos 5,817 MW de capacidad

instalada, Representando un 59% de la capacidad instalada para generación de energía eléctrica.

En la siguiente tabla podremos ver más en detalle estos números y lo que representan.

		Unidad	REmap 2030
Capacidad de generación eléctrica instalada	Capacidad total Instalada para generación de electricidad	MW	9 913
	Eólico en tierra	MW	2 304
	Bioenergía (sólida, líquida, gaseosa)	MW	449
	Auto productores, MW de cogeneración (bagazo)	MW	148
	Biomasa (cogeneración)	MW	70
	Auto productores, digestor anaeróbico	MW	9
	Gas de vertedero	MW	220
	Solar fotovoltaica	MW	1 772
	Fotovoltaica a gran escala	MW	989
	Fotovoltaica descentralizada (en la red)	MW	681
	Fotovoltaica descentralizada con almacenamiento	MW	112
	Fotovoltaica para electrificación rural (aislado)	MW	102
	Capacidad no-renovable	MW	4 096

Tabla 6: Resumen de resultados por tecnología Remap 2030. Fuente: REmap 2030.

En esta tabla, se puede observar como producto de las propuestas realizadas para el desarrollo de parque eólicos, Plantas fotovoltaicas a gran escala y descentralizada en la red, y por ultimo las propuestas de biomasa para la cogeneración y autoproducción se alcanzarían estos porcentajes dentro del mix energético dominicano.

En segundo lugar, las propuestas que van dirigidas directamente a las áreas finales de consumo energético son las siguientes:

- Calentadores solares de agua en edificios.
- Energía Solar para refrigeración en los edificios.
- Energía solar para procesos caloríficos en la industria.
- Energía solar para refrigeración en la industria.

- Digestores anaeróbicos de biogás para cocinar, en el sector de hotelería.
- Sistemas de Acondicionamiento de Aire por aguas marinas profundas (SWAC por sus siglas en ingles).
- Biomasa moderna sólida para cocinar.
- Digestor anaeróbico a biogás en el sector residencial.

	Unidad	REmap 2030
Total de consumo final de energía en usos directos	PJ	96
Consumo de electricidad – edificios	TWh	13.2
Consumo de electricidad – industria	TWh	16.2
Usos directos de la energía renovable	PJ	34
Energía solar para calentamiento de agua – edificios	PJ	3.2
Energía solar para enfriamiento de espacios – edificios	PJ	4.5
Energía solar para calentamiento de agua – industria	PJ	0.7
Energía solar para enfriamiento – industria	PJ	0.2
Agua de mar para aire acondicionado (SWAC) – edificios	PJ	0.4
Biomasa moderna – edificios	PJ	6.2
Biogás para cocina (digestor anaeróbico) – hotelería	PJ	1.2
Biogás para cocina (digestor anaeróbico) – residencial	PJ	0.1
Biomasa sólida para cocina – residencial	PJ	1.6
No especificada	PJ	3.3
Biomasa tradicional – edificios ³³	PJ	0
Bioenergía para calor de proceso – industria	PJ	19
No-renovable - edificios	PJ	26
No-renovable - industria	PJ	29

*Tabla 7: Resumen de resultados por tecnología (valores expresados en TeraWatt hora y en Peta Julios).
Fuente: REmap2030.*

De acuerdo con el gráfico final de cómo quedaría distribuida la matriz energética del país tras implementar estos proyectos, se muestra más equilibrado.

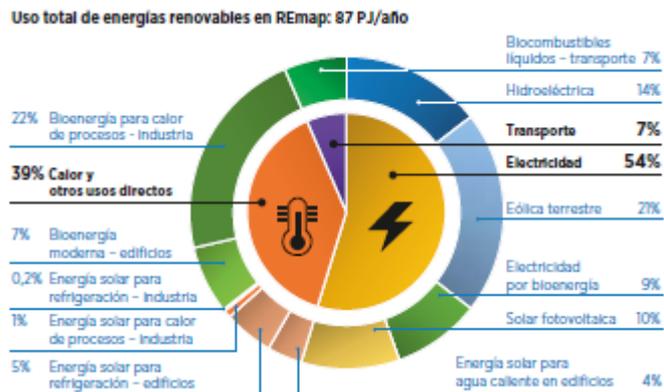


Gráfico 8: Proyección del uso final de energía renovables modernas en la República Dominicana REmap 2030. Fuente: REmap 2030.

Para el análisis de este trabajo nos ceñiremos solo a lo que respecta a la matriz de generación eléctrica como se determinó en los objetivos de este, pero es importante aclarar que las propuestas realizadas por IRENA en el informe REmap tienen un valor importante debido a que la concentración del consumo energético está en los sectores de uso directo, como el transporte, cocción de alimentos, etc.

Si es importante resaltar, que al momento de evaluar estos sectores, se realice un estudio más profundo debido a que en el caso de este existen variantes y factores que se han estimado. Por otra parte, consideramos que es importante que a la hora de realizar este tipo de evaluaciones se pauten objetivos ambiciosos, pero sin dejar de lado la realidad de la sociedad dominicana y es importante aclarar este punto, debido a que como ya hemos visto el potencial del impacto al incluir fuentes renovables específicamente en los sectores de consumo, se depende en gran medida de la conciencia social de la población en este tipo de temas. Por esto último, es necesario que las campañas de concientización sean masivas con miras a lograr el impacto positivo que se busca en este sector.

7.2. Evaluación preliminar de las propuestas en materia de generación

Si recordamos la figura 24, donde se presenta una distribución de los proyectos propuestos para la generación de electricidad por demos destacar los siguiente:

7.2.1. Energía Eólica

Con relación a la energía eólica, las propuestas realizadas por IRENA son las siguientes:

- Aumento de capacidad instalada en la zona de pedernales a 480MW.
- Instalación de parques con capacidad total de 480 MW en Montecristi.
- Instalación de parques capacidad total de 576 MW en Puerto Plata.
- Instalación de parques capacidad total de 423 MW en Bani.
- Instalación de parques capacidad total de 153 MW en Samaná.
- Instalación de parques capacidad total de 192 MW en La Altagracia.

Esto nos da una capacidad total de 2,304 MW solo en parques eólicos distribuidos en 6 zonas del país con potencial para estos fines como ya hemos visto anteriormente. Pese a lo prometedores que son los números, es importante resaltar que en el informe “Estrategia para un Sistema de Energía Sustentable” elaborado por el “Worldwatch Institute” de 2011, se realizaron evaluaciones a las 6 zonas en las que el informe REmap propone la instalación de los parques eólicos.

Anteriormente hemos podido ver, que de las 6 zonas estudiadas se descartaron 2 de manera definitiva (Samaná y La Altagracia), 1 se descartó de manera parcial debido a su bajo potencial (Puerto plata) y finalmente se determinó que 3 de las zonas (Pedernales, Montecristi y Bani) si cumplían con los parámetros necesarios para ser explotados con mediante este tipo de tecnología. (Para ver los detalles de los resultados del estudio ver Tabla 4 del documento)

Por esta razón consideramos que lo más realista seria evaluar esta propuesta descartando las zonas de Samaná y la Altagracia, tomando en cuenta que, aunque el rendimiento de Puerto plata sea bajo, mediante un estudio in situ podría demostrarse el potencial de explotación de este.

Para nuestra evaluación final, la Potencia Eólica a Evaluar será de 1,959 MW.

Los parámetros técnicos, como el coste

7.2.2. Energía Solar

Con relación a las propuestas expuestas por IRENA en el informe REmap para la integración de energía solar fotovoltaica, estas están subdivididas en cuatro tipologías principales:

Instalación a gran escala con capacidad de 989 MW situadas próximas a los principales centros de carga (provincias de Santiago y Santo Domingo).

Energía Solar Fotovoltaica Descentralizada en la red, con una capacidad instalada de 681 MW.

Energía Solar Fotovoltaica Descentralizada en la red con almacenamiento, con una capacidad instalada de 112 MW.

Electrificación rural a partir de fotovoltaica (Sistemas aislados), con una capacidad de 102 MW.

En total esto sumaría una capacidad de 1,884 MW en instalaciones solar fotovoltaica. Cabe destacar que, en el caso de las instalaciones a gran escala, conseguir el terreno para la instalación de esta capacidad cerca de los centros de carga del país sería un posible obstáculo debido a que la extensión de tierra necesaria para colocar esta capacidad es muy grande. Por esta razón, consideramos que explorar la opción de colocar este tipo de plantas en la parte occidental del país sería muy interesante, dado que en esta zona se encuentran los mejores valores de Radiación Horizontal Global según los estudios del "Worldwatch Institute". [1]

En cuanto a las instalaciones fotovoltaicas descentralizadas, debemos hacer las siguientes acotaciones:

En primer lugar, las instalaciones descentralizadas o mejor dicho instalaciones solar fotovoltaicas de uso comercial y residencial dependen

exclusivamente de que sus propietarios decidan invertir en este tipo de instalaciones, por lo que el gobierno no tiene control sobre el ritmo al que este tipo de instalaciones se van realizando.

Además, las instalaciones solar fotovoltaicas de este tipo están sujetas a al Programa de Medición Neta, el cual entro en vigor en 2012 y a la fecha cuenta con una capacidad total instalada de 54.48 MW instalados a diciembre de 2017 lo cual representa unos 2,214 clientes que se encuentran acogidos bajo este programa. [9]

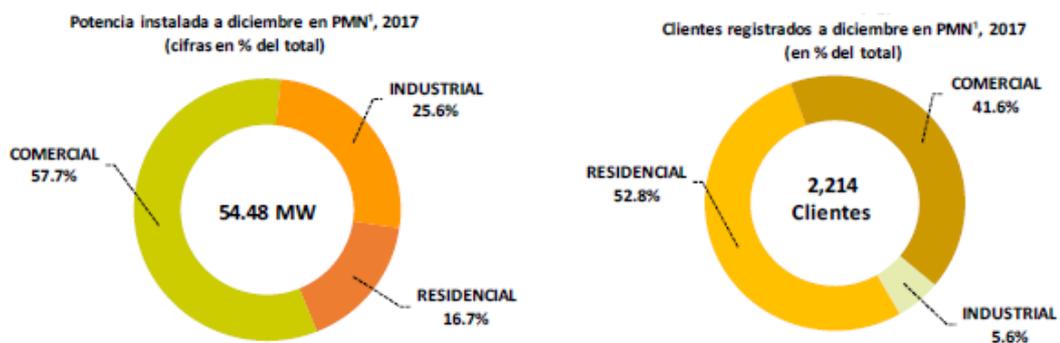


Gráfico 9: Capacidad instalada y número de clientes registrado bajo el Programa de Medición Neta a dic. 2017. Fuente: CNE.

Si tomamos como punto de partida el año a partir del cual fue puesto en vigor el Programa de Medición Neta y sacamos el promedio anual de potencia instalada, obtendríamos un resultado de 9.08 MW instalados por año, si proyectáramos este promedio a 13 años que es lo que nos faltaría para llegar al 2030 la potencia instalada sería de 172.52 MW.



Gráfico 10: Proyección de la evolución de la cap. Solar fotovoltaica descentralizada a 2030. Fuente: Propia.

Como queda en evidencia en el gráfico 11, bajo el supuesto de que el promedio de instalación anual se mantuviera fijo desde ahora hasta el 2030, apenas se alcanzaría el 21.75% de la cifra estimada por IRENA en su REmap. Además, según el boletín trimestral oct-dic de 2017 de la Comisión Nacional de Energía, la mayor contribución a la potencia instalada actual la aportan los clientes comerciales con un 57.7%, pero este mismo grupo de clientes solo representa un 41.6% de la cantidad total de clientes suscritos al Programa de Medición Neta.

En segundo lugar, de la potencia total estimada a 2030 en instalaciones descentralizadas (793 MW), 112 MW están proyectados a que sean en instalaciones con acumulación. Cabe destacar que debido a que la mayoría de las instalaciones de este tipo, se encuentran acogidas bajo el programa de Medición Neta el cual en su artículo 11 expresa lo siguiente “La facturación de la energía consumida por el cliente, y el crédito o pago por la energía que exporte, se realizara a base del consuno neto y la exportación neta de energía por parte del cliente.” [6] Esto quiere decir que, los sistemas acogidos a este programa tienen por objetivo principal autoabastecer su demanda y en caso de que haya un excedente en la producción de energía verterlo a las redes de distribución.

