



MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Análisis de la hibridación de generación eólica en
Panamá

Autor: Silvia Martínez de Pinillos Hijosa

Director: Pablo Frías Marín

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Análisis de la hibridación de generación eólica en Panamá
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2022/2023 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.
El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Silvia Martínez de Pinillos Hijosa Fecha: ..26../ ..7.../ ..2023

Autorizada la entrega del proyecto
EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Pablo Frías Marín Fecha: **26 7 2023**



MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Análisis de la hibridación de generación eólica en
Panamá

Autor: Silvia Martínez de Pinillos Hijosa

Director: Pablo Frías Marín

Madrid

ANALISIS DE LA HIBRIDACION DE GENERACION EOLICA EN PANAMÁ

Autor: Martínez de Pinillos Hijosa, Silvia.

Director: Frías, Pablo .

Entidad Colaboradora:: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

Este Trabajo Fin de Máster responde a la necesidad de contar con nuevas alternativas para la generación de energía medioambientalmente compatible y reemplacen el uso de los recursos no renovables.

Palabras clave: Panamá, Hibridación, Rentabilidad

1. Introducción

El objetivo principal de este Trabajo Fin de Máster es evaluar la rentabilidad de un parque eólico en Panamá con posibilidad de hibridación con energía solar. Para ello, se considerarán factores como la ubicación, el tamaño y la capacidad de generación de energía. Además, se tendrán en cuenta los costes de construcción y operación del parque, y el precio de la energía que se vende al sistema eléctrico nacional.

Durante los últimos años, la energía eólica ha ganado popularidad al ser una fuente de energía renovable cuyo propósito es sustituir a las fuentes de energía tradicionales. El gran potencial que tiene la energía eólica está generando que se construyan parques eólicos por todo el mundo y así reducir la dependencia con los combustibles fósiles.

Estos parques eólicos tienen un impacto positivo en el medio ambiente al tratarse de una fuente de energía que no emite gases de efecto invernadero y produciendo así una reducción de la huella de carbono además de ayudar a combatir el cambio climático. Es importante mencionar como los parques eólicos pueden crear empleos, ya sea durante la fase de construcción como en la fase de operación, produciendo esto un impacto positivo en la economía local y generar ingresos locales al producirse pagos por el uso del espacio público.

El sector de la energía eólica está en constante evolución y crecimiento, lo que propicia el aumento de la rentabilidad al producirse avances tecnológicos. Por ejemplo, las turbinas eólicas están aumentando su eficiencia y su capacidad de generación de energía, lo que puede afectar los costes y los ingresos.

En Panamá, la energía eólica es una fuente importante de energía que contribuye de manera significativa a la generación total de energía del país. Durante los últimos años, el gobierno ha implementado medidas para fomentar el uso de estas energías renovables y además han implementad medidas políticas para ayudar a la construcción de parques eólicos.

2. Definición del proyecto

El Proyecto contempla la construcción y operación de una Central de Generación de Eólica. Una variedad de factores influye en la cantidad de energía en el viento, incluido el volumen de aire, la densidad y la velocidad del viento. La función de un aerogenerador es transformar la energía cinética del viento en electricidad. La cantidad de energía extraída del viento es directamente proporcional al área de superficie barrida de cada una de las aspas del rotor. Por lo tanto, el modelo y el diseño de la turbina afectan la cantidad de aerogeneradores requeridos para lograr la potencia de salida deseada.

Además de los aerogeneradores y transformadores, el parque eólico debe incluir incluye instalaciones auxiliares como líneas de recolección, una instalación de operaciones y mantenimiento (O&M), una subestación, un serie de transformadores para elevar la tensión, línea de evacuación de la energía a la red e instalaciones de conexión a red. Estos costes se han identificado a partir de proyectos ya desarrollados en Panamá y se muestra a continuación una tabla resumen del CAPEX y OPEX. Este esquema se muestra en la siguiente figura.

Resumen de costes	
Inversión (\$/kW)	2.000
O&M (\$/kW)	30
Factor de carga (%)	40%

Tabla 1: Resumen CAPEX y OPEX parque eólico. Fuente: República de Panamá

El esquema de un parque eólico se muestra en la siguiente figura.



Ilustración 1: Esquema diseño parque eólico. Fuente: Proyecto Final de Carrera

El emplazamiento del parque estará condicionado por la presencia de subestaciones cercanas para la evacuación de la energía así datos de vientos.

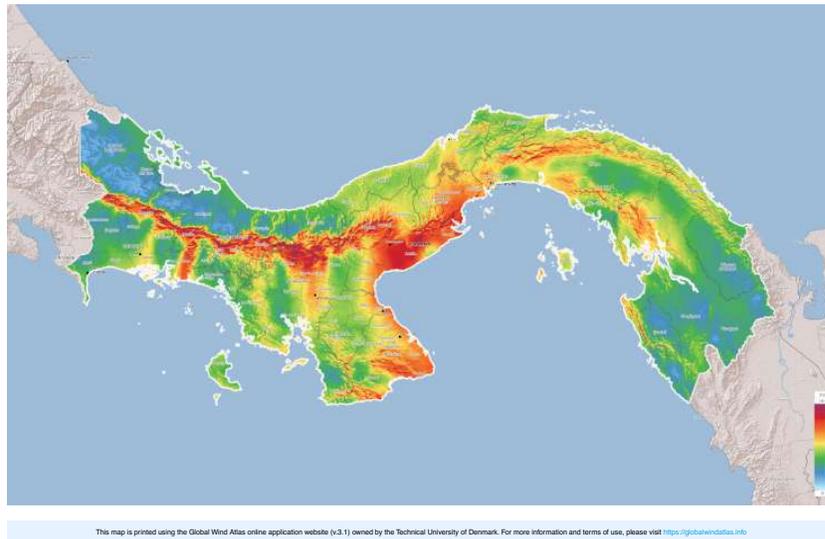


Ilustración 2: Mapa de viento de Panamá. Fuente: Global Wind Atlas

3. Descripción del modelo/sistema/herramienta

Se utilizará un enfoque de análisis en el que se evalúan los costes y beneficios para evaluar la rentabilidad del parque eólico. Con este enfoque se comparan los costes de construcción y operación del parque con los ingresos que se obtienen de la venta de energía. Se considerarán también otros factores como el coste del financiamiento, los impuestos y los permisos necesarios para construir y operar el parque.

Este estudio proporcionará una visión general de la rentabilidad de un parque eólico en Panamá y será útil para los inversores que buscan información sobre este tipo de inversiones. Para ello, se calculará el VAN y se comparará con la inversión requerida en el parque solar, parque eólico y parque hibridado entre solar y eólica. Se utilizará la siguiente estructura para el cálculo del VAN.

Generación & Ventas de Energía (GWh)

Horas de viento anuales
Capacidad Instalada (MW)
Factor de Carga

Generación (GWh)

Unavailability
Perdidas de Transmisión
Neto Operación
PPA Price (USD/KWh)

Ingresos (USD x1000)

Total Ingresos

Costes (USD x 1000)

Costes fijos

Costes Variables	
Costes de Construcción	
Total Costes Operación	
Total Costes	
USD/kWh	
<hr/>	
Data Analisis (USD x 1000)	
Cash Flow	
Ebitda	
Depreciación	
Ebit	
Intereses	
Net Income	
Devolución principal	

Tabla 2: Estructura para el cálculo del VAN. Fuente: Elaboración propia

4. Resultados

Los datos obtenidos permiten afirmar la viabilidad del proyecto en términos de eficacia y eficiencia, así como de posicionamiento estratégico como proveedor de energía limpia para Panamá. Por otro lado, la creciente demanda de energía eléctrica del país no viene sino a reforzar la idoneidad de un proyecto de generación eléctrica como el que se pretende desarrollar. El desarrollo de proyectos como este es necesario, ya que en la actualidad, se encuentra presente un incremento sostenido de la demanda de energía eléctrica en la República de Panamá y la matriz energética actual es deficitaria y dependiente de las reservas hídricas del país. Dichas reservas hídricas se ven afectadas año tras año por las fluctuaciones asociadas al cambio climático y a fenómenos meteorológicos locales de tipo excepcional. Además, se ha producido un aumento de las infraestructuras dependientes de energía eléctrica en Panamá. Es por ello que se han realizado compromisos internacionales suscritos por Panamá en materia de adecuación de la matriz energética y medio ambiente.