Por lo anteriormente expuesto, las empresas que se dedican a instalar este tipo de sistemas no tienden a ofrecer acumuladores (baterías) dentro del diseño de estos, además de que el incluir baterías en dichos sistemas encarece mucha más los costos de este.

Tras haber realizado estas acotaciones, consideramos que el cuadro más cercano a la realidad en cuanto a las propuestas REmap es tomando en cuenta toda la electrificación Rural y la integración de plantas solares a gran escala. Esto nos dejaría con una potencia en solar fotovoltaica a considerar de 1.091 MW.

7.2.3. Biomasa

El informe REmap plantea los siguientes proyectos, en cuanto a la generación a partir de Biomasa se Refiere:

- Mediante cogeneración utilizando el bagazo de caña de azúcar en los ingenios azucaremos del país instalar una capacidad de 148 MW.
- Mediante la utilización de residuos forestales y de plantaciones agrícolas instalar una capacidad de 70 MW.
- Mediante Digestores anaeróbicos en granjas del país instalar una capacidad de 9 MW.
- Utilizando Gas de relleno (vertedores de basura), instalar una capacidad de 220 MW.

En sentido general, las propuestas en materia de bioenergía planteadas por IRENA, van destinadas al uso de dicha energía a través de autoprodutores, los cuales en la Ley general de electricidad 125-01 se definen como “Entidades o empresas que disponen de generación propia para su consumo de electricidad, independientemente de su proceso productivo, que eventualmente, a través del SENI, venden a terceros sus excedentes de potencia o de energía eléctrica.”[4]

Que implica esto, que las instalaciones de este tipo están sujetas a que las empresas propietarias de dichas instalaciones realicen las inversiones

necesarias de repotenciar los equipos de generación, eficientizar sus procesos de producción, etc. A raíz de esta dependencia, el gobierno dominicano no puede actuar de forma directa para que los empresarios dueños de estas compañías (en su mayoría ingenios azucareros) realicen las inversiones necesarias para lograr lo estimado pro IRENA en su REmap.

En estos casos, consideramos que el gobierno solo puede dar su apoyo con la ayuda de incentivos y contratos de compra en función de la producción de energía, y así buscar que estas inversiones representen una oportunidad de negocio para dichas empresas, aunque son estas las que toman la decisión final respecto a la inversión.

Por esta razón, en las evaluaciones finales solo se tomarán en cuenta, las propuestas de generación a partir de gas de relleno, evaluando así finalmente una potencia total de **220 MW**.

8. Metodología

Evaluaremos las distintas alternativas planteadas en el informe REmap, utilizando análisis de toma de decisiones multicriterio, específicamente la metodología combinada del AHP-TOPSIS. Este método consiste básicamente en el uso de dos herramientas de toma de decisiones, como son el método AHP y el TOPSIS de manera combinada como se había mencionado anteriormente, con la finalidad de robustecer el proceso de tomo de decisión.

Ante un problema de toma de decisión, una vez definidas las alternativas y los criterios utilizamos el método AHP para obtener el peso de los criterios y con el TOPSIS evaluaremos las alternativas. La importancia relativa de cada criterio respecto a los demás se mide a través de los resultados de unas encuestas de valorización diseñadas y difundidas entre distintos expertos en la materia a evaluar, donde todos los participantes tienen en mismo peso en la decisión. [10]

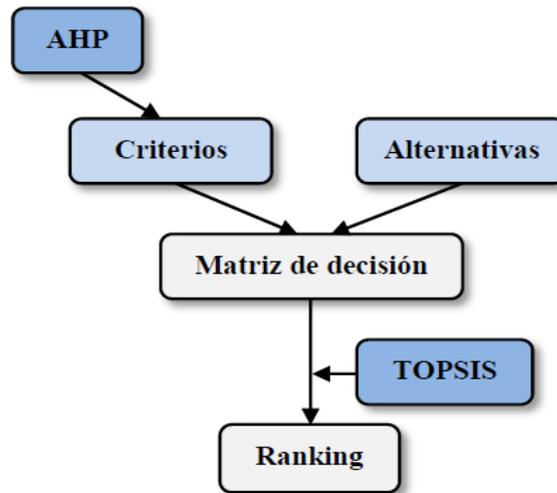


Figura 8: Esquema descriptivo método analítico combinado AHP-TOPSIS. Fuente: TFG-Análisis Comparativo de Técnicas de Generación Eléctrica; AHP y Topsis Fuzzificado.

8.1. Proceso analítico jerarquizado (método AHP)

El método multicriterio conocido como AHP “Analytic Hierarchy Process” por sus siglas en inglés, fue dado a conocer en la década de los 80 por Thomas L. Saaty.

El método AHP, cuenta con algunas características dentro de las cuales cabe destacar que el problema de decisión que se esté trabajando, se modeliza mediante una jerarquía es cuyo vértice superior está el principal objetivo del problema, meta a alcanzar y en la base se encuentran las posibles alternativas a evaluar. La segunda característica del método se debe, a que en cada nivel de la jerarquía se realizan comparaciones entre pares de elementos de ese nivel, en base a la importancia o contribución de cada uno de ellos al elemento de nivel superior al que están ligados. [11]

La tercera característica del AHP, es que la información obtenida es generalmente redundante y más o menos inconsistente. Las matrices de comparaciones por pares contienen juicios redundantes en el sentido de que en una matriz de tamaño $n \times n$ se suelen emitir $n \cdot (n-1) / 2$ juicios (ya que conocido un término a_{ij} se obtiene fácilmente el término a_{ji} por la propiedad de reciprocidad), cuando de hecho solo se necesitaran $n-1$ juicios si se

utilizase el algebra (pues si se conoce el termino a_{ij} y el termino a_{jk} es posible conocer, mediante sencillos cálculos, el termino a_{ik}). [12]

Anteriormente Saaty ha expresado que el método AHP, es un modelo de decisión que interpreta los datos y la información directamente mediante la realización de juicios y medidas en una escala de razón dentro de una estructura jerárquica establecida. [11]

En cuanto a la aplicación de la metodología esta se divide en tres etapas, las cuales se mencionarán a continuación:

Etapa 1 (Modelización): En esta etapa se construye un método o estructura jerárquica en la que quedan representados todos los aspectos considerados relevantes en el proceso de resolución (actores, escenarios, factores, elementos e interdependencias). [12]

Etapa 2 (Valorización): En la segunda etapa se incorporan las preferencias, gustos y deseos de los actores mediante los juicios incluidos en las denominadas matrices de comparación por pares. [12]

Etapa 3 (priorización y Síntesis): En esa etapa final, se proporcionan las diferentes prioridades consideradas en la resolución del problema.[12]

Etapa 4 (Análisis de Sensibilidad): Se suele hacer para examinar el grado de sensibilidad del resultado obtenido en una decisión al realizar cambios en las prioridades de los criterios principales de un problema. Lo que se lleva a cabo es un cambio en la prioridad de un determinado criterio manteniendo las proporciones de las prioridades de los otros criterios, de manera que todos ellos, incluido el criterio alterado, al modificarse sigan sumando la unidad.[12]

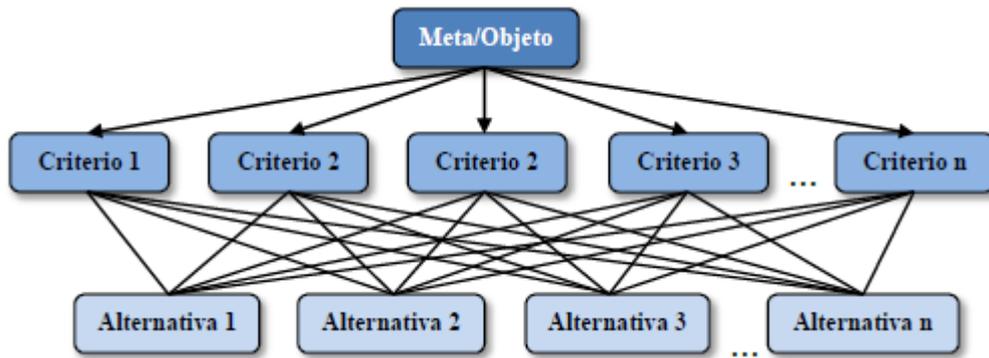


Figura 9: jerarquización método AHP. Fuente: TFG-Análisis Comparativo de Técnicas de Generación Eléctrica; AHP y Topsis Fuzzificado.

8.2. Método TOPSIS

El método TOPSIS, que significa “Technique for Order Preference by Similarity to ideal Solution”, se basa en el concepto de que es deseable que una alternativa determinada se ubique a la menor distancia respecto de una alternativa ideal y a la alternativa anti-ideal.

Sean las alternativas $A_i, i=1,2,\dots,m$, los criterios $C_j, j=1,2,\dots,n$, los pesos de los criterios w_j y una matriz de decisión con $x_{ij}=U_j(A_i), \forall i,j$. Donde U es la función utilidad del decisor, operando sobre la base de que todos los criterios sean a maximizar/minimizar según se estén considerando ganancias o costos, respectivamente. [11]

Por otro lado, se considera punto ideal positivo en R^n al punto A^+ siendo la mejor opción posible, y A^- , la solución ideal negativa en R^n , siendo la peor opción posible.

Para llevar a cabo el método TOPSIS, el algoritmo es el siguiente:

Paso 1: Construir de la matriz de decisión partiendo de m alternativas.

Paso 2: Normalización de la matriz de decisión.

Paso 3: Construcción de la matriz de decisión normalizada ponderada.

Paso 4: Obtención de la solución ideal positiva (PIS) y la solución ideal negativa (NIS).

Paso 5: Cálculo de las medidas de distancia.

Paso 6: Cálculo de la proximidad relativa a la solución ideal.

Paso 7: Ordenación de preferencias.

8.3. Alternativas

De acuerdo con las evaluaciones preliminares realizadas en el acápite 3 de este documento, las alternativas a evaluar son las siguientes:

A1: Instalación de parques eólicos en la zona de Pedernales.

A2: Instalación de parques eólicos en la zona de Montecristi.

A3: Instalación de parques eólicos en la zona de Baní.

A4: Instalación de parques eólicos en la zona de Puerto Plata.

A5: Instalación de plantas fotovoltaicas a gran escala cerca de Sto. Dgo.

A6: Instalación de plantas fotovoltaicas a gran escala cerca de Santiago.

A7: Instalación de fotovoltaica para electrificación rural.

A8: Generación a partir de gas de vertedero en Santiago.

A9: Generación a partir de gas de vertedero en Santo Domingo.

A10: Generación a partir de gas de vertedero en La Romana.

8.4. Criterios

Los criterios mediante los cuales evaluaremos las propuestas se dividen en dos renglones, los cuantitativos y los cualitativos.

8.4.1. Criterios Cuantitativos

- **Coste de implementación (C1):** Contempla el costo en millones de dólares por megavatio (MM USD\$/MW), necesario para implementar cada alternativa. Costos extraídos de comunicado oficial de CDEEE.[13]
 - **A1:** (Parque eólico Pedernales) = 2.59 MM USD\$/MW.
 - **A2:** (Parque eólico Montecristi) = 2.2 MM USD\$/MW.
 - **A3:** (Parque eólico Bani) = 2.57 MM USD\$/MW.

- **A4:** (Parque eólico Puerto Plata) = 2.3 MM USD\$/MW.
 - **A5:** (Planta Solar Sto. Dgo.) = 2.2 MM USD\$/MW.
 - **A6:** (Planta Solar Santiago) = 1.6 MM USD\$/MW.
 - **A7:** (Electrificación rural PV) = 4.06 MM USD\$/MW.
 - **A8:** (Generación gas de vertedero Santiago) = 1.43 MM USD\$/MW.
 - **A9:** (Generación gas de vertedero Sto. Dgo.) = 1.3 MM USD\$/MW.
 - **A10:** (Generación gas de vertedero La Romana) = 1.5 MM USD\$/MW.
- **Producción estimada (C2):** Este criterio contempla la energía estimada que se podrá generar por año de acuerdo con cada alternativa expresada en GWh/año. Estos datos han sido extraídos del documento del Plan de Expansión Energético Nacional de la Republica Dominicana. [14]
 - **A1:** (Parque eólico Pedernales) = 1,939.4 GWh/año.
 - **A2:** (Parque eólico Montecristi) = 827.5 GWh/año.
 - **A3:** (Parque eólico Bani) = 888 GWh/año.
 - **A4:** (Parque eólico Puerto Plata) = 1,670 GWh/año
 - **A5:** (Planta Solar Sto. Dgo.) = 902.8 GWh/año
 - **A6:** (Planta Solar Santiago) = 805.8 GWh/año
 - **A7:** (Electrificación rural PV) = 146 GWh/año
 - **A8:** (Generación gas de vertedero Santiago) = 357 GWh/año.
 - **A9:** (Generación gas de vertedero Sto. Dgo.) = 714 GWh/año.
 - **A10:** (Generación gas de vertedero La Romana) = 238 GWh/año.
- **Factor de carga (C3):** Por factor de carga o capacidad de carga nos referimos al resultado de dividir la energía real generada por

un período de tiempo entre la generación a plena carga durante el mismo periodo. Estos datos han sido extraídos del documento del Plan de Expansión Energético Nacional de la República Dominicana. [14]

- **A1:** (Parque eólico Pedernales) = 30%
 - **A2:** (Parque eólico Montecristi) = 20%
 - **A3:** (Parque eólico Bani) = 24%
 - **A4:** (Parque eólico Puerto Plata) = 20%
 - **A5:** (Planta Solar Sto. Dgo.) = 21%
 - **A6:** (Planta Solar Santiago) = 21%
 - **A7:** (Electrificación rural PV) = 16%
 - **A8:** (Generación gas de vertedero Santiago) = 85%
 - **A9:** (Generación gas de vertedero Sto. Dgo.) = 85%
 - **A10:** (Generación gas de vertedero La Romana) = 85%
- **Vida útil (C4):** Tiempo de funcionamiento de la tecnologías o proyecto, generalmente este tipo de información se extrajo de los fabricantes de estas tecnologías.
 - **A1:** (Parque eólico Pedernales) = 20 años.
 - **A2:** (Parque eólico Montecristi) = 20 años.
 - **A3:** (Parque eólico Bani) = 20 años.
 - **A4:** (Parque eólico Puerto Plata) = 20 años.
 - **A5:** (Planta Solar Sto. Dgo.) = 25 años.
 - **A6:** (Planta Solar Santiago) = 25 años.
 - **A7:** (Electrificación rural PV) = 12 años.
 - **A8:** (Generación gas de vertedero Santiago) = 20 años.
 - **A9:** (Generación gas de vertedero Sto. Dgo.) = 20 años.
 - **A10:** (Generación gas de vertedero La Romana) = 20 años.

8.4.2. Criterios cualitativos

- **Madurez de la tecnología (C5):** En base a este criterio se busca evaluar el nivel de desarrollo de cada tecnología. Este se medirá en una escala de 1 a 10, donde aquellos proyectos cuya tecnología

se tiene más experiencia recibirán un 10, aquellos en los que la experiencia con la tecnología es de grado intermedio recibirán un 5 y aquellos proyectos con los que cuya tecnología a penas se tenga experiencia recibirán un 1.

- **Modularidad de la tecnología (C6):** En base a este criterio se busca evaluar las distintas escalas a las que se pueden implementar los proyectos, desde unos pocos KW hasta cientos de ellos. Este se medirá en una escala de 1 a 10, donde aquellos proyectos que se puedan ejecutar a baja escala recibirán un 10, los que se puedan ejecutar a una escala intermedia un 5 y los que obligatoriamente tengan que ejecutarse a gran escala un 1.
- **Cantidad de recurso (C7):** En base a este criterio se busca evaluar el que tanto se ha aprovechado del recurso renovable que utiliza cada proyecto. Este se medirá en una escala de 1 a 10, donde aquellos proyectos o tecnologías que apenas se han aprovechado el recurso renovable recibirán un 10, los que han aprovechado el recurso renovable de manera intermedia recibirán un 5 y aquellos que han aprovechado gran parte del recurso renovable recibirán un 1.
- **Impacto ambiental (C8):** En base a este criterio se busca evaluar el impacto ambiental resultante de la instalación de los proyectos en las zonas que han sido asignadas. Este se medirá en una escala de 1 a 10, donde aquellos proyectos que produzcan bajo impacto recibirán un 10, los que produzcan un impacto moderado recibirá un 5 y aquellos que produzcan gran impacto recibirán un 1.

8.5. Encuesta realizada a los expertos

Las encuestas han sido realizadas de manera sencilla, buscando que pudieran ser completadas por los expertos de manera rápida aun sin estar familiarizados con los métodos de selección multicriterio. Esta ha sido segmentada en dos etapas, la primera busca establecer la comparación binaria entre criterios a fin de determinar el peso de estos, utilizando el método AHP y la segunda para establecer la valoración de los criterios

con relación a cada alternativa para ser evaluados finalmente implementando TOPSIS.

En cuanto a la primera etapa se utilizaron las etiquetas lingüísticas publicadas por Saaty en la implementación de este método

DEFINICIÓN	ESCALA
Ai y Aj son igualmente importantes (II)	1
Ai es moderadamente más importante que Aj (m+I)	3
Ai es más importante que Aj (+I)	5
Ai es mucho más importante que Aj (M+I)	7
Ai es extremadamente más importante que Aj (E+I)	9
Los valores de escala 2,4,6 y 8 también son usados y representan compromisos entre los valores anteriores	2,4,6,8

Tabla 8: Escala de valores de Saaty. Fuente: Libro análisis de decisión multicriterio de Carlos Romero.[15]

En cuanto a la segunda etapa, se asignó el siguiente rango de valores:

- Valor de 1: La alternativa tiene una valoración muy baja con respecto al criterio.
- Valor de 5: La alternativa tiene una valoración media respecto al criterio.
- Valor de 10: La alternativa tiene una valoración muy alta respecto al criterio.

Para la realización de esta encuesta se escogieron tres profesionales involucrados en el sector eléctrico dominicano, los cuales desempeñan sus funciones desde perspectivas distintas a lo interno de este.

El primer experto tiene bajo su cargo el departamento de fuentes alternativas en una de las empresas del sector eléctrico.

El segundo experto realiza sus funciones como ingeniero de despacho de energía para una de las empresas generadoras del país.

El tercer experto realiza sus funciones como ingeniero de proyectos en una empresa que se dedica a la instalación de proyectos renovables.

8.5.1. Encuesta realizada

Proyecto: Utilización de métodos de selección multicriterio, para la integración de Energías Renovables en el mix Energético de República Dominicana.

Alternativas para la integración al sistema eléctrico

A1: Instalación de parques eólicos en la zona de Pedernales.

A2: Instalación de parques eólicos en la zona de Montecristi.

A3: Instalación de parques eólicos en la zona de Baní.

A4: Instalación de parques eólicos en la zona de Puerto Plata.

A5: Instalación de plantas fotovoltaicas a gran escala cerca de Sto. Dgo.

A6: Instalación de plantas fotovoltaicas a gran escala cerca de Santiago.

A7: Instalación de fotovoltaica para electrificación rural.

A8: Generación a partir de gas de vertedero en Santiago.

A9: Generación a partir de gas de vertedero en Santo Domingo.

A10: Generación a partir de gas de vertedero en La Romana.

Criterios considerados para la evaluación de las alternativas

- C1: Coste de implementación.
- C2: Producción estimada
- C3: Factor de carga
- C4: Vida útil
- C5: Madurez de la tecnología
- C6: Modularidad de la tecnología
- C7: Cantidad de recurso
- C8: Impacto ambiental

Etapa 1: Comparación entre criterios

La comparación entre los criterios (C_i y C_j) se realizará mediante una escala de valores que irán de -4 hasta 4, siendo:

- -4: C_i es extremadamente menos importante que C_j
- -3: C_i es mucho menos importante que C_j
- -2: C_i es menos importante que C_j
- -1: C_i es moderadamente menos importante que C_j
- 0: C_i y C_j son igualmente importantes
- 1: C_i es moderadamente más importante que C_j
- 2: C_i es más importante que C_j
- 3: C_i es mucho más importante que C_j
- 4: C_i es extremadamente más importante que C_j

Subraye o resalte el valor seleccionado que corresponda con la escala verbal descrita anteriormente, según considere.

1. Coste de implementación respecto a producción estimada:
-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4
2. Coste de implementación respecto a factor de carga:
-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4
3. Coste de implementación respecto a vida útil:
-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4
4. Coste de implementación respecto a Madurez de la tecnología:
-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4
5. Coste de implementación respecto a modularidad:
-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4
6. Coste de implementación respecto a Cantidad de recurso:
-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4
7. Coste de implementación respecto a Impacto ambiental:
-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

8. Producción estimada respecto a factor de carga:
-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4
9. Producción estimada respecto a Vida útil:
-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4
10. Producción estimada respecto a madurez de la tecnología:
-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4
11. Producción estimada respecto a modularidad:
-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4
12. Producción estimada respecto a cantidad de recurso:
-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4
13. Producción estimada respecto a Impacto ambiental:
-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4
14. Factor de carga respecto a Vida útil:
-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4
15. Factor de carga respecto a madurez de la tecnología:
-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4
16. Factor de carga respecto a modularidad:
-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4
17. Factor de carga respecto a cantidad de recurso:
-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4
18. Factor de carga respecto a Impacto ambiental:
-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4
19. Vida útil respecto a madurez de la tecnología:
-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4
20. Vida útil respecto a modularidad:
-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4
21. Vida útil respecto a cantidad de recurso:
-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4
22. Vida útil respecto a Impacto ambiental:
-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4
23. Madurez de la tecnología respecto a modularidad:
-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

24. Madurez de la tecnología respecto a cantidad de recurso:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

25. Madurez de la tecnología respecto a Impacto ambiental:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

26. Modularidad respecto a cantidad de recurso:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

27. Modularidad respecto a Impacto ambiental:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

28. Cantidad de recurso respecto a Impacto ambiental:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

Etapla 2: Comparación de alternativas con relación a cada criterio, se evaluará otorgando valores entre 1 y 10, siendo:

- Valor de 1: La alternativa tiene una valoración muy baja con respecto al criterio.
- Valor de 5: La alternativa tiene una valoración media respecto al criterio.
- Valor de 10: La alternativa tiene una valoración muy alta respecto al criterio.