	Escenario	VAN Pesimista	VAN Moderado	VAN Optimista
Grande e interior	1	377.270.162 €	453.621.368 €	504.522.172 €
Pequeño e interior	2	143.721.966 €	172.808.140 €	192.198.923 €
Grande y costa	3	333.964.641 €	402.680.727 €	448.491.451 €
Pequeño y costa	4	127.224.625 €	153.402.182 €	170.853.886 €

Tabla 3: Conclusiones del VAN en función de los distintos escenarios. Fuente: Propia

5. Conclusiones

Durante 2021, el parque eléctrico de Panamá registro una capacidad instalada de 4,24 GW lo que sugiere un avance positivo en la diversificación de la matriz energética, pero la creciente demanda plantea nuevos desafíos. La energía solar instalada durante el 2021 fue

de 441 MW y la energía eólica de 270 MW, siendo esto último inferior al porcentaje requerido por el Plan Nacional de la Energía.

A partir de los datos expuestos a lo largo de todo el trabajo se pueden tomar decisiones con fundamento para la planificación y ejecución del proyecto. Es necesario elegir la ubicación óptima del parque para minimizar las pérdidas, en este caso se ha decidido desarrollar este proyecto cerca de la subestación de San Bartolo (interior de Panamá) o el Higo (costa de Panamá) por ser zonas con vientos fuertes y radiación solar superior a la media. Además, es importante la replicabilidad del proyecto, lo cual queda demostrado en el contexto de América central, por condiciones parecidas o superiores en cuanto a recurso eólico y por mayor potencial solar.

Para examinar la rentabilidad de un parque hibridado lo que se estudia es el VAN obtenido en 1 MW del parque eólico, solar e hibridado y se ha concluido que la mejor opción es la de hibridación ya que el VAN de la hibridación es mayor que la suma del VAN del parque solar y el parque eólico, obteniéndose respectivamente 6.242.158 € y 6.168.360 €.

ANALYSIS OF WIND GENERATION HYBRIDISATION IN PANAMA

Author: Martínez de Pinillos, Silvia.

Supervisor: Frías, Pablo.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas)

ABSTRACT

This master's Thesis responds to the need for new alternatives for energy generation that do not affect the environment and replace the use of non-renewable resources.

Keywords: Panamá, Hybridization, Profitability

1. Introduction

The main objective of this Master's Thesis is to evaluate the profitability of a wind farm in Panama with the possibility of hybridization with solar energy. For this purpose, factors such as location, size and power generation capacity will be considered. In addition, the costs of construction and operation of the park, and the price of energy sold to the national electricity system will be taken into account.

During the last few years, wind energy has gained popularity as a renewable energy source intended to replace traditional energy sources. The great potential of wind energy is leading to the construction of wind farms around the world to reduce dependence on fossil fuels.

These wind farms have a positive impact on the environment as they are a source of energy that does not emit greenhouse gases, thus reducing the carbon footprint and helping to combat climate change. It is important to mention how wind farms can create jobs, both during the construction phase and in the operation phase, producing a positive impact on the local economy and generating local income by producing payments for the use of public space.

The wind energy sector is constantly evolving and growing, which is conducive to increased profitability as technology advances. For example, wind turbines are increasing their efficiency and power generation capacity, which can affect costs and revenues.

In Panama, wind power is an important source of energy that contributes significantly to the country's total power generation. Over the past few years, the government has implemented measures to encourage the use of these renewable energies and has also implemented policy measures to assist in the construction of wind farms.

2. Project definition

The Project contemplates the construction and operation of a Wind Generation Plant. A variety of factors influence the amount of energy in the wind, including air volume, wind density and wind speed. The function of a wind turbine is to convert the kinetic energy of the wind into electricity. The amount of energy extracted from the wind is directly

proportional to the swept surface area of each of the rotor blades. Therefore, the turbine model and design affect the number of wind turbines required to achieve the desired power output.

In addition to the wind turbines and transformers, the wind farm must include ancillary facilities such as collection lines, an operations and maintenance (O&M) facility, a substation, a series of step-up transformers, power evacuation line to the grid, and grid connection facilities. These costs have been identified from projects already developed in Panama and a summary table of CAPEX and OPEX is shown below. This scheme is shown in the following figure.

Cost Summary	
Investment (\$/kW)	2.000
O&M (\$/kW)	30
Load factor (%)	40%

Tabla 4: Resumen CAPEX y OPEX parque eólico. Fuente: República de Panamá

The schematic of a wind farm is shown in the following figure.



Ilustración 3: Esquema diseño parque eólico. Fuente: Proyecto Final de Carrera

The location of the wind farm will be conditioned by the presence of nearby substations for energy evacuation and wind data.

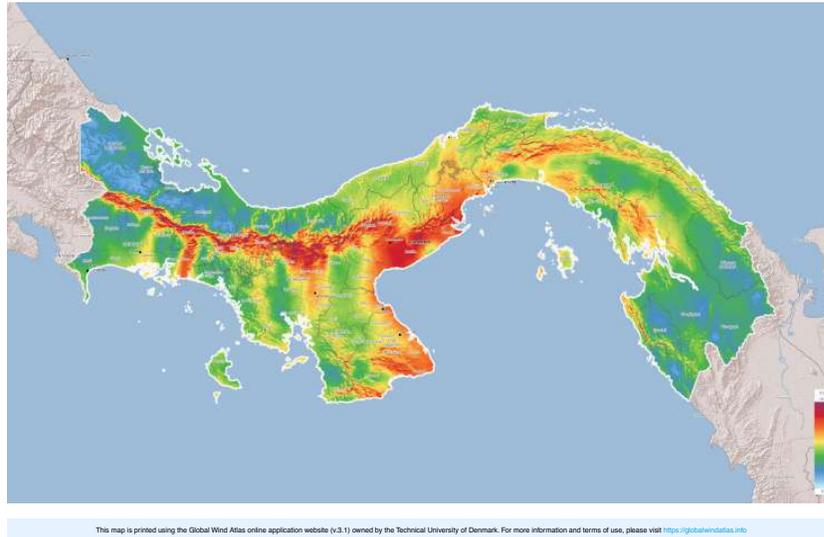


Ilustración 4: Mapa de viento de Panamá. Fuente: Global Wind Atlas

3. Description of the model

A cost-benefit analysis approach will be used to evaluate the profitability of the wind farm. This approach compares the costs of constructing and operating the wind farm with the revenues from the sale of energy. Other factors such as the cost of financing, taxes and permits required to build and operate the farm will also be considered.

This study will provide an overview of the profitability of a wind farm in Panama and will be useful for investors seeking information on this type of investment. To do so, the NPV will be calculated and compared with the investment required in the solar farm, wind farm and hybrid solar/wind farm. The following structure will be used to calculate the NPV.

Generation & Energy Sales (GWh)

Hours of wind annually
Installed capacity (MW)
Load Factor

Generation (GWh)

Unavailability
Transmission Losses
Net Operation
PPA Price (USD/KWh)

Income (USD x1000)

Total Income

Costs (USD x 1000)

Fixed Costs
Variable Costs
Construction Costs

Total Operation Costs
Total Costs
USD/kWh
Data Analysis (USD x 1000)
Cash Flow
Ebitda
Depreciation
Ebit
Interests
Net Income

Tabla 5: Estructura para el cálculo del VAN. Fuente: Elaboración propia

4. Results

The data obtained allow us to affirm the viability of the project in terms of effectiveness and efficiency, as well as its strategic positioning as a clean energy supplier for Panama.

On the other hand, the country's growing demand for electricity only reinforces the suitability of an electricity generation project such as the one to be developed. The development of projects such as this one is necessary, since at present, there is a sustained increase in the demand for electrical energy in the Republic of Panama and the current energy matrix is deficient and dependent on the country's water reserves.

These water reserves are affected year after year by fluctuations associated with climate change and exceptional local meteorological phenomena. In addition, there has been an increase in Panama's electricity-dependent infrastructure. For this reason, Panama has made international commitments regarding the adaptation of the energy matrix and the environment.

	Scenario	VAN Pessimistic	VAN Moderate	VAN Optimistic
Large and inland	1	377.270.162 €	453.621.368 €	504.522.172 €
Small and inland	2	143.721.966 €	172.808.140 €	192.198.923 €
Large and coast	3	333.964.641 €	402.680.727 €	448.491.451 €
Small and coast	4	127.224.625 €	153.402.182 €	170.853.886 €

Tabla 6: Conclusiones del VAN en función de los distintos escenarios. Fuente: Propia

5. Conclusions

During 2021, Panama's electricity park registered an installed capacity of 4.24 GW, which suggests positive progress in the diversification of the energy matrix, but the growing demand poses new challenges. Solar energy installed during 2021 was 441 MW and wind energy 270 MW, the latter being lower than the percentage required by the National Energy Plan.