Subraye o resalte el valor seleccionado según considere

1. Con relación a la madurez de la tecnología, valore las siguientes alternativas:

A1: Instalación de parques eólicos en la zona de Pedernales:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A2: Instalación de parques eólicos en la zona de Montecristi:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A3: Instalación de parques eólicos en la zona de Baní:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A4: Instalación de parques eólicos en la zona de Puerto Plata:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A5: Instalación de plantas fotovoltaicas a gran escala cerca de Sto. Dgo.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A6: Instalación de plantas fotovoltaicas a gran escala cerca de Santiago.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A7: Instalación de fotovoltaica para electrificación rural.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A8: Generación a partir de gas de vertedero en Santiago.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A9: Generación a partir de gas de vertedero en Santo Domingo.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A10: Generación a partir de gas de vertedero en La Romana.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

2. Con relación a la modularidad, valore las siguientes alternativas:

A1: Instalación de parques eólicos en la zona de Pedernales:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A2: Instalación de parques eólicos en la zona de Montecristi:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A3: Instalación de parques eólicos en la zona de Baní:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A4: Instalación de parques eólicos en la zona de Puerto Plata:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A5: Instalación de plantas fotovoltaicas a gran escala cerca de Sto. Dgo.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A6: Instalación de plantas fotovoltaicas a gran escala cerca de Santiago.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A7: Instalación de fotovoltaica para electrificación rural.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A8: Generación a partir de gas de vertedero en Santiago.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A9: Generación a partir de gas de vertedero en Santo Domingo.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A10: Generación a partir de gas de vertedero en La Romana.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

3. Con relación a la cantidad de recurso, valore las siguientes alternativas:

A1: Instalación de parques eólicos en la zona de Pedernales:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A2: Instalación de parques eólicos en la zona de Montecristi:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A3: Instalación de parques eólicos en la zona de Baní:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A4: Instalación de parques eólicos en la zona de Puerto Plata:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A5: Instalación de plantas fotovoltaicas a gran escala cerca de Sto. Dgo.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A6: Instalación de plantas fotovoltaicas a gran escala cerca de Santiago.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A7: Instalación de fotovoltaica para electrificación rural.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A8: Generación a partir de gas de vertedero en Santiago.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A9: Generación a partir de gas de vertedero en Santo Domingo.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A10: Generación a partir de gas de vertedero en La Romana.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

4. Con relación al impacto ambiental, valore las siguientes alternativas:

A1: Instalación de parques eólicos en la zona de Pedernales:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A2: Instalación de parques eólicos en la zona de Montecristi:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A3: Instalación de parques eólicos en la zona de Baní:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A4: Instalación de parques eólicos en la zona de Puerto Plata:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A5: Instalación de plantas fotovoltaicas a gran escala cerca de Sto. Dgo.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A6: Instalación de plantas fotovoltaicas a gran escala cerca de Santiago.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A7: Instalación de fotovoltaica para electrificación rural.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A8: Generación a partir de gas de vertedero en Santiago.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A9: Generación a partir de gas de vertedero en Santo Domingo.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A10: Generación a partir de gas de vertedero en La Romana.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

8.5.2. Resultado de las encuestas

Evaluación experto 1

Etapas 1: Comparación entre criterios

La comparación entre los criterios (C_i y C_j) se realizará mediante una escala de valores que irán de -4 hasta 4, siendo:

- **-4:** C_i es extremadamente menos importante que C_j
- **-3:** C_i es mucho menos importante que C_j
- **-2:** C_i es menos importante que C_j
- **-1:** C_i es moderadamente menos importante que C_j

- **0:** C_i y C_j son igualmente importantes
- **1:** C_i es moderadamente más importante que C_j
- **2:** C_i es más importante que C_j
- **3:** C_i es mucho más importante que C_j
- **4:** C_i es extremadamente más importante que C_j

Subraye el valor seleccionado que corresponda con la escala verbal descrita anteriormente, según considere.

1. Coste de implementación respecto a producción estimada:
-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4
2. Coste de implementación respecto a factor de carga:
-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4
3. Coste de implementación respecto a vida útil:
-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4
4. Coste de implementación respecto a Madurez de la tecnología:
-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4
5. Coste de implementación respecto a modularidad:
-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4
6. Coste de implementación respecto a Cantidad de recurso:
-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4
7. Coste de implementación respecto a Impacto ambiental:
-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4
8. producción estimada respecto a factor de carga:
-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4
9. producción estimada respecto a Vida útil:
-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4
10. producción estimada respecto a madurez de la tecnología:
-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4
11. producción estimada respecto a modularidad:
-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4
12. producción estimada respecto a cantidad de recurso:
-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

13. producción estimada respecto a Impacto ambiental:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

14. Factor de carga respecto a Vida útil:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

15. Factor de carga respecto a madurez de la tecnología:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

16. Factor de carga respecto a modularidad:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

17. Factor de carga respecto a cantidad de recurso:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

18. Factor de carga respecto a Impacto ambiental:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

19. Vida útil respecto a madurez de la tecnología:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

20. Vida útil respecto a modularidad:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

21. Vida útil respecto a cantidad de recurso:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

22. Vida útil respecto a Impacto ambiental:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

23. Madurez de la tecnología respecto a modularidad:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

24. Madurez de la tecnología respecto a cantidad de recurso:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

25. Madurez de la tecnología respecto a Impacto ambiental:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

26. Modularidad respecto a cantidad de recurso:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

27. Modularidad respecto a Impacto ambiental:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

28. Cantidad de recurso respecto a Impacto ambiental:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

Etapa 2: Comparación de alternativas con relación a cada criterio, se evaluará otorgando valores entre 1 y 10, siendo:

- Valor de 1: La alternativa tiene una valoración muy baja con respecto al criterio.
- Valor de 5: La alternativa tiene una valoración media respecto al criterio.
- Valor de 10: La alternativa tiene una valoración muy alta respecto al criterio.

Subraye el valor seleccionado según considere

1. Con relación a la madurez de la tecnología, valore las siguientes alternativas:

A1: Instalación de parques eólicos en la zona de Pedernales:

1 2 3 4 5 6 7 8 **9** 10

A2: Instalación de parques eólicos en la zona de Montecristi:

1 2 3 4 5 6 7 **8** 9 10

A3: Instalación de parques eólicos en la zona de Baní:

1 2 3 4 5 6 7 **8** 9 10

A4: Instalación de parques eólicos en la zona de Puerto Plata:

1 2 3 4 5 6 7 **8** 9 10

A5: Instalación de plantas fotovoltaicas a gran escala cerca de Sto. Dgo.

1 2 3 4 5 6 **7** 8 9 10

A6: Instalación de plantas fotovoltaicas a gran escala cerca de Santiago.

1 2 3 4 5 6 **7** 8 9 10

A7: Instalación de fotovoltaica para electrificación rural.

1 2 3 4 5 6 7 **8** 9 10

A8: Generación a partir de gas de vertedero en Santiago.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A9: Generación a partir de gas de vertedero en Santo Domingo.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A10: Generación a partir de gas de vertedero en La Romana.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

2. Con relación a la modularidad, valore las siguientes alternativas:

A1: Instalación de parques eólicos en la zona de Pedernales:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A2: Instalación de parques eólicos en la zona de Montecristi:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A3: Instalación de parques eólicos en la zona de Baní:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A4: Instalación de parques eólicos en la zona de Puerto Plata:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A5: Instalación de plantas fotovoltaicas a gran escala cerca de Sto. Dgo.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A6: Instalación de plantas fotovoltaicas a gran escala cerca de Santiago.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A7: Instalación de fotovoltaica para electrificación rural.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A8: Generación a partir de gas de vertedero en Santiago.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A9: Generación a partir de gas de vertedero en Santo Domingo.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A10: Generación a partir de gas de vertedero en La Romana.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

3. Con relación a la cantidad de recurso, valore las siguientes alternativas:

A1: Instalación de parques eólicos en la zona de Pedernales:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A2: Instalación de parques eólicos en la zona de Montecristi:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A3: Instalación de parques eólicos en la zona de Baní:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A4: Instalación de parques eólicos en la zona de Puerto Plata:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A5: Instalación de plantas fotovoltaicas a gran escala cerca de Sto. Dgo.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A6: Instalación de plantas fotovoltaicas a gran escala cerca de Santiago.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A7: Instalación de fotovoltaica para electrificación rural.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A8: Generación a partir de gas de vertedero en Santiago.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A9: Generación a partir de gas de vertedero en Santo Domingo.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A10: Generación a partir de gas de vertedero en La Romana.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

4. Con relación al impacto ambiental, valore las siguientes alternativas:

A1: Instalación de parques eólicos en la zona de Pedernales:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A2: Instalación de parques eólicos en la zona de Montecristi:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A3: Instalación de parques eólicos en la zona de Baní:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A4: Instalación de parques eólicos en la zona de Puerto Plata:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A5: Instalación de plantas fotovoltaicas a gran escala cerca de Sto. Dgo.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A6: Instalación de plantas fotovoltaicas a gran escala cerca de Santiago.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A7: Instalación de fotovoltaica para electrificación rural.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A8: Generación a partir de gas de vertedero en Santiago.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A9: Generación a partir de gas de vertedero en Santo Domingo.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A10: Generación a partir de gas de vertedero en La Romana.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Aplicación del método AHP-TOPSIS a la evaluación del primer experto

En primer lugar, se colocaron los datos de la comparación binaria entre criterios de acuerdo con los valores asignados a la escala lingüística de Saaty como se muestra en la tabla 8 de este documento. A continuación, se muestra la matriz resultante de la comparación entre criterios.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
C1	1	1/3	1/3	5	7	3	1/5	1/3
C2	3	1	1	5	9	3	3	5
C3	3	1	1	7	7	5	1	5
C4	1/5	1/5	1/7	1	3	1/3	1/5	1
C5	1/7	1/9	1/7	1/3	1	1/5	1/7	1/3
C6	1/3	1/3	1/5	3	5	1	1/3	5
C7	5	1/3	1	5	7	3	1	7
C8	3	1/5	1/5	1	3	1/5	1/7	1

Tabla 9: Matriz de comparación binaria entre criterios. Fuente: Propia.

Una vez elaborada la matriz de comparación entre criterios, se determina la media geométrica de cada criterio a fin de determinar el valor de los pesos de estos.

	MEDIA GEOMETRICA	VECTOR DE PESOS
	0.969	0.086
	2.971	0.263
	2.790	0.247
	0.429	0.038
	0.228	0.020
	0.929	0.082
	2.432	0.215
	0.564	0.050
SUM	11.313	1.000

Tabla 10: Media geométrica de los criterios y vector de pesos para los criterios (evolución 1er experto).
Fuente: Propia.

Después de determinar los pesos de cada criterio, buscamos la consistencia del sistema multiplicando el vector de pesos por la matriz de comparación entre criterios.

0.892	Lambda Max = 9.252 Ic = 0.179 Rc = 0.09
2.278	
2.048	
0.323	
0.173	
0.783	
1.903	
0.554	

Tabla 11: Matriz resultante de la multiplicación entre el vector de pesos y la matriz de comparación binaria entre criterios (evaluación 1er experto). Fuente: Propia

Como se puede observar en la tabla anterior, con la matriz resultante se determinó el λ_{max} o valor propio principal de la matriz, para luego buscar el índice de consistencia (Ic).

Saaty define la ratio de consistencia como:

$$Rc = \frac{Ic}{IR}$$

Donde, IR o índice aleatorio viene dado por la siguiente tabla;

n	1-2	3	4	5	6	7	8	9
IR	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45

Tabla 12: Índice aleatorio a partir del número de criterios. Fuente:

Se considera que un Rc menor o igual al 10%, es un valor aceptable.

Dicho esto, como se pudo observar en la tabla 11, la ratio de consistencia resultante de la evaluación del primer experto es de 0.09, por lo cual fue posible trabajar con las evaluaciones de este, a fin de aplicar el método TOPSIS determinando el orden de importancia de nuestras alternativas.

Para la aplicación de TOPSIS, fue necesario crear la matriz de decisión a partir de la cual se comienza a aplicar el método. A continuación, se presenta la matriz de decisión resultante de la evaluación del primer experto.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	Coste	Produc. Estimada	Factor de cap.	Vida útil	Madurez de la tec.	Modularidad de la tec.	Cant. de recurso	Impacto Ambiental
	MM USD\$/MW	GWh/año	%	Años	Min = 1 Max = 10	Min = 1 Max = 10	Min = 1 Max = 10	Min = 1 Max = 10
Pesos	0.086	0.263	0.247	0.038	0.020	0.082	0.215	0.050
A1	2.59	1,939.40	30	20	9	3	9	8
A2	2.2	827.00	20	20	8	3	10	8
A3	2.57	888.00	24	20	8	3	10	8
A4	2.3	1,670.00	20	20	8	3	10	8
A5	2.2	902.80	21	25	7	8	8	4
A6	1.6	805.80	21	25	7	8	8	4
A7	4.06	146.00	16	12	8	1	9	9
A8	1.43	357.00	85	20	1	5	10	5
A9	1.3	714.00	85	20	1	5	10	5
A10	1.5	238.00	85	20	1	5	10	5

Tabla 13: Matriz de decisión (evaluación 1er experto). Fuente: Propia.

Como el método TOPSIS nos permite evaluar criterios cuantitativos y cualitativos fue necesario normalizar los valores de esta, para poder trabajar con ellos en la aplicación de este.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	Coste	Produc. Estimada	Factor de cap.	Vida útil	Madurez de la tec.	Modularidad de la tec.	Cant. de recurso	Impacto Ambiental
	MM USD\$/MW	GWh/año	%	Años	Min = 1 Max = 10	Min = 1 Max = 10	Min = 1 Max = 10	Min = 1 Max = 10
Pesos	0.086	0.263	0.247	0.038	0.020	0.082	0.215	0.050
A1	0.355	0.607	0.189	0.309	0.430	0.194	0.302	0.380
A2	0.301	0.259	0.126	0.309	0.382	0.194	0.335	0.380
A3	0.352	0.278	0.152	0.309	0.382	0.194	0.335	0.380
A4	0.315	0.523	0.126	0.309	0.382	0.194	0.335	0.380
A5	0.301	0.283	0.133	0.386	0.334	0.516	0.268	0.190
A6	0.219	0.252	0.133	0.386	0.334	0.516	0.268	0.190
A7	0.556	0.046	0.101	0.185	0.382	0.065	0.302	0.427
A8	0.196	0.112	0.537	0.309	0.048	0.323	0.335	0.237
A9	0.178	0.224	0.537	0.309	0.048	0.323	0.335	0.237
A10	0.205	0.075	0.537	0.309	0.048	0.323	0.335	0.237

Tabla 14: Matriz de decisión normalizada (evaluación 1er experto). Fuente: propia.

Después de normalizar la matriz, se multiplico cada término por el peso correspondiente para lograr la ponderación de esta. En la tabla siguiente se muestra dicha matriz con los valores máximos y mínimos resaltados en verde y naranja respectivamente.

A1	0.030	0.159	0.047	0.012	0.009	0.016	0.065	0.019
A2	0.026	0.068	0.031	0.012	0.008	0.016	0.072	0.019
A3	0.030	0.073	0.037	0.012	0.008	0.016	0.072	0.019
A4	0.027	0.137	0.031	0.012	0.008	0.016	0.072	0.019
A5	0.026	0.074	0.033	0.015	0.007	0.042	0.058	0.009
A6	0.019	0.066	0.033	0.015	0.007	0.042	0.058	0.009
A7	0.048	0.012	0.025	0.007	0.008	0.005	0.065	0.021
A8	0.017	0.029	0.132	0.012	0.001	0.027	0.072	0.012
A9	0.015	0.059	0.132	0.012	0.001	0.027	0.072	0.012
A10	0.018	0.020	0.132	0.012	0.001	0.027	0.072	0.012

Tabla 15: Matriz ponderada con los valores máximos y mínimos resaltados (evolución 1er experto).

Fuente: Propia.

Con la matriz ponderada y el previo sombreado de los valores máximos y mínimos, se procedió a determinar la solución ideal positiva (PIS) junto con la solución ideal negativa (NIS).

A+	0.048	0.159	0.132	0.015	0.009	0.042	0.072	0.009
A-	0.015	0.012	0.025	0.007	0.001	0.005	0.058	0.021

Tabla 16: Solución ideal positiva (PIS) y solución ideal negativa (NIS) (evaluación 1er experto). Fuente: propia.

d+A1	0.092	d-A1	0.151
d+A2	0.141	d-A2	0.061
d+A3	0.133	d-A3	0.067
d+A4	0.109	d-A4	0.128
d+A5	0.134	d-A5	0.075
d+A6	0.140	d-A6	0.068
d+A7	0.187	d-A7	0.034
d+A8	0.135	d-A8	0.112
d+A9	0.107	d-A9	0.120
d+A10	0.144	d-A10	0.111

Tabla 17: Calculo de las medidas de las distancias de cada alternativa respecto al PIS y al NIS. (evaluación 1er experto) Fuente: propia.

Una vez fueron calculadas las distancias positivas y negativas respecto a cada alternativa, finalmente se procedió a realizar el calculo de la proximidad relativa, a fin de determinar el orden o "ranking" para los proyectos evaluados por el experto.

$RA1 = \frac{0.621}{\quad}$	$RA6 = \frac{0.327}{\quad}$
$RA2 = \frac{0.301}{\quad}$	$RA7 = \frac{0.153}{\quad}$
$RA3 = \frac{0.336}{\quad}$	$RA8 = \frac{0.454}{\quad}$
$RA4 = \frac{0.538}{\quad}$	$RA9 = \frac{0.529}{\quad}$
$RA5 = \frac{0.360}{\quad}$	$RA10 = \frac{0.435}{\quad}$

Tabla 18: Cálculo de la proximidad relativa para cada alternativa (evaluación 1er experto). Fuente: propia.

Finalmente, tras la primera evaluación se ha determinado que el orden de importancia para la integración de los proyectos va dado por el siguiente orden:

RA1 > RA4 > RA9 > RA8 > RA10 > RA5 > RA3 > RA6 > RA2 > RA7

Evaluación experto 2

Debido a que la evaluación con los expertos fue la misma, se presentaran los resultados para los siguientes dos casos junto con sus respectivos resultados.

A continuación, se presentan los resultados de la encuesta realizada por el segundo experto.

Etapas 1: Comparación entre criterios

La comparación entre los criterios (C_i y C_j) se realizará mediante una escala de valores que irán de -4 hasta 4, siendo:

- **-4:** C_i es extremadamente menos importante que C_j
- **-3:** C_i es mucho menos importante que C_j
- **-2:** C_i es menos importante que C_j
- **-1:** C_i es moderadamente menos importante que C_j
- **0:** C_i y C_j son igualmente importantes
- **1:** C_i es moderadamente más importante que C_j
- **2:** C_i es más importante que C_j
- **3:** C_i es mucho más importante que C_j
- **4:** C_i es extremadamente más importante que C_j

Subraye el valor seleccionado que corresponda con la escala verbal descrita anteriormente, según considere.

1. Coste de implementación respecto a producción estimada:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

2. Coste de implementación respecto a factor de carga:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

3. Coste de implementación respecto a vida útil:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

4. Coste de implementación respecto a Madurez de la tecnología:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

5. Coste de implementación respecto a modularidad:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

6. Coste de implementación respecto a Cantidad de recurso:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

7. Coste de implementación respecto a Impacto ambiental:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

8. Producción estimada respecto a factor de carga:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

9. Producción estimada respecto a Vida útil:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

10. Producción estimada respecto a madurez de la tecnología:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

11. Producción estimada respecto a modularidad:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

12. Producción estimada respecto a cantidad de recurso:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

13. Producción estimada respecto a Impacto ambiental:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

14. Factor de carga respecto a Vida útil:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

15. Factor de carga respecto a madurez de la tecnología:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

16. Factor de carga respecto a modularidad:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

17. Factor de carga respecto a cantidad de recurso:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

18. Factor de carga respecto a Impacto ambiental:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

19. Vida útil respecto a madurez de la tecnología:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

20. Vida útil respecto a modularidad:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

21. Vida útil respecto a cantidad de recurso:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

22. Vida útil respecto a Impacto ambiental:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

23. Madurez de la tecnología respecto a modularidad:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

24. Madurez de la tecnología respecto a cantidad de recurso:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

25. Madurez de la tecnología respecto a Impacto ambiental:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

26. Modularidad respecto a cantidad de recurso:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

27. Modularidad respecto a Impacto ambiental:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

28. Cantidad de recurso respecto a Impacto ambiental:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

Etapla 2: Comparación de alternativas con relación a cada criterio, se evaluará otorgando valores entre 1 y 10, siendo:

- Valor de 1: La alternativa tiene una valoración muy baja con respecto al criterio.
- Valor de 5: La alternativa tiene una valoración media respecto al criterio.

- Valor de 10: La alternativa tiene una valoración muy alta respecto al criterio.

Subraye el valor seleccionado según considere

1. Con relación a la madurez de la tecnología, valore las siguientes alternativas:

A1: Instalación de parques eólicos en la zona de Pedernales:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 **10**

A2: Instalación de parques eólicos en la zona de Montecristi:

1 2 3 4 5 6 7 8 **9** 10

A3: Instalación de parques eólicos en la zona de Baní:

1 2 3 4 5 6 7 8 **9** 10

A4: Instalación de parques eólicos en la zona de Puerto plata:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 **10**

A5: Instalación de plantas fotovoltaicas a gran escala cerca de Sto. Dgo.

1 2 3 4 5 6 **7** 8 9 10

A6: Instalación de plantas fotovoltaicas a gran escala cerca de Santiago.

1 2 3 4 5 6 7 8 **9** 10

A7: Instalación de fotovoltaica para electrificación rural.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 **10**

A8: Generación a partir de gas de vertedero en Santiago.

1 2 **3** 4 5 6 7 8 9 10

A9: Generación a partir de gas de vertedero en Santo Domingo.

1 2 **3** 4 5 6 7 8 9 10

A10: Generación a partir de gas de vertedero en La Romana.

1 2 **3** 4 5 6 7 8 9 10

2. Con relación a la modularidad, valore las siguientes alternativas:

A1: Instalación de parques eólicos en la zona de Pedernales:

1 2 3 **4** 5 6 7 8 9 10

A2: Instalación de parques eólicos en la zona de Montecristi:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A3: Instalación de parques eólicos en la zona de Baní:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A4: Instalación de parques eólicos en la zona de Puerto Plata:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A5: Instalación de plantas fotovoltaicas a gran escala cerca de Sto. Dgo.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A6: Instalación de plantas fotovoltaicas a gran escala cerca de Santiago.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A7: Instalación de fotovoltaica para electrificación rural.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A8: Generación a partir de gas de vertedero en Santiago.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A9: Generación a partir de gas de vertedero en Santo Domingo.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A10: Generación a partir de gas de vertedero en La Romana.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

3. Con relación a la cantidad de recurso, valore las siguientes alternativas:

A1: Instalación de parques eólicos en la zona de Pedernales:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A2: Instalación de parques eólicos en la zona de Montecristi:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A3: Instalación de parques eólicos en la zona de Baní:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A4: Instalación de parques eólicos en la zona de Puerto Plata:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A5: Instalación de plantas fotovoltaicas a gran escala cerca de Sto. Dgo.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A6: Instalación de plantas fotovoltaicas a gran escala cerca de Santiago.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A7: Instalación de fotovoltaica para electrificación rural.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A8: Generación a partir de gas de vertedero en Santiago.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A9: Generación a partir de gas de vertedero en Santo Domingo.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A10: Generación a partir de gas de vertedero en La Romana.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

4. Con relación al impacto ambiental, valore las siguientes alternativas:

A1: Instalación de parques eólicos en la zona de Pedernales:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A2: Instalación de parques eólicos en la zona de Montecristi:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A3: Instalación de parques eólicos en la zona de Baní:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A4: Instalación de parques eólicos en la zona de Puerto Plata:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A5: Instalación de plantas fotovoltaicas a gran escala cerca de Sto. Dgo.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A6: Instalación de plantas fotovoltaicas a gran escala cerca de Santiago.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A7: Instalación de fotovoltaica para electrificación rural.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A8: Generación a partir de gas de vertedero en Santiago.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A9: Generación a partir de gas de vertedero en Santo Domingo.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A10: Generación a partir de gas de vertedero en La Romana.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Aplicación del método AHP-TOPSIS a la evaluación del segundo experto

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
C1	1	1/5	1/3	5	5	1/3	1/5	1
C2	5	1	1	5	9	5	3	7
C3	3	1	1	9	7	3	1	7
C4	1/5	1/5	1/9	1	3	1/3	1/5	1
C5	1/5	1/9	1/7	1/3	1	1/5	1/7	1/3
C6	3	1/5	1/3	3	5	1	1/7	5
C7	5	1/3	1	5	7	7	1	5
C8	1	1/7	1/7	1	3	1/5	1/5	1

Tabla 19: Matriz de comparación binaria entre criterios (evaluación 2do experto). Fuente: propia,

Calculo de la media geométrica de la matriz de criterios y vector de pesos referente a cada criterio

	MEDIA GEOMETRICA	VECTOR DE PESOS
	0.760	0.064
	3.521	0.296
	2.817	0.236
	0.416	0.035
	0.237	0.020
	1.100	0.092
	2.593	0.218
	0.472	0.040
SUM	11.915	1.000

Tabla 20: Media geométrica y vector de pesos (evaluación 2do experto). Fuente: propia.