Based on the data presented throughout the paper, informed decisions can be made for the planning and implementation of the project. In this case, it has been decided to develop this project near the substation of San Bartolo (interior of Panama) or El Higo (coast of Panama) because they are areas with strong winds and above average solar radiation. In addition, the replicability of the project is important, which is demonstrated in the context of Central America, due to similar or superior conditions in terms of wind resources and greater solar potential.

To examine the profitability of a hybrid farm, the NPV obtained in 1 MW of the wind, solar and hybrid farm was studied and it was concluded that the best option is hybridization, since the NPV of hybridization is greater than the sum of the NPV of the solar farm and the wind farm, obtaining respectively 6.242.158 € and 6.168.360 €.

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	8
1.1 Estado de la cuestión	10
1.2 Objetivos	13
1.2.1 Generales.....	13
1.2.2 Específicos.....	14
1.3 Motivación y justificación del proyecto	15
Capítulo 2. El mercado eléctrico de Panamá	17
2.1 INTRODUCCION.....	17
2.2 Mercado eléctrico actual	19
2.2.1 Plan Nacional de Energía	19
2.2.2 Actores del Mercado y.....	22
2.2.3 El Mercado de las Energías Renovables.....	25
2.2.4 Costes y precio de la energía eléctrica	26
2.3 Conclusiones	29
Capítulo 3. Definición del caso de estudio.....	30
3.1 Introducción.....	30
3.2 Datos.....	31
3.2.1 Estudio Potencial Eólico	31
3.2.2 Estudio Líneas eléctricas.....	35
3.2.3 Estudio del Potencial solar en panamá.....	36
3.3 Replicabilidad.....	37
3.4 Impacto en el Empleo	40
3.5 Conclusiones	42
Capítulo 4. Análisis Económico.....	44
4.1 Introducción.....	44
4.2 Análisis económico	44
4.3 Estudio Previo	45
4.3.1 Parque eólico.....	45
4.3.2 Parque Solar.....	53
4.3.3 Hibridación.....	57
4.4 Metodología de la Obtención del Valor Actual Neto del parque	58

4.5	Análisis casos de estudio	60
4.5.1	Parque eólico.....	60
4.5.2	Parque Solar.....	62
4.5.3	Parque Híbrido.....	63
4.6	Conclusiones	66
Capítulo 5. Estudio Legal.....		68
5.1	Marco Legal	68
5.2	Procedimiento de otorgamiento de licencias para la construcción.....	74
5.3	Conclusiones	77
Capítulo 6. Conclusiones		78
Capítulo 7. Bibliografía.....		81
ANEXO I: Objetivos de Desarrollo Sostenible.....		85
ANEXO II: Procedimiento Obtención Licencias		88
ANEXO III: Datos Replicabilidad.....		96
ANEXO IV: Pillars of Prosperity.....		108

Índice de tablas

Tabla 1: Resumen CAPEX y OPEX parque eólico. Fuente: República de Panamá	7
Tabla 2: Estructura para el cálculo del VAN. Fuente: Elaboración propia	9
Tabla 3: Conclusiones del VAN en función de los distintos escenarios. Fuente: Propia.....	9
Tabla 4: Resumen CAPEX y OPEX parque eólico. Fuente: República de Panamá	12
Tabla 5: Estructura para el cálculo del VAN. Fuente: Elaboración propia	14
Tabla 6: Conclusiones del VAN en función de los distintos escenarios. Fuente: Propia....	14
Tabla 7: Número promedio de clientes por Distribuidora.....	23
Tabla 8: Precio futuros de los contratos por energía, según empresa vendedora y distribuidora: Años 2018 – 2026 en \$/kWh. Fuente: Autoridad Nacional de los Servicios Públicos.	27
Tabla 9: Datos medios de viento y densidad en países de América central. Fuente: Elaboración propia.....	38
Tabla 10: Ranking de países. Fuente: Legatum Institute.....	40
Tabla 11: Costes asociados a la construcción del parque eólico	46
Tabla 12: Tabla resumen CAPEX, OPEX, Factor de carga. Fuente: Elaboración propia... 48	
Tabla 13: Resumen de costes. Fuente: Elaboración propia	51
Tabla 14: Resumen de potencias utilizadas según el escenario.....	53
Tabla 15: Tabla resumen CAPEX, OPEX, Factor de carga. Fuente: Elaboración propia... 54	
Tabla 16: Resumen de costes. Fuente: Elaboración propia	56
Tabla 17: Resumen de potencias utilizadas según el escenario.....	56
Tabla 18: Resumen de costes. Fuente: Elaboración propia	58
Tabla 19: Resumen de potencias utilizadas según el escenario.....	58
Tabla 20: Diferentes escenarios para la elaboración del Business Plan. Fuente: Propia.....	58
Tabla 21: Estructura para el cálculo del VAN. Fuente: Propia	60
Tabla 22: Resumen de potencias utilizadas según el escenario.....	60
Tabla 23: Conclusiones del VAN en función de los distintos escenarios. Fuente: Propia..	61
Tabla 24: Resumen de potencias utilizadas según el escenario.....	62
Tabla 25: Conclusiones del VAN en función de los distintos escenarios. Fuente: Propia..	62
Tabla 26: Resumen de costes. Fuente: Elaboración propia	64
Tabla 27: Resumen de potencias utilizadas según el escenario.....	64
Tabla 28: Conclusiones del VAN en función de los distintos escenarios. Fuente: Propia..	64
Tabla 29: Resumen económico de los distintos escenarios. Fuente: elaboración propia	66
Tabla 30: Resumen económico de los distintos escenarios. Fuente: elaboración propia	79

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Esquema diseño parque eólico. Fuente: Proyecto Final de Carrera	7
Ilustración 2: Mapa de viento de Panamá. Fuente: Global Wind Atlas	8
Ilustración 3: Esquema diseño parque eólico. Fuente: Proyecto Final de Carrera	12
Ilustración 4: Mapa de viento de Panamá. Fuente: Global Wind Atlas	13
Ilustración 5: Capacidad instalada en Panamá. Fuente: IRENA	10
Ilustración 6: Capacidad instalada en Panamá. Fuente: IRENA	11
Ilustración 7: Capacidad energía renovable Panamá. Fuente: IRENA.....	11
Ilustración 8: Energía Producida en Panamá. Fuente: IRENA.....	12
Ilustración 9: Políticas Gobierno de Panamá. Fuente: IRENA	12
Ilustración 10: Potencial energía solar y eólica. Fuente: IRENA.....	13
Ilustración 11: Extraído del estudio 100 años de historia de los servicios públicos de electricidad en la República de Panamá, Ramón O. Argote, Universidad Tecnológica de Panamá, 2003 y SNE.	18
Ilustración 12: Crecimiento del PIB total y del suministro de electricidad, gas y agua. Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censo.	18
Ilustración 13: Variación porcentual del Producto Interno Bruto real del Suministro de Electricidad, gas y agua: Primer semestre de 2019 – 2022. Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censo.	19
Ilustración 14: Proyección de la generación energética por fuente y capacidad instalada por tecnología. Fuente [2]	19
Ilustración 15: Caso base: Distribución del Consumo. Fuente [2]	20
Ilustración 16: Caso base: Distribución tecnologías. Fuente [2]	20
Ilustración 17: Caso alternativo: Distribución de consumo. Fuente [2]	21
Ilustración 18: Caso alternativo: Caso base: Distribución de tecnologías. Fuente [2]	21
Ilustración 19: Capacidad instalada de generación eléctrica. Fuente: OLADE	22
Ilustración 20: Generación eléctrica. Fuente: OLADE	22
Ilustración 21: Balance energético. Fuente: OLADE	22
Ilustración 22: Balance energético. Fuente: OLADE	23
Ilustración 23: Distribución de los consumidores. Fuente: Autoridad Nacional de los Servicios Públicos.....	24
Ilustración 24: Capacidad instalada de la matriz energética en Panamá: Años 2001 – 2021. Fuente: OLADE.....	24
Ilustración 25: Pronóstico de la demanda por energía eléctrica a nivel Nacional: Años 2011 – 2016 y estimaciones 2017 - 2031.Fuente: Plan de Expansión del Sistema Interconectado Nacional 2017-2031, ETESA.	25
Ilustración 26: Evolución de la inflación. Fuente: FRED	28
Ilustración 27: Tasas de interés por parte de la FED. Fuente: FRED.....	28
Ilustración 28: Escala de colores según velocidad del viento. Fuente: Global Wind Atlas	31
Ilustración 29: Velocidad del viento media a 10m de altura. Fuente: Global Wind Atlas..	32
Ilustración 30: Velocidad del viento media a 100m de altura. Fuente: Global Wind Atlas	32
Ilustración 31: Velocidad del viento media a 150m de altura. Fuente: Global Wind Atlas	33

Ilustración 32: Velocidad del viento media a 200m de altura. Fuente: Global Wind Atlas	33
Ilustración 33: Rosa Frecuencia de viento 150m. Fuente Global Wind Atlas	34
Ilustración 34: Rosa velocidad de viento 150m. Fuente: Global Wind Atlas	34
Ilustración 35: Rosa Energía eólica 150m.Fuente: Global Wind Atlas.....	34
Ilustración 36: Rosa frecuencia de viento 200m. Fuente: Global Wind Atlas	34
Ilustración 37: Rosa velocidad de viento 200m. Fuente: Global Wind Atlas	34
Ilustración 38: Rosa energía eólica 200m. Fuente: Global Wind Atlas	34
Ilustración 39: Mapa subestaciones y Líneas de Transmisión. Fuente: https://www.etsa.com.pa/es/mapa	35
Ilustración 40: Mapa con vientos y subestaciones. Elaboración propia	36
Ilustración 41: Mapa de potencial de energía fotovoltaica. Fuente: Global Solar Atlas	37
Ilustración 42: Potencial solar Panamá. Fuente: Global Solar Atlas	37
Ilustración 43: Mapa de viento Costa Rica. Fuente: Global Wind Atlas	38
Ilustración 44: Mapa de viento Nicaragua. Fuente: Global Wind Atlas	38
Ilustración 45: Potencial solar Panamá. Fuente: Global Solar Atlas	39
Ilustración 46: Potencial solar Costa Rica. Fuente: Global Solar Atlas	39
Ilustración 47: Potencial solar Nicaragua. Fuente: Global Solar Atlas	40
Ilustración 48: Empleos creados según tecnología. Fuente: IRENA.....	41
Ilustración 49: Estimación de empleo por tecnología. Fuente: IRENA	42
Ilustración 50: CAPEX parque eólico. Fuente: República de Panamá.....	47
Ilustración 51: OPEX parque eólico. Fuente: República de Panamá	48
Ilustración 52: Costes totales de instalación en kW. Fuente: IRENA Renewable Cost Database.....	49
Ilustración 53: Costes de instalación desglosados por región. Fuente: IRENA Renewable Cost Database	49
Ilustración 54: Costes de operación y mantenimiento por región. Fuente: BNEF, 2020c and IEA Wind, 2021	50
Ilustración 55: Factores de carga medios por regiones. Fuente: IRENA Renewable Cost Database.....	51
Ilustración 56: Parque eólico con hibridación solar. Fuente: Inteligencia Artificial.....	53
Ilustración 57: CAPEX parque solar. Fuente: República de Panamá.....	54
Ilustración 58: OPEX parque solar. Fuente: República de Panamá.	54
Ilustración 59: Costes totales de instalación en kW. Fuente: IRENA	55
Ilustración 60: Media de la capacidad de carga para los sistemas fotovoltaicos. Fuente: IRENA.....	56
Ilustración 61: Esquema hibridación. Fuente: Periódico El Español	57
Ilustración 62: Análisis de sensibilidades de parque eólico	61
Ilustración 63: Análisis de sensibilidades de parque solar	63
Ilustración 64: Análisis de sensibilidades de parque hibrido	65
Ilustración 65: Objetivos de Desarrollo Sostenible. Fuente: ONU	86
Ilustración 66: Mapa vientos Belice. Fuente: Global Wind Atlas	96
Ilustración 67: Velocidad media de viento Belice. Fuente: Global Wind Atlas.....	97
Ilustración 68: Densidad media de viento Belice. Fuente: Global Wind Atlas.....	97
Ilustración 69: Mapa vientos Costa Rica. Fuente: Global Wind Atlas.....	98
Ilustración 70: Velocidad media de viento Costa Rica. Fuente: Global Wind Atlas	99

Ilustración 71: Densidad media de viento Costa Rica. Fuente: Global Wind Atlas.....	99
Ilustración 72: Mapa vientos El Salvador. Fuente: Global Wind Atlas	100
Ilustración 73: Velocidad media de viento El Salvador. Fuente: Global Wind Atlas	101
Ilustración 74: Densidad media de viento El Salvador. Fuente: Global Wind Atlas	101
Ilustración 75: Mapa vientos Guatemala. Fuente: Global Wind Atlas.....	102
Ilustración 76: Velocidad media de viento Guatemala. Fuente: Global Wind Atlas	103
Ilustración 77: Densidad media de viento Guatemala. Fuente: Global Wind Atlas.....	103
Ilustración 78: Mapa vientos Honduras. Fuente: Global Wind Atlas.....	104
Ilustración 79: Velocidad media de viento Honduras. Fuente: Global Wind Atlas	105
Ilustración 80: Densidad media de viento Honduras. Fuente: Global Wind Atlas.....	105
Ilustración 81: Mapa vientos Belice. Fuente: Global Wind Atlas	106
Ilustración 82: Velocidad media de viento Nicaragua. Fuente: Global Wind Atlas	107
Ilustración 83: Densidad media de viento Nicaragua. Fuente: Global Wind Atlas.....	107

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, la energía eólica ha ganado popularidad al ser una fuente de energía renovable cuyo propósito es sustituir a las fuentes de energía tradicionales. El gran potencial que tiene la energía eólica está generando que se construyan parques eólicos por todo el mundo y así reducir la dependencia con los combustibles fósiles.

Cabe destacar como estos parques tienen un impacto positivo en el medio ambiente. Se trata de una fuente de energía que no emite gases de efecto invernadero, produciendo así una reducción de la huella de carbono además de ayudar a combatir el cambio climático. Es importante también mencionar como los parques eólicos pueden crear empleos, ya sea durante la fase de construcción como en la fase de operación, produciendo esto un impacto positivo en la economía local.

El sector de la energía eólica está en constante evolución y crecimiento, lo que propicia el aumento de la rentabilidad al producirse avances tecnológicos. Por ejemplo, las turbinas eólicas están aumentando su eficiencia y su capacidad de generación de energía, lo que puede afectar los costes y los ingresos.

Concretamente, en Panamá, la energía eólica es una fuente importante de energía que contribuye de manera significativa a la generación total de energía del país. Durante los últimos años, el gobierno ha implementado medidas para fomentar el uso de estas energías renovables y además han implementado medidas políticas para ayudar a la construcción de parques eólicos.

El objetivo principal de este Trabajo Fin de Máster es evaluar la rentabilidad de un parque eólicos en Panamá con posibilidad de hibridación. Para ello, se considerarán factores como la ubicación, el tamaño y la capacidad de generación de energía. Además, se tendrán en cuenta los costes de construcción y operación del parque, y el precio de la energía que se vende al sistema eléctrico nacional.

El Proyecto contempla la construcción y operación de una Central de Generación de Eólica. Una variedad de factores influye en la cantidad de energía en el viento, incluido el volumen de aire, la densidad y la velocidad del viento. La función de un aerogenerador es transformar la energía cinética del viento en electricidad. La cantidad de energía extraída del viento es directamente proporcional al área de superficie barrida de cada una de las aspas del rotor.

Por lo tanto, el modelo y el diseño de la turbina afectan la cantidad de aerogeneradores requeridos para lograr la potencia de salida deseada.

Además de los aerogeneradores y transformadores, el proyecto incluye instalaciones auxiliares como áreas de estacionamiento temporal, caminos de acceso, líneas de recolección, una instalación de operaciones y mantenimiento (O&M), una subestación, un patio de distribución de servicios públicos modificado y un generador para arranques de emergencia.

El punto de interconexión del proyecto con la red de transmisión nacional se estudiará posteriormente en función de donde se emplace el parque.

En base a [26], los elementos que analizará este trabajo serán:

- Aerogeneradores erigidos sobre torres de tubos de acero colocadas sobre cimientos de hormigón, así como las plataformas de aerogeneradores asociados, las áreas de preparación temporal y los transformadores.
- Construcción temporal de carreteras de acceso y carreteras de servicio permanentes, así como mejoras temporales a las carreteras públicas para facilitar la entrega de aerogeneradores desde el sitio de entrega hasta el patio de preparación;
- Un enlace de generación que será conectando con el sistema de transmisión de Empresa de Transmisión Eléctrica (ETESA);
- Subestación del proyecto ubicada en el sitio;
- Un sistema de recolección de electricidad subterránea que conecta los aerogeneradores entre sí y con la subestación del proyecto;
- Un sistema de comunicación subterráneo (cable de fibra óptica) adyacente al sistema de recolección;
- Un sistema de Adquisición de Datos y Control de Supervisión (SCADA) entre cada aerogenerador, para monitorear y controlar la energía de salida del proyecto y la transmisión de energía al sistema;
- Una instalación de operación y mantenimiento, que incluye un edificio de operaciones, un área de estacionamiento y un área de almacenamiento al aire libre con cerca perimetral;
- Área de descarga de componentes;
- Torres meteorológicas permanentes;
- Áreas de preparación temporal distribuidas por todo el sitio del proyecto, una de las cuales incluiría una planta de cemento temporal; y
- Nuevas carreteras de acceso.