Tabla con los valores de la matriz resultante de la multiplicación de los pesos y la matriz de combinación entre criterios

0.590	
2.596	
1.948	
0.307	Lambda Max = 8.856
0.174	Ic = 0.122
0.855	Rc = 0.06
2.029	
0.336	

Tabla 21: Matriz resultante de multiplicar el vector de pesos por la matriz de comparación entre criterios. Fuente: Propia.

Como se puede observar, la ratio de consistencia es de 0.06. Este valor es inferior a 10%, por lo que se procedió a la aplicación del método para el resto de la evaluación.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	Coste	Produc. Estimada	Factor de cap.	Vida útil	Madurez de la tec.	Modularidad de la tec.	Cant. de recurso	Impacto Ambiental
	MM USD\$/MW	GWh/año	%	Años	Min = 1 Max = 10	Min = 1 Max = 10	Min = 1 Max = 10	Min = 1 Max = 10
Pesos	0.064	0.296	0.236	0.035	0.020	0.092	0.218	0.040
A1	2.59	1,939.40	30	20	10	4	8	10
A2	2.2	827.00	20	20	9	4	10	9
A3	2.57	888.00	24	20	9	4	10	9
A4	2.3	1,670.00	20	20	10	4	10	10
A5	2.2	902.80	21	25	7	7	8	6
A6	1.6	805.80	21	25	9	8	9	6
A7	4.06	146.00	16	12	10	2	10	8
A8	1.43	357.00	85	20	3	7	10	7
A9	1.3	714.00	85	20	3	7	9	7
A10	1.5	238.00	85	20	3	6	7	6

Tabla 22: Matriz de decisión (evaluación 2do experto). Fuente Propia.

Una vez fue construida la matriz de decisión del segundo experto, se procedió a la normalización de esta.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	Coste	Produc. Estimada	Factor de cap.	Vida útil	Madurez de la tec.	Modularidad de la tec.	Cant. de recurso	Impacto Ambiental
	MM USD\$/MW	GWh/año	%	Años	Min = 1 Max = 10	Min = 1 Max = 10	Min = 1 Max = 10	Min = 1 Max = 10
Pesos	0.064	0.296	0.236	0.035	0.020	0.092	0.218	0.040
A1	0.355	0.607	0.189	0.309	0.402	0.225	0.276	0.398
A2	0.301	0.259	0.126	0.309	0.362	0.225	0.345	0.358
A3	0.352	0.278	0.152	0.309	0.362	0.225	0.345	0.358
A4	0.315	0.523	0.126	0.309	0.402	0.225	0.345	0.398
A5	0.301	0.283	0.133	0.386	0.281	0.394	0.276	0.239
A6	0.219	0.252	0.133	0.386	0.362	0.451	0.311	0.239
A7	0.556	0.046	0.101	0.185	0.402	0.113	0.345	0.318
A8	0.196	0.112	0.537	0.309	0.121	0.394	0.345	0.278
A9	0.178	0.224	0.537	0.309	0.121	0.394	0.311	0.278
A10	0.205	0.075	0.537	0.309	0.121	0.338	0.242	0.239

Tabla 23: Matriz de decisión normalizada. (evaluación 2do experto). Fuente: Propia.

Después de normalizar la matriz de decisión, se realizó la ponderación de esta multiplicado cada termino por el peso del criterio correspondiente.

A1	0.023	0.179	0.045	0.011	0.008	0.021	0.060	0.016
A2	0.019	0.077	0.030	0.011	0.007	0.021	0.075	0.014
A3	0.022	0.082	0.036	0.011	0.007	0.021	0.075	0.014
A4	0.020	0.155	0.030	0.011	0.008	0.021	0.075	0.016
A5	0.019	0.084	0.031	0.013	0.006	0.036	0.060	0.009
A6	0.014	0.075	0.031	0.013	0.007	0.042	0.068	0.009
A7	0.035	0.014	0.024	0.006	0.008	0.010	0.075	0.013
A8	0.012	0.033	0.127	0.011	0.002	0.036	0.075	0.011
A9	0.011	0.066	0.127	0.011	0.002	0.036	0.068	0.011
A10	0.013	0.022	0.127	0.011	0.002	0.031	0.053	0.009

Tabla 24: Matriz ponderada (evaluación 2do experto). Fuente: Propia

Tras la ponderación de la matriz, se buscaron las soluciones ideales positiva (PIS) y negativa (NIS). Cabe destacar que, en este punto de la evaluación, es muy importante tener en cuenta los criterios a maximizar.

En síntesis, de todos los criterios seleccionados como es el caso del impacto ambiental, era un aspecto por minimizar por lo que en la columna de este para la solución ideal positiva el menor valor fue el indicado.

A+	0.035	0.179	0.127	0.013	0.008	0.042	0.075	0.009
A-	0.011	0.014	0.024	0.006	0.002	0.010	0.053	0.016

Tabla 25: Solución ideal positiva (PIS) y solución ideal negativa (NIS) (evaluación 2do experto). Fuente: Propia.

Con los valores de la tabla anterior y los de la ponderación de la matriz, se procedió al cálculo de las distancias positivas y negativas para cada alternativa.

Como resultado se obtuvieron los siguientes valores

d+A1	0.087	d-A1	0.168
d+A2	0.144	d-A2	0.069
d+A3	0.136	d-A3	0.075
d+A4	0.104	d-A4	0.144
d+A5	0.137	d-A5	0.076
d+A6	0.144	d-A6	0.071
d+A7	0.198	d-A7	0.034
d+A8	0.148	d-A8	0.111
d+A9	0.116	d-A9	0.120
d+A10	0.161	d-A10	0.106

Tabla 26: Cálculo de las distancias positivas y negativas para cada alternativa (evaluación 2do experto). Fuente: Propia.

Una vez que se obtuvieron las distancias negativas y positivas para cada una de las alternativas evaluadas, finalmente se cálculo la proximidad relativa de estas.

RA1 = $\frac{0.659}{\quad}$	RA6 = $\frac{0.332}{\quad}$
RA2 = $\frac{0.323}{\quad}$	RA7 = $\frac{0.145}{\quad}$
RA3 = $\frac{0.356}{\quad}$	RA8 = $\frac{0.427}{\quad}$
RA4 = $\frac{0.581}{\quad}$	RA9 = $\frac{0.507}{\quad}$
RA5 = $\frac{0.358}{\quad}$	RA10 = $\frac{0.396}{\quad}$

*Tabla 27: Cálculo de la proximidad relativa para cada una de las alternativas (evaluación 2do experto).
Fuente: propia.*

Tras obtener los valores de la proximidad relativa, se observó que el segundo experto coincide en sus valoraciones con el primer experto. De acuerdo con los valores resultantes el orden de implementación idóneo sería el siguiente:

RA1 > RA4 > RA9 > RA8 > RA10 > RA5 > RA3 > RA6 > RA2 > RA7

Evaluación experto 3

Los resultados arrojados por la encuesta realizada al tercer experto, son los siguientes:

Etapas 1: Comparación entre criterios

La comparación entre los criterios (C_i y C_j) se realizará mediante una escala de valores que irán de -4 hasta 4, siendo:

- **-4:** C_i es extremadamente menos importante que C_j
- **-3:** C_i es mucho menos importante que C_j
- **-2:** C_i es menos importante que C_j
- **-1:** C_i es moderadamente menos importante que C_j
- **0:** C_i y C_j son igualmente importantes
- **1:** C_i es moderadamente más importante que C_j
- **2:** C_i es más importante que C_j
- **3:** C_i es mucho más importante que C_j
- **4:** C_i es extremadamente más importante que C_j

Subraye el valor seleccionado que corresponda con la escala verbal descrita anteriormente, según considere.

1. Coste de implementación respecto a producción estimada:

-4 -3 -2 -1 0 1 **2** 3 4

2. Coste de implementación respecto a factor de carga:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 **3** 4

3. Coste de implementación respecto a vida útil:

-4 -3 -2 -1 0 **1** 2 3 4

4. Coste de implementación respecto a Madurez de la tecnología:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 **3** 4

5. Coste de implementación respecto a modularidad:

-4 -3 -2 -1 **0** 1 2 3 4

6. Coste de implementación respecto a Cantidad de recurso:

-4 -3 **-2** -1 0 1 2 3 4

7. Coste de implementación respecto a Impacto ambiental:

-4 -3 -2 -1 0 **1** 2 3 4

8. Producción estimada respecto a factor de carga:

-4 -3 -2 -1 **0** 1 2 3 4

9. Producción estimada respecto a Vida útil:

-4 -3 -2 -1 0 **1** 2 3 4

10. Producción estimada respecto a madurez de la tecnología:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 **3** 4

11. Producción estimada respecto a modularidad:

-4 -3 -2 -1 0 1 **2** 3 4

12. Producción estimada respecto a cantidad de recurso:

-4 -3 **-2** -1 0 1 2 3 4

13. Producción estimada respecto a Impacto ambiental:

-4 -3 -2 -1 0 1 **2** 3 4

14. Factor de carga respecto a Vida útil:

-4 -3 -2 -1 0 1 **2** 3 4

15. Factor de carga respecto a madurez de la tecnología:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

16. Factor de carga respecto a modularidad:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

17. Factor de carga respecto a cantidad de recurso:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

18. Factor de carga respecto a Impacto ambiental:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

19. Vida útil respecto a madurez de la tecnología:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

20. Vida útil respecto a modularidad:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

21. Vida útil respecto a cantidad de recurso:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

22. Vida útil respecto a Impacto ambiental:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

23. Madurez de la tecnología respecto a modularidad:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

24. Madurez de la tecnología respecto a cantidad de recurso:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

25. Madurez de la tecnología respecto a Impacto ambiental:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

26. Modularidad respecto a cantidad de recurso:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

27. Modularidad respecto a Impacto ambiental:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

28. Cantidad de recurso respecto a Impacto ambiental:

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

Etapas 2: Comparación de alternativas con relación a cada criterio, se evaluará otorgando valores entre 1 y 10, siendo:

- Valor de 1: La alternativa tiene una valoración muy baja con respecto al criterio.

- Valor de 5: La alternativa tiene una valoración media respecto al criterio.
- Valor de 10: La alternativa tiene una valoración muy alta respecto al criterio.

Subraye el valor seleccionado según considere

1. Con relación a la madurez de la tecnología, valore las siguientes alternativas:

A1: Instalación de parques eólicos en la zona de pedernales:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 **10**

A2: Instalación de parques eólicos en la zona de Montecristi:

1 2 3 4 5 6 **7** 8 9 10

A3: Instalación de parques eólicos en la zona de Baní:

1 2 3 4 5 6 **7** 8 9 10

A4: Instalación de parques eólicos en la zona de Puerto plata:

1 2 3 4 5 6 **7** 8 9 10

A5: Instalación de plantas fotovoltaicas a gran escala cerca de Sto. Dgo.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 **10**

A6: Instalación de plantas fotovoltaicas a gran escala cerca de Santiago.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 **10**

A7: Instalación de fotovoltaica para electrificación rural.

1 2 3 4 **5** 6 7 8 9 10

A8: Generación a partir de gas de vertedero en Santiago.

1 **2** 3 4 5 6 7 8 9 10

A9: Generación a partir de gas de vertedero en Santo Domingo.

1 **2** 3 4 5 6 7 8 9 10

A10: Generación a partir de gas de vertedero en La Romana.

1 **2** 3 4 5 6 7 8 9 10

2. Con relación a la modularidad, valore las siguientes alternativas:

A1: Instalación de parques eólicos en la zona de pedernales:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A2: Instalación de parques eólicos en la zona de Montecristi:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A3: Instalación de parques eólicos en la zona de Baní:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A4: Instalación de parques eólicos en la zona de Puerto plata:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A5: Instalación de plantas fotovoltaicas a gran escala cerca de Sto. Dgo.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A6: Instalación de plantas fotovoltaicas a gran escala cerca de Santiago.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A7: Instalación de fotovoltaica para electrificación rural.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A8: Generación a partir de gas de vertedero en Santiago.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A9: Generación a partir de gas de vertedero en Santo Domingo.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A10: Generación a partir de gas de vertedero en La Romana.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

3. Con relación a la cantidad de recurso, valore las siguientes alternativas:

A1: Instalación de parques eólicos en la zona de pedernales:

2 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A2: Instalación de parques eólicos en la zona de Montecristi:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A3: Instalación de parques eólicos en la zona de Baní:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A4: Instalación de parques eólicos en la zona de Puerto plata:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A5: Instalación de plantas fotovoltaicas a gran escala cerca de Sto. Dgo.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A6: Instalación de plantas fotovoltaicas a gran escala cerca de Santiago.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A7: Instalación de fotovoltaica para electrificación rural.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A8: Generación a partir de gas de vertedero en Santiago.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A9: Generación a partir de gas de vertedero en Santo Domingo.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A10: Generación a partir de gas de vertedero en La Romana.