A partir de [27], se utilizará un enfoque de análisis en el que se evalúan los costes y beneficios para evaluar la rentabilidad del parque eólico. Con este enfoque se comparan los costes de construcción y operación del parque con los ingresos que se obtienen de la venta de energía. Se considerarán también otros factores como el coste del financiamiento, los impuestos y los permisos necesarios para construir y operar el parque.

La rentabilidad de un parque eólico es un factor importante a considerar en la toma de decisiones de inversión. Este estudio proporcionará una visión general de la rentabilidad de un parque eólico en Panamá y será útil para los inversores que buscan información sobre este tipo de inversiones.

En conclusión, la energía eólica es una fuente importante de energía en Panamá y está ganando popularidad como una alternativa a las fuentes de energía tradicionales, como se puede observar en Ilustración 5, la energía eólica ha ido aumentando a lo largo de los años hasta contar con una capacidad instalada de 270 MW. Este estudio de rentabilidad de un parque eólico en Panamá es un paso importante en la evaluación de una inversión en el sector de la energía eólica. Al considerar los costes, los ingresos y otros factores, se puede obtener una visión clara de la rentabilidad potencial de un parque eólico en Panamá.

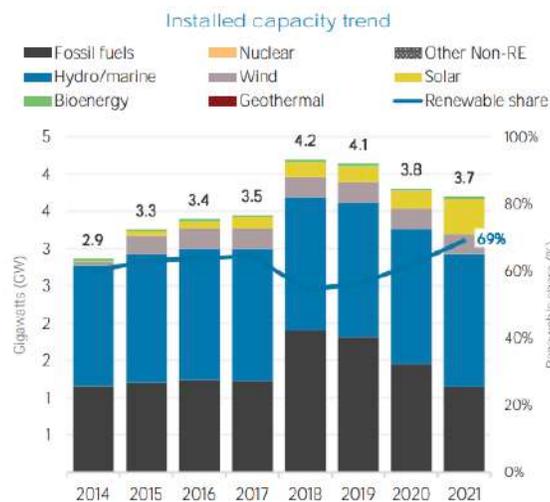


Ilustración 5: Capacidad instalada en Panamá. Fuente: IRENA

1.1 ESTADO DE LA CUESTIÓN

La situación actual de la energía renovable en Panamá mostrada en [8], se muestra una visión completa de todo lo relacionado con la energía renovable, así como diversos desafíos que presenta el desarrollo de esta, es conveniente comentar que se introducen los datos procedentes de la referencia [8] en lugar de los datos procedentes de Gobierno de Panamá

porque la página web de dicho gobierno se encuentra inaccesible. Actualmente, Panamá ha logrado grandes avances en la implementación de las tecnologías renovables. Dentro de este documento, se hace especial foco en la capacidad instalada, la participación de las renovables en el mix energético y diversas medidas para fomentar el uso de la energía renovable. Algunos aspectos más destacables de dicho documento son:

1. Capacidad instalada: dentro de este documento, se desarrolla de manera detallada la capacidad instalada de energía renovable, así como diferenciada según tipos de tecnologías. En 2021, la capacidad total de energía renovable ascendía a un 69% de la capacidad total instalada en el país. Cabe destacar como la mayor parte de esta capacidad corresponde a la energía hidroeléctrica, la cual representa el 70% de la capacidad total de energía renovable. Además, la capacidad instalada tanto de energía solar como de energía eólica es baja en comparación con la capacidad hidroeléctrica, pero ambas presentan gran potencial de desarrollo. Las energías eólicas y fotovoltaicas se introdujeron en el mix energético en el año 2014.

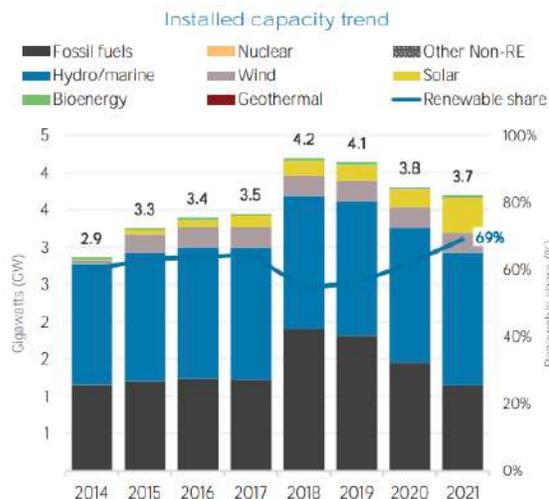


Ilustración 6: Capacidad instalada en Panamá.
Fuente: IRENA

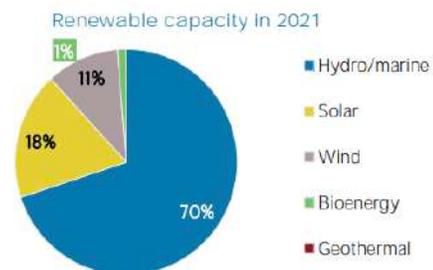


Ilustración 7: Capacidad energía renovable Panamá. Fuente: IRENA

2. Participación en el mix energético total: en 2020, la energía renovable representó el 79% de la generación de electricidad de Panamá. Como se ha comentado en el punto anterior, la mayor parte de esta generación viene de la energía hidroeléctrica, seguida de la energía eólica y solar.

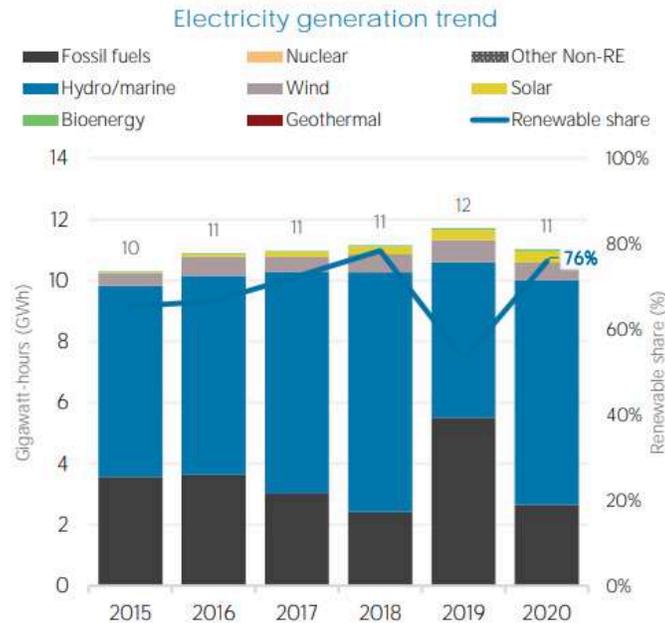


Ilustración 8: Energía Producida en Panamá. Fuente: IRENA

- Políticas y medidas de fomento: dentro del documento, se destacan políticas y medidas impulsadas por el gobierno, para favorecer la energía renovable en el país. La Autoridad Nacional de los Servicios Públicos toma como medida principal, destaca la Ley de Incentivos para la Generación de Energía con Fuentes Renovables. Esta ley, establece un marco legal y además, incluye incentivos fiscales para el desarrollo de proyectos de energía renovable.

LATEST POLICIES, PROGRAMMES AND LEGISLATION	
1 Resolution N° 114/2017 approved Technical Regulation DGNTI-COPANIT 104:2017	2017
2 Resolution n° 115/2017 adopting Technical Regulation DGNTI-COPANIT 103:2017	2017
3 Resolution N° 116/2017 adopting Technical Regulation DGNTI-COPANIT 102:2017	2017
4 Panama National Energy Plan 2015-2050	2015
5 Law establishing incentives for construction and operation and maintenance of solar PV plants in Panama (Law 37 of 10 June 2013, amended by Law 38 of August 9, 2016) (solar PV auctions)	2013

Ilustración 9: Políticas Gobierno de Panamá. Fuente: IRENA

- Potencial de la energía renovable: la presencia de potencial de energía renovable, especialmente, solar y eólica son dos puntos clave de este documento. Debido a la cercanía al ecuador, Panamá tiene altos niveles de radiación solar durante todo el año. Además, debido a los vientos constantes en algunas regiones, como se explica posteriormente en este Trabajo Fin de Máster, Panamá posee un gran potencial para la energía eólica.

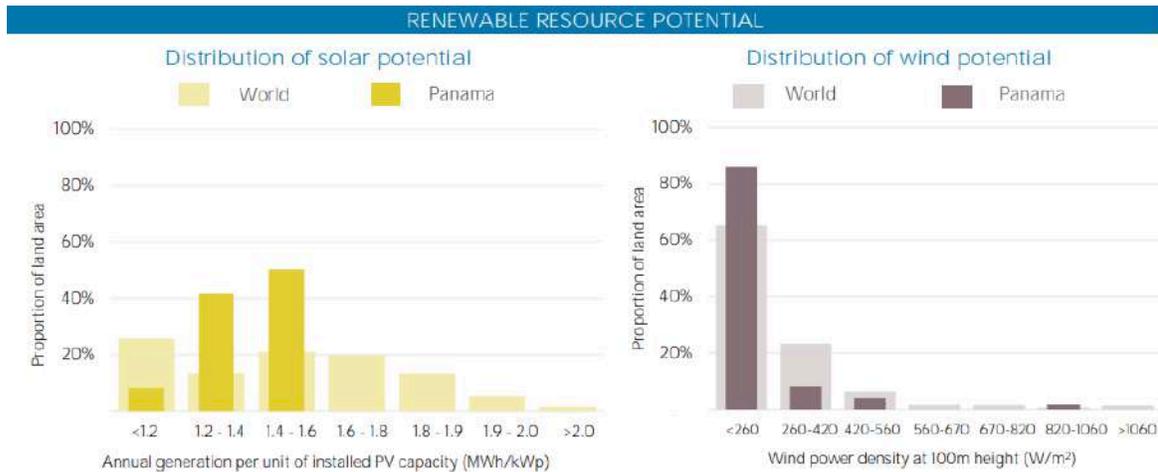


Ilustración 10: Potencial energía solar y eólica. Fuente: IRENA

5. Oportunidades de inversión: durante este documento, se destacan las oportunidades de inversión en energía renovable en el país. Se da especial foco a que el país ofrece un entorno atractivo para la inversión, ya sea por los recursos naturales presentes o al marco legal y regulatorio estable.

En resumen, el documento proporciona una visión completa del estado de la energía renovable en Panamá, así como de las oportunidades y desafíos en el sector.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 GENERALES

El presente proyecto contempla la instalación de un parque eólico de generación de energía eléctrica para instalar y explotar en Panamá.

Este proyecto tiene como propósito aumentar la oferta de generación de energía, en este caso de energía eólica, en el Sistema Interconectado Nacional, para abastecer el aumento progresivo de la demanda del sector energético, la que se ha acrecentado fuertemente y se prevé continúe con esta tendencia sostenida.

Los objetivos generales para el desarrollo de este parque eólico incluyen:

- Generación de energía renovable: como es lógico, uno de los objetivos principales de un parque eólico es generar energía renovable de forma sostenible y confiable. En este caso, el desarrollo de la energía eólica implica la no producción de emisiones ni residuos tóxicos.

- Contribución a la seguridad energética: al existir una mayor diversificación de fuentes de energía en el mix energético, se puede garantizar la seguridad energética a la vez que se reduce la dependencia de energía procedente de fuentes de energía fósiles.
- Reducción de costes de energía: al ser una fuente eficiente y que carece de combustibles fósiles, se pueden reducir los costes de energía para los consumidores y además mejorar la economía local.
- Fomento de la economía local: gracias a la construcción de un parque eólico y a su operación, se puede crear empleo local y así fomentar el desarrollo económico, generando así un impacto positivo tanto en la economía como en la calidad de la vida de la población.
- Mitigación del cambio climático: Un parque eólico puede ayudar a reducir la huella de carbono y mitigar el cambio climático al reducir la dependencia de las fuentes de energía fósiles y aumentar la adopción de fuentes de energía renovable.
- Protección del medio ambiente: al ser una forma sostenible y respetuosa con el medio ambiente, al generar energía de esta forma, se pueden proteger los recursos naturales cercanos así como la biodiversidad local.

Además, en el caso de Panamá, también pueden existir objetivos específicos relacionados con la política energética y el desarrollo del país.

1.2.2 ESPECÍFICOS

Algunos objetivos específicos que pueden ser considerados al desarrollar un parque eólico en Panamá:

- Aprovechamiento de los recursos eólicos: Panamá cuenta con un potencial eólico significativo como se expone a lo largo del Trabajo Fin de Máster, por lo que el parque eólico que se pretende desarrollar puede aprovechar estos recursos.
- Mejora de la infraestructura energética: al aumentar la capacidad de generación de energía del país, se puede mejorar la infraestructura de Panamá y hacerla más segura.
- Desarrollar un proyecto eólico que sea factible de financiar, construir y operar.

- Compatibilizar el uso del territorio y de los recursos naturales con la preservación del entorno.
- Promover la energía sostenible y la utilización de sistemas de energía alternativa.
- Desarrollar una instalación de energía eólica lo más cerca posible de la infraestructura de transmisión existente.
- Desarrollar una instalación de energía eólica que apoye la economía creando oportunidades de empleo a corto y largo plazo y aumentando los ingresos fiscales.
- Desplazar las emisiones de aproximadamente más de 400,000 toneladas métricas por año de dióxido de carbono.

Estos son solo algunos de los objetivos específicos que pueden ser considerados al desarrollar un parque eólico en Panamá. Cada proyecto debe evaluar cuidadosamente sus objetivos específicos en función de sus circunstancias únicas y del contexto local.

1.3 MOTIVACIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto responde a la necesidad de contar con nuevas alternativas para la generación de energía que no afecten al medio ambiente y reemplacen el uso de los recursos no renovables. El aumento de la demanda de energía está ligado fuertemente con el desarrollo económico del país, reflejo del crecimiento industrial y residencial por el aumento de la calidad de vida. La puesta en marcha del Parque Eólico también contribuirá a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Por otro lado, el Proyecto generará un significativo número de puestos de trabajo e ingresos para los panameños, ya que ayudará a que las personas de escasos recursos cuenten con una economía más sostenible, a través de capacitación, oportunidades de empleo, sueldos y beneficios relacionados. El Proyecto contribuirá también al crecimiento de las oportunidades de negocio que se originen a partir de la creciente demanda de bienes y servicios generada por la construcción y operación de este.

La motivación y justificación de un proyecto de un parque eólico pueden incluir consideraciones técnicas, económicas, sociales y medioambientales.

Desde una perspectiva técnica, los aerogeneradores han avanzado de manera significativa durante los últimos años, dando lugar a una mayor eficiencia y por lo tanto a una mayor rentabilidad de la generación de energía eólica. Además, esta forma de generar energía es

una forma confiable, esto es debido a que los aerogeneradores se pueden diseñar y modificar para operar en función de las distintas condiciones climáticas,

Desde una perspectiva económica, esta forma de energía renovable puede ser más rentable que otras en el largo plazo, como quedara demostrado a lo largo de este documento. Además, los costes asociados a aquellas tecnologías que utilizan combustibles fósiles, como el petróleo y el gas, pueden ser más volátiles, como se está viendo hoy en día, y esto puede afectar directamente a la rentabilidad de la generación de energía. Además, existe un interés global en la necesidad de mitigar el cambio climático y así reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, por ello, se ha aumentado la demanda en energías renovables. También, como se ha mencionado anteriormente, la construcción y la operación de un parque de estas características puede generar empleos y por lo tanto mejorar la economía local.

Desde una perspectiva social, la construcción de un parque eólico puede tener un impacto positivo en la comunidad, ya que puede generar empleos. Además, al tratarse de una energía renovable, puede mejorar la calidad de vida de la población cercana a este parque en términos de salud. Por otro lado, es una fuente de energía más accesible y asequible que las que se llevan a cabo con combustibles fósiles.

Desde una perspectiva medioambiental, la energía eólica es una forma sostenible de generar energía al no emitir gases de efecto invernadero. Además, al reducirse la huella de carbono se preservan los recursos naturales. También es destacable que los aerogeneradores requieren de menos materias primas que otras formas de generación de energía.