2 2 3 4 5 6 7 8 9 10

4. Con relación al impacto ambiental, valore las siguientes alternativas:

A1: Instalación de parques eólicos en la zona de pedernales:

2 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A2: Instalación de parques eólicos en la zona de Montecristi:

2 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A3: Instalación de parques eólicos en la zona de Baní:

2 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A4: Instalación de parques eólicos en la zona de Puerto plata:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A5: Instalación de plantas fotovoltaicas a gran escala cerca de Sto. Dgo.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A6: Instalación de plantas fotovoltaicas a gran escala cerca de Santiago.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A7: Instalación de fotovoltaica para electrificación rural.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A8: Generación a partir de gas de vertedero en Santiago.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A9: Generación a partir de gas de vertedero en Santo Domingo.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A10: Generación a partir de gas de vertedero en La Romana.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Aplicación del método AHP-TOPSIS a la evaluación del tercer experto

A continuación, matriz de comparación binaria entre criterios

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
C1	1	1	1/3	3	7	1	1/5	1
C2	1	1	1	3	7	5	1/5	5
C3	3	1	1	5	9	3	1	7
C4	1/3	1/3	1/5	1	1	1/3	1/5	5
C5	1/7	1/7	1/9	1	1	7	1	5
C6	1	1/5	1/3	3	1/7	1	1	5
C7	5	5	1	5	1	1	1	5
C8	1	1/5	1/7	1/5	1/5	1/5	1/5	1

Tabla 28: Comparación binaria entre criterios (evaluación 3er experto). Fuente: Propia.

Calculo de media geométrica normalizada y vector de pesos para cada criterio.

	MEDIA GEOMETRICA	VECTOR DE PESOS
	1.043	0.103
	1.789	0.177
	2.701	0.267
	0.542	0.054
	0.729	0.072
	0.784	0.078
	2.236	0.221
	0.287	0.028
SUM	10.110	1.000

Tabla 29: Media geométrica de los criterios y vector de peso. Fuente: Propia

Después de obtener el vector de pesos, se determinó el λ_{max} y el índice de consistencia

1.184	
3.929	
7.214	
0.432	Lamda Max = 14.478
1.099	Ic = 0.925
0.828	Rc = 0.18
4.202	
0.061	

Tabla 30: Vector resultante, índice de consistencia y ratio de consistencia (evaluación 3er experto).
Fuente: Propia.

Como se puede observar en la tabla anterior, el resultado obtenido para el experto 3 del ratio de consistencia es mayor del 10%. Por lo que, debido a esto no se tomara en cuenta la evaluación de este en el cálculo definitivo para determinar el orden en que se integraran las alternativas.

Aplicación del método AHP-TOPSIS a la evaluación del primer y segundo expertos de manera combinada.

Para la aplicación de este método de manera combinada, se trabajó los datos de ambas evaluaciones aplicando media geométrica para poder calcular un dato definitivo producto del aporte de cada una de las evaluaciones.

A continuación, se presentan las matrices de los expertos uno y dos y la matriz resultante tras aplicar media geométrica a estos.

Comparación entre criterios experto 1

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
C1	1.00	0.33	0.33	5.00	7.00	3.00	0.20	0.33
C2	3.00	1.00	1.00	5.00	9.00	3.00	3.00	5.00
C3	3.00	1.00	1.00	7.00	7.00	5.00	1.00	5.00
C4	0.20	0.20	0.14	1.00	3.00	0.33	0.20	1.00
C5	0.14	0.11	0.14	0.33	1.00	0.20	0.14	0.33
C6	0.33	0.33	0.20	3.00	5.00	1.00	0.33	5.00
C7	5.00	0.33	1.00	5.00	7.00	3.00	1.00	7.00
C8	3.00	0.20	0.20	1.00	3.00	0.20	0.14	1.00

Tabla 31: Matriz de comparación binaria entre criterios (evaluación 1er experto). Fuente Propia.

Comparación entre criterios experto 2								
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
C1	1.00	0.20	0.33	5.00	5.00	0.33	0.20	1.00
C2	5.00	1.00	1.00	5.00	9.00	5.00	3.00	7.00
C3	3.00	1.00	1.00	9.00	7.00	3.00	1.00	7.00
C4	0.20	0.20	0.11	1.00	3.00	0.33	0.20	1.00
C5	0.20	0.11	0.14	0.33	1.00	0.20	0.14	0.33
C6	3.00	0.20	0.33	3.00	5.00	1.00	0.14	5.00
C7	5.00	0.33	1.00	5.00	7.00	7.00	1.00	5.00
C8	1.00	0.14	0.14	1.00	3.00	0.20	0.20	1.00

Tabla 32: Matriz de comparación binaria entre criterios (evaluación 2do experto). Fuente: Propia.

Una vez obtenida la matriz de ambos expertos, se aplica media geométrica para obtener un único valor que represente el aporte de ambas valoraciones.

Media Geometrica para ambos expertos								
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
C1	1.00	0.26	0.33	5.00	5.92	1.00	0.20	0.58
C2	3.87	1.00	1.00	5.00	9.00	3.87	3.00	5.92
C3	3.00	1.00	1.00	7.94	7.00	3.87	1.00	5.92
C4	0.20	0.20	0.13	1.00	3.00	0.33	0.20	1.00
C5	0.17	0.11	0.14	0.33	1.00	0.20	0.14	0.33
C6	1.00	0.26	0.26	3.00	5.00	1.00	0.22	5.00
C7	5.00	0.33	1.00	5.00	7.00	4.58	1.00	5.92
C8	1.73	0.17	0.17	1.00	3.00	0.20	0.17	1.00

Tabla 33: Matriz de comparación binaria entre criterios resultante del aporte de ambos expertos. Fuente: Propia.

Al igual que en las evaluaciones individuales, es necesario comprobar el ratio de consistencia de la valorización de los expertos.

	<u>MEDIA GEOMETRICA</u>	<u>VECTOR DE PESOS</u>
	0.858	0.074
	3.235	0.279
	2.804	0.242
	0.422	0.036
	0.232	0.020
	1.011	0.087
	2.511	0.217
	0.516	0.045
SUM	<u>11.589</u>	<u>1.000</u>

Tabla 34: Vector de pesos resultante, integración de las valoraciones de ambos expertos. Fuente: Propia.

0.684	Lamda Max = 8.795 Ic = 0.114 Rc = 0.06
2.422	
1.991	
0.315	
0.174	
0.775	
1.908	
0.412	

Tabla 35: Matriz producto de la matriz de comparacion entre criterios y el vector de peso. Fuente: Propia

Como se puede observar en la tabla anterior, nuestro ratio de consistencia es favorable debido a que es menor del 10%. Una vez comprobado esto, se aplica el método TOPSIS para completar la evaluación.

Como se esta contemplando el aporte de las valoraciones de dos expertos, es necesario en este caso aplicar media geométrica a los valores de ambas matrices de decisión, como se puede observar en las siguientes tablas.

Matriz de decisión Experto 1

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	Coste	Produc. Estimada	Factor de cap.	Vida útil	Madurez de la tec.	Modularidad de la tec.	Cant. de recurso	Impacto Ambiental
	MM USD\$/MW	GWh/año	%	Años	Min = 1 Max = 10	Min = 1 Max = 10	Min = 1 Max = 10	Min = 1 Max = 10
Pesos	0.086	0.263	0.247	0.038	0.020	0.082	0.215	0.050
A1	2.59	1,939.40	30	20	9	3	9	8
A2	2.2	827.00	20	20	8	3	10	8
A3	2.57	888.00	24	20	8	3	10	8
A4	2.3	1,670.00	20	20	8	3	10	8
A5	2.2	902.80	21	25	7	8	8	4
A6	1.6	805.80	21	25	7	8	8	4
A7	4.06	146.00	16	12	8	1	9	9
A8	1.43	357.00	85	20	1	5	10	5
A9	1.3	714.00	85	20	1	5	10	5
A10	1.5	238.00	85	20	1	5	10	5

Tabla 36: Matriz de decisión (evaluación 1er experto). Fuente: Propia.

Matriz de decisión Experto 2

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	Coste	Produc. Estimada	Factor de cap.	Vida útil	Madurez de la tec.	Modularidad de la tec.	Cant. de recurso	Impacto Ambiental
	MM USD\$/MW	GWh/año	%	Años	Min = 1 Max = 10	Min = 1 Max = 10	Min = 1 Max = 10	Min = 1 Max = 10
Pesos	0.064	0.296	0.236	0.035	0.020	0.092	0.218	0.040
A1	2.59	1,939.40	30	20	10	4	8	10
A2	2.2	827.00	20	20	9	4	10	9
A3	2.57	888.00	24	20	9	4	10	9
A4	2.3	1,670.00	20	20	10	4	10	10
A5	2.2	902.80	21	25	7	7	8	6
A6	1.6	805.80	21	25	9	8	9	6
A7	4.06	146.00	16	12	10	2	10	8
A8	1.43	357.00	85	20	3	7	10	7
A9	1.3	714.00	85	20	3	7	9	7
A10	1.5	238.00	85	20	3	6	7	6

Tabla 37: Matriz de decisión (evaluación 2do experto). Fuente: Propia.

Una vez tenemos ambas matrices de decisión, se aplica media geométrica y el resultado es el siguiente:

Aplicación de media geométrica a matriz de decisión de ambos expertos

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	Coste	Produc. Estimada	Factor de cap.	Vida útil	Madurez de la tec.	Modularidad de la tec.	Cant. de recurso	Impacto Ambiental
	MM USD\$/MW	GWh/año	%	Años	Min = 1 Max = 10	Min = 1 Max = 10	Min = 1 Max = 10	Min = 1 Max = 10
Pesos	0.074	0.279	0.242	0.036	0.020	0.087	0.217	0.045
A1	2.59	1,939.40	30	20	9	3	8	9
A2	2.2	827.00	20	20	8	3	10	8
A3	2.57	888.00	24	20	8	3	10	8
A4	2.3	1,670.00	20	20	9	3	10	9
A5	2.2	902.80	21	25	7	7	8	5
A6	1.6	805.80	21	25	8	8	8	5
A7	4.06	146.00	16	12	9	1	9	8
A8	1.43	357.00	85	20	2	6	10	6
A9	1.3	714.00	85	20	2	6	9	6
A10	1.5	238.00	85	20	2	5	8	5

Tabla 38: Matriz de decisión resultan tras aplicar media geométrica. Fuente: Propia.

Con el resultado obtenido tras calcular la media geométrica con ambas evaluaciones, se obtiene una matriz de decisión unificada. Posteriormente, se deberá normalizar la matriz para continuar ejecutando el método.

Normalización de matriz de decisión

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	Coste	Produc. Estimada	Factor de cap.	Vida útil	Madurez de la tec.	Modularidad de la tec.	Cant. de recurso	Impacto Ambiental
	MM USD\$/MW	GWh/año	%	Años	Min = 1 Max = 10	Min = 1 Max = 10	Min = 1 Max = 10	Min = 1 Max = 10
Pesos	0.074	0.279	0.242	0.036	0.020	0.087	0.217	0.045
A1	0.355	0.607	0.189	0.309	0.418	0.211	0.290	0.391
A2	0.301	0.259	0.126	0.309	0.374	0.211	0.341	0.371
A3	0.352	0.278	0.152	0.309	0.374	0.211	0.341	0.371
A4	0.315	0.523	0.126	0.309	0.394	0.211	0.341	0.391
A5	0.301	0.283	0.133	0.386	0.308	0.455	0.273	0.214
A6	0.219	0.252	0.133	0.386	0.350	0.487	0.290	0.214
A7	0.556	0.046	0.101	0.185	0.394	0.086	0.324	0.371
A8	0.196	0.112	0.537	0.309	0.076	0.360	0.341	0.258
A9	0.178	0.224	0.537	0.309	0.076	0.360	0.324	0.258
A10	0.205	0.075	0.537	0.309	0.076	0.333	0.286	0.239

Tabla 39: Matriz de decisión normalizada (aporte de evaluación de ambos expertos). Fuente: Propia.