Capítulo 2. EL MERCADO ELÉCTRICO DE PANAMÁ

2.1 INTRODUCCION

Uno de los elementos más importantes para el crecimiento de un país es la energía producida. El mercado eléctrico se considera uno de los pilares básicos para asegurar el desarrollo de la sociedad. Los principales factores en el mercado energético y, en la mayoría de los mercados, podrían citarse:

- Regulación
- Competencia
- Eficiencia
- Calidad

Es necesario que exista dentro del mercado energético una regulación. Esta regulación debe garantizar los derechos y las obligaciones de los participantes ya que sino no sería un mercado óptimo. Se debe asegurar la competencia responsable tanto de los generadores como de los distribuidores y comercializadores para así buscar la eficiencia y la calidad del servicio para los clientes.

Poniendo el foco en el mercado de Panamá, cabe hablar de la evolución del mercado eléctrico a lo largo de los años. Se distinguen tres etapas principales:

- El periodo de 1886 a 1960: la electricidad era suministrada por un pequeño grupo de empresas en las ciudades de Panamá, Colón y el resto de las provincias;
- El período de 1961 a 1998: la electricidad suministrada pasa de pequeñas empresas a un monopolio estatal por parte del Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación (IRHE);
- Desde 1999 a la Actual:
 - Liberalización del mercado de generación. Se inicia:
 - Proceso de privatización de IRHE para permitir la competencia en el mercado de la generación eléctrica.
 - Creación de un sistema de incentivos para promover inversiones en plantas eólicas y fotovoltaicas.
 - Concesiones Administrativas a Distribuidores para la gestión de la red de distribución.
 - Control de Red de transmisión por parte del Estado.

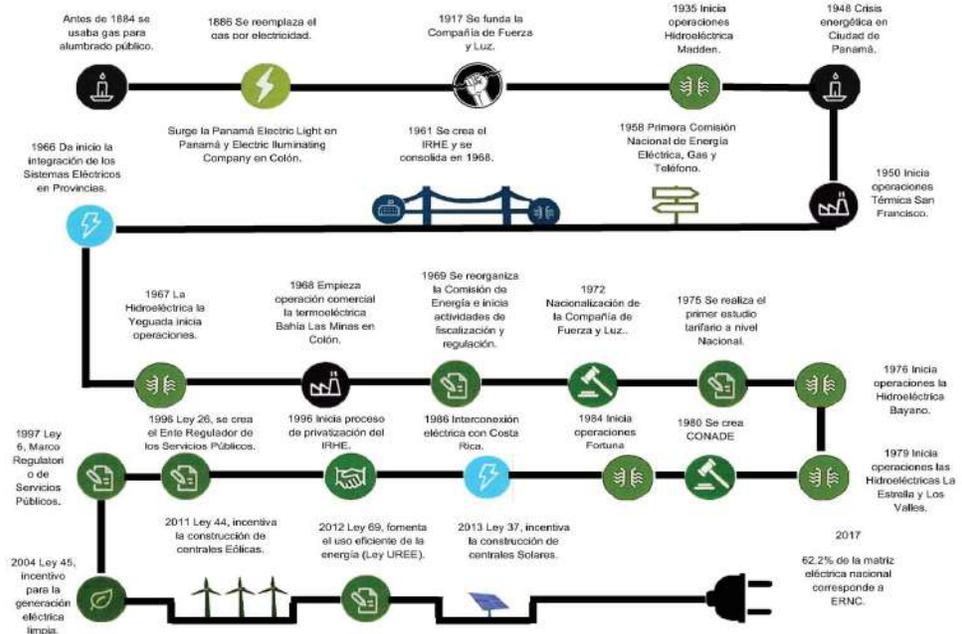


Ilustración 11: Extraído del estudio 100 años de historia de los servicios públicos de electricidad en la República de Panamá, Ramón O. Argote, Universidad Tecnológica de Panamá, 2003 y SNE.

Es importante destacar, el papel que tiene la generación eléctrica en el desarrollo del país, ya que todos los sectores dependen del correcto funcionamiento de este. Según [1], la participación del suministro de Electricidad, gas y agua en el PIB total de la República de Panamá en el quinquenio 2012 a 2016 fue en promedio del 3,7%, llegando al 4,0% en 2016, esto destaca, ya que según datos del Gobierno de Panamá la contribución del PIB en los años anteriores fue en promedio de 2,7%.

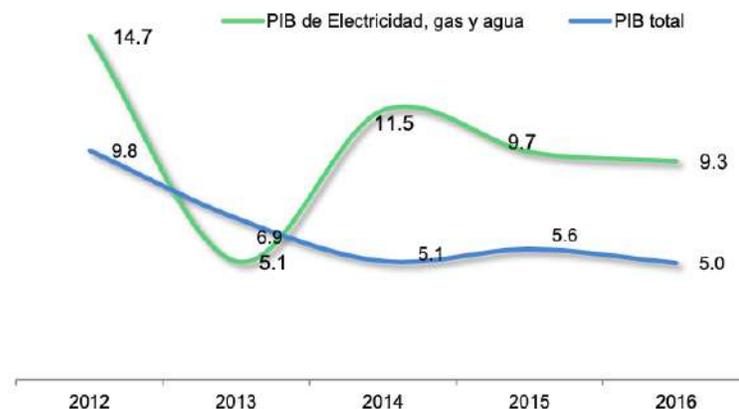


Ilustración 12: Crecimiento del PIB total y del suministro de electricidad, gas y agua. Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censo.

En [47], se muestra una evolución más reciente del PIB. En el año 2022, el PIB correspondiente al suministro de electricidad, gas y agua represento un crecimiento del 3,8% en comparación con el primer semestre del año 2021, lo que significo 885,2 millones de dólares. En el segundo y tercer semestre de ese mismo año, se generó un incremento del 6% y del 1,8% con respecto al 2021.

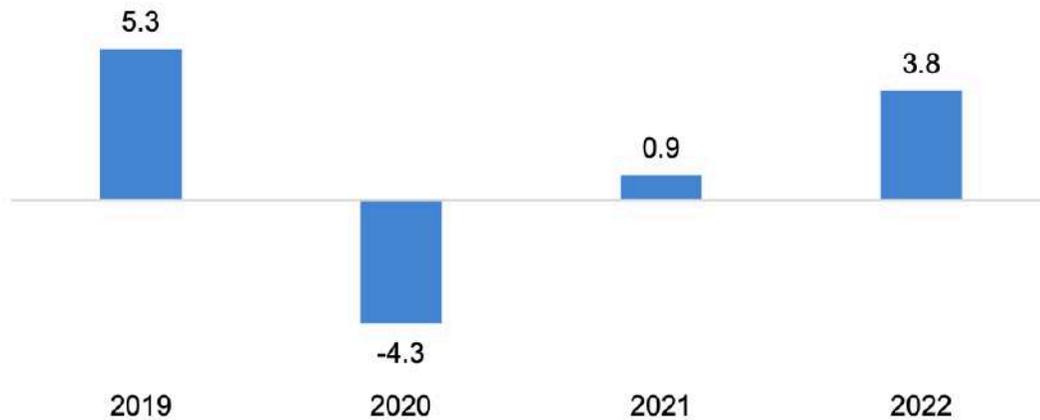
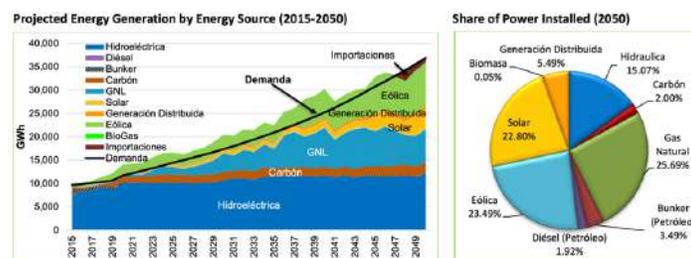


Ilustración 13: Variación porcentual del Producto Interno Bruto real del Suministro de Electricidad, gas y agua: Primer semestre de 2019 – 2022. Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censo.

2.2 MERCADO ELÉCTRICO ACTUAL

2.2.1 PLAN NACIONAL DE ENERGÍA

La Autoridad Nacional de los Servicios Públicos siendo el regulador del mercado eléctrico de Panamá, establece El Plan Nacional de Energía 2015-2050, el cual sugiere que el 70% del suministro de energía del país podría ser renovable después de 35 años. Se creó este documento para trazar una ruta a largo plazo que fomentase el uso de energías renovables, así como el acceso a la misma. El Plan Nacional de Energía se basa en la plena utilización del potencial eléctrico presente en Panamá enfocándose en las energías renovables, especialmente en la energía eólica como muestra la Ilustración 14.