Al igual que en las evaluaciones individuales, tras la normalización de esta se realiza la ponderación.

Matriz ponderada

A1	0.026	0.169	0.046	0.011	0.008	0.018	0.063	0.017
A2	0.022	0.072	0.031	0.011	0.007	0.018	0.074	0.017
A3	0.026	0.078	0.037	0.011	0.007	0.018	0.074	0.017
A4	0.023	0.146	0.031	0.011	0.008	0.018	0.074	0.017
A5	0.022	0.079	0.032	0.014	0.006	0.040	0.059	0.010
A6	0.016	0.070	0.032	0.014	0.007	0.042	0.063	0.010
A7	0.041	0.013	0.024	0.007	0.008	0.008	0.070	0.017
A8	0.015	0.031	0.130	0.011	0.002	0.031	0.074	0.012
A9	0.013	0.062	0.130	0.011	0.002	0.031	0.070	0.012
A10	0.015	0.021	0.130	0.011	0.002	0.029	0.062	0.011

Tabla 40: Matriz ponderada. Fuente: Propia.

Calculo de solución ideal positiva (PIS) y solución ideal negativa (NIS)

Solución ideal positiva (PIS) y solución ideal negativa (NIS)

A+	0.041	0.169	0.130	0.014	0.008	0.042	0.074	0.010
A-	0.013	0.013	0.024	0.007	0.002	0.008	0.059	0.017

Tabla 41: Solución ideal positiva (PIS) y solución ideal negativa (NIS). Fuente: Propia.

d+A1	0.090	d-A1	0.159
d+A2	0.142	d-A2	0.064
d+A3	0.134	d-A3	0.070
d+A4	0.107	d-A4	0.135
d+A5	0.135	d-A5	0.075
d+A6	0.142	d-A6	0.069
d+A7	0.192	d-A7	0.031
d+A8	0.141	d-A8	0.111
d+A9	0.112	d-A9	0.120
d+A10	0.152	d-A10	0.108

Tabla 42: Cálculos de las medidas de las distancias negativas y positivas para cada alternativa. Fuente: Propia.

Calculo de la proximidad relativa

RA1 =	<u>0.640</u>	RA6 =	<u>0.328</u>
RA2 =	<u>0.309</u>	RA7 =	<u>0.138</u>
RA3 =	<u>0.343</u>	RA8 =	<u>0.439</u>
RA4 =	<u>0.559</u>	RA9 =	<u>0.518</u>
RA5 =	<u>0.358</u>	RA10 =	<u>0.416</u>

Tabla 43: Calculo de la proximidad relativa para cada una de las alternativas. Fuente: Propia.

Tras finalizado el análisis contemplando las evaluaciones de ambos expertos, se ha determinado que el orden para la integración de los proyectos es el siguiente:

RA1 > RA4 > RA9 > RA8 > RA10 > RA5 > RA3 > RA6 > RA2 > RA7

9. Conclusiones

Tras realizar las evaluaciones preliminares de las propuestas realizadas en el informe REmap, cuyas proyecciones establecían que al 2030 la República Dominicana podría contar con una capacidad instalada de 5,817 MW representando así un 59% de la capacidad instalada, se ha observado que dichas proyecciones dependen en un 40% de proyectos destinados a sectores del mercado eléctrico, donde el usuario final (Cliente) es quien toma las decisiones sobre realizar las inversiones propuestas.

En otras palabras, la realización de dichas propuestas depende en gran medida de que los clientes a quien están dirigidas consideren que realizar este aporte al sector eléctrico, les es beneficioso económicamente. Esto da a notar cierta vulnerabilidad en las proyecciones realizadas a 2030, debido a que el gobierno dominicano no tiene control sobre la realización de dichos proyectos.

Durante el desarrollo del documento se consideró pertinente, buscar la manera de que las evaluaciones realizadas sobre la integración de las propuestas fueran lo más realistas posible, además de buscar un esquema en el cual el gobierno dominicano tuviera potestad absoluta sobre la ejecución de los proyectos propuestos.

Por esta razón, se propuso una integración basada en 10 alternativas que en conjunto aportan al sistema eléctrico nacional una capacidad instalada de 3,270 MW, representando así un 32.98% de la capacidad total proyectado a 2030.

Tras consultar dicho esquema con nuestros expertos, concluimos que de las 10 alternativas que son:

A1: Instalación de parques eólicos en la zona de Pedernales.

A2: Instalación de parques eólicos en la zona de Montecristi.

A3: Instalación de parques eólicos en la zona de Baní.

A4: Instalación de parques eólicos en la zona de Puerto Plata.

A5: Instalación de plantas fotovoltaicas a gran escala cerca de Sto. Dgo.

A6: Instalación de plantas fotovoltaicas a gran escala cerca de Santiago.

A7: Instalación de fotovoltaica para electrificación rural.

A8: Generación a partir de gas de vertedero en Santiago.

A9: Generación a partir de gas de vertedero en Santo Domingo.

A10: Generación a partir de gas de vertedero en La Romana.

Se recomienda que la integración se efectúe, tomando como referencia los resultados de la realización del análisis de multicriterio baso en el método AHP-TOPSIS, el cual arrojo que la alternativa uno (A1) es la de más peso, por lo que es importante desarrollar proyectos en esta zona primero.

A esta alternativa le siguen las alternativas A4, A9, A8, A10, A5, A3, A6, A2, A7. Como una posible estrategia para integrar estos proyectos al sistema eléctrico.

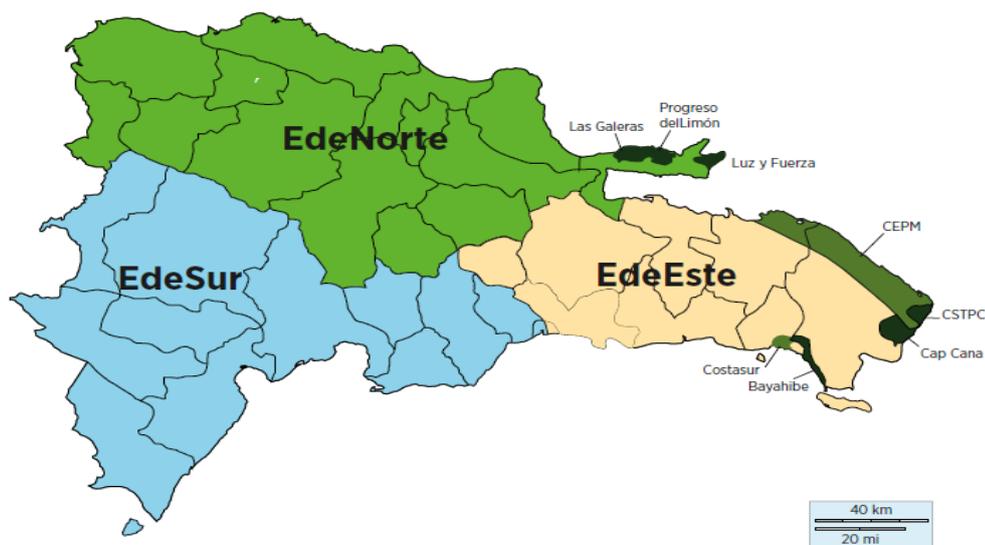
10. Bibliografía

- [1] J. Mark Konold, Matthew Lucky, Alexander Ochs, Evan Musolino, Michael Weber, Asad Ahmed, *Aprovechamiento de los Recursos de Energía Sostenible de la República Dominicana*. Washington, D.C.: Lisa Mastny, 2015.
- [2] «González Velasco - 2009 - Energías renovables..pdf». .
- [3] Lic. Rafael Q. Montilla Martínez, *La reforma de las empresas publicas y sus proyecciones socioeconómicas en República Dominicana*. Lisboa, Portugal, 2002.
- [4] S. SuperIntendencia de Electricidad, *Ley General de Electricidad No. 125-01 y su Reglamento de Aplicación*. 2012.
- [5] Dolf Gielen, Deger Saygin, Francisco Gáfaró, Isaac Portugal, Laura Gutiérrez y Tomás Jil (IRENA), *Perspectivas de Energías Renovables: República Dominicana*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency (IRENA), 2017.
- [6] Comisión Nacional de Energía (CNE), *Reglamento Ley 57-07 Sobre Incentivo Al Desarrollo De Fuentes Renovables De Energía y Sus Regímenes Especiales*. 2012.
- [7] Alexander Ochs, Xing Fu-Bertaux, Mark Konold, Shakuntala Makhijani, Sam Shrank, Cristina Adkins, *Estrategia para un Sistema de Energía Sustentable*, Lisa Mastny. Washington, D.C.
- [8] EGE HAINA, «Parque Eólico los Cocos», *EGEHAINA.com*, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://egehaina.com/plantas/loscocos/>.
- [9] Andrés De Peña, Francisco Méndez, «Boletín Trimestral de Estadísticas Energéticas Oct-Dic 2017», Comisión Nacional de Energía, Santo Domingo. Rep. Dom., 2017-04, jun. 2018.
- [10] E. Caballero-González y M. S. García-Cascales, «ESTUDIO DE LOCALIZACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO OFFSHORE EN LA COSTA ASTURIANA MEDIANTE ANÁLISIS MULTICRITERIO», p. 13, 2012.
- [11] Blanca Ceballos; M. Teresa Lamata; David Pelta; J. Miguel Sánchez, «El Método Topsis Relativo VS. Absoluto», vol. 14.
- [12] María Jesús Mellinas Fernández, «Análisis Comparativo de Técnicas de Generación Eléctrica; AHP y Topsis Fuzzy», Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT), Cartagena, Murcia, 2012.
- [13] P. Birf, «CO SULTORÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN RURAL SOSTENIBLES EN REPÚBLICA DOMINICANA», p. 344, 2009.
- [14] «Plan Energético Nacional 2010 - 2025 _2010_», 2010.
- [15] C. Romero, *Análisis de las decisiones multicriterio*. Madrid: Isdefe, 1996.
- [16] Ángela Paredes Muñoz, «Planta de Producción de Energía Eléctrica a partir de Biogás de Vertederos, aplicado en República Dominicana», Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT), Cartagena, 2018.

11. Anexos

No.	Nombre de la Unidad	Año de puesta en servicio	Potencia Instalada (MW)
1	Jimenoa	1950	8.40
2	Las Damas	1967	7.50
3	Tavera	1973	96.00
4	Valdesia	1975	54.00
5	Rincón	1978	10.10
6	Sabana Yegua	1980	13.00
7	Sabaneta	1981	6.30
8	Hatillo	1984	8.00
9	Angostura	1987	18.00
10	Aguacate	1992	60.00
11	Jigüey	1992	98.00
12	Nizao Najayo	1994	0.33
13	Baguaque	1995	1.20
14	El Salto	1995	0.62
15	Rio Blanco	1996	25.00
16	C.E. Monción	1998	3.20
17	Los Anones	1998	0.11
18	Los Toros	2001	9.70
19	Monción	2001	52.00
20	Aniana Vargas	2003	0.70
21	Domingo Rodríguez	2004	3.90
22	Rosa Julia De la Cruz	2005	0.90
23	Magueyal	2006	3.20
24	Las Barías	2009	0.85
25	Pinalito	2009	50.00
26	Palomino	2012	80.00
27	Brazo Derecho	2014	2.80
Total			613.81

Anexo 1: Listados de las unidades Hidroeléctricas de la Republica Dominicana. Fuente: EGEHID.



Anexo 2: Mapa del alcance geográfico de las tres compañías estatales de distribución EDESUR, EDENORTE y EDEESTE y de los mayores sistemas aislados. Fuente: CNE (2015).[16]