Source: INE

Ilustración 14: Proyección de la generación energética por fuente y capacidad instalada por tecnología. Fuente [2]

En este apartado, se expone el Plan Nacional de Energía, el cual se presenta a continuación. Se basa en dos escenarios, uno de ellos el de referencia que se basa en no frenar la demanda y el otro siendo el alternativo, el cual propone medidas para frenar la demanda. El caso base, sugiere que se mantengan las tendencias existentes hoy en día. Dichas tendencias son: incremento del consumo de la electricidad, especialmente marcado por el sector comercial, que pasaría de 9.000 GWh a 56.000 GWh, como se muestra en la Ilustración 14 la presencia elevada del gas cuya capacidad instalada para 2050 sería de 10.000 MW mientras que las energías renovables se quedarían atrás ocupando solamente un 24% del mix eléctrico como se observa en la Ilustración 16.

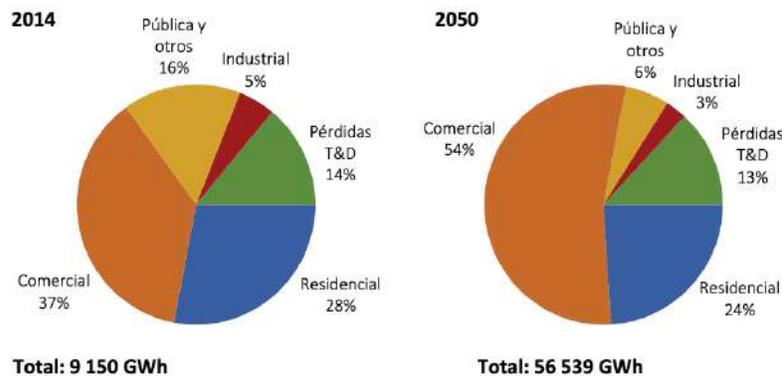


Ilustración 15: Caso base: Distribución del Consumo. Fuente [2]

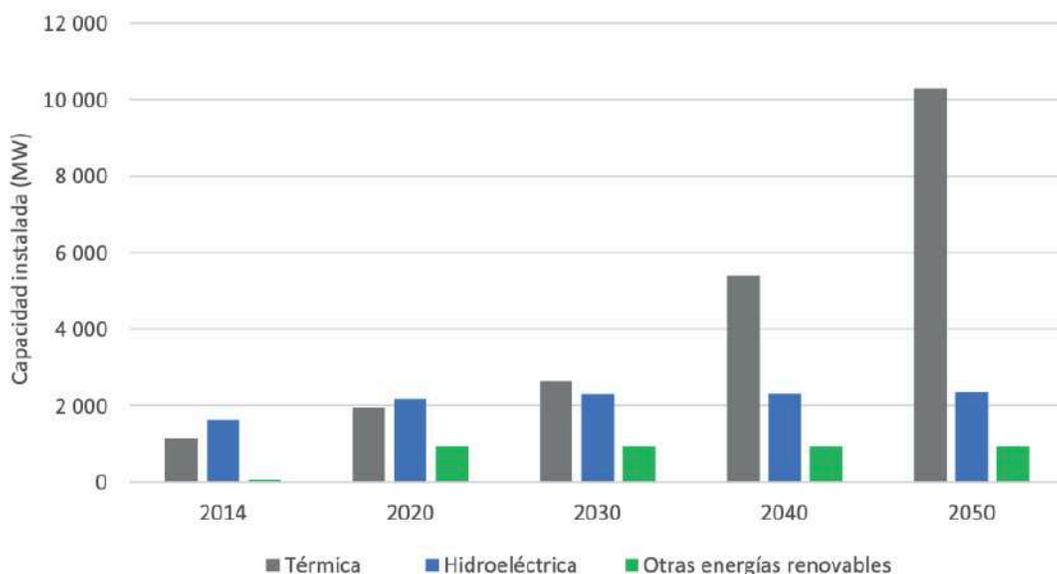


Ilustración 16: Caso base: Distribución tecnologías. Fuente [2]

Al contrario que en el caso de referencia, el escenario alternativo tiene como finalidad cambiar las tendencias que se dan en la actualidad a partir de medidas que mejores el mix

eléctrico. A través de medidas de eficiencia, las cuales son escasas hoy en día, se incrementa el consumo, pero tiene un valor inferior al presente en el caso base gracias a dichas medidas como se muestra en Ilustración 17.

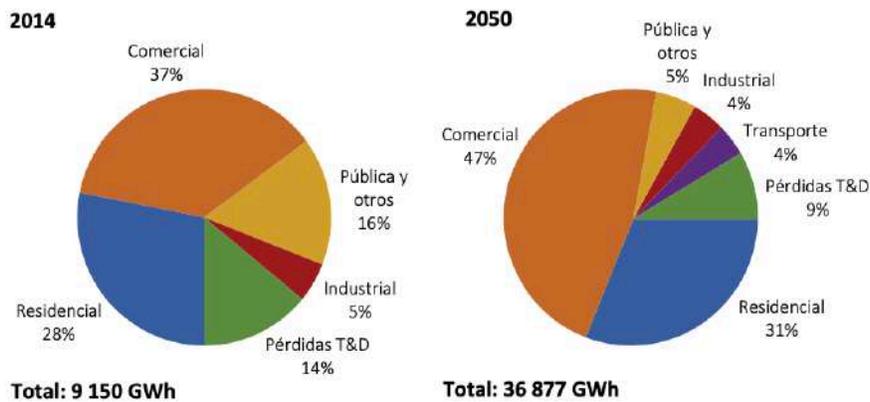


Ilustración 17: Caso alternativo: Distribución de consumo. Fuente [2]

Como se ha indicado anteriormente, en el caso alternativo se propone que el 70% del mix eléctrico sean energías renovables. A través de las medidas necesarias y más eficientes, se pretende conseguir una capacidad instalada de 8.000 MW con energía solar y eólica mientras que las fuentes de energía térmica no superaran los 6.000 MW, como se ve reflejado en Ilustración 18

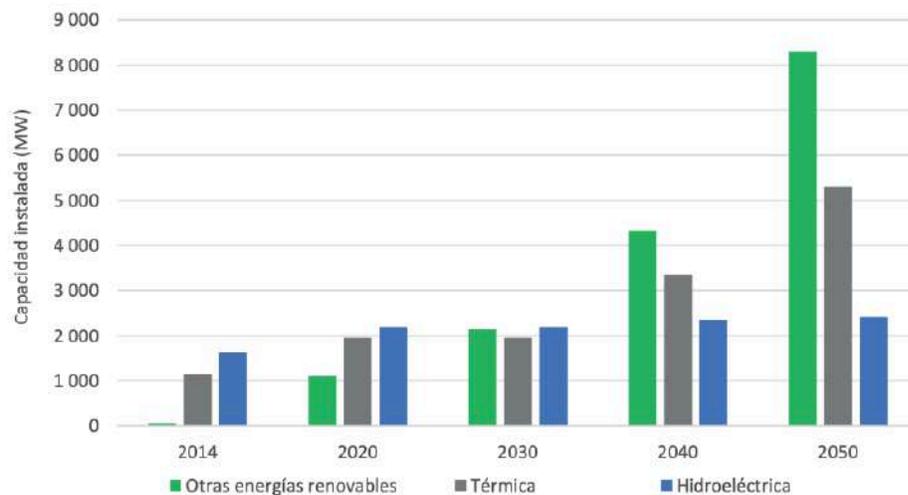


Ilustración 18: Caso alternativo: Caso base: Distribución de tecnologías. Fuente [2]

En la actualidad y con los datos proporcionados en [30] se muestra la evolución de la capacidad eólica, la generación de energía y la distribución del consumo por fuente de energía.

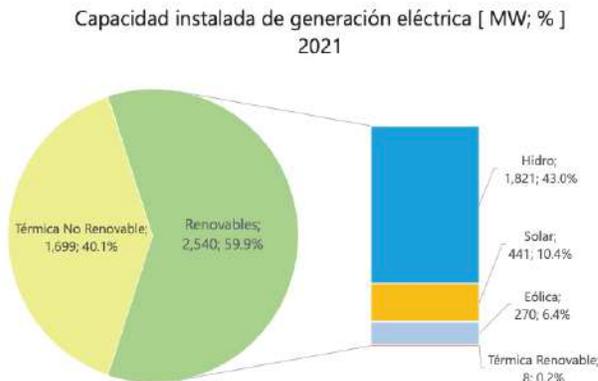


Ilustración 19: Capacidad instalada de generación eléctrica. Fuente: OLADE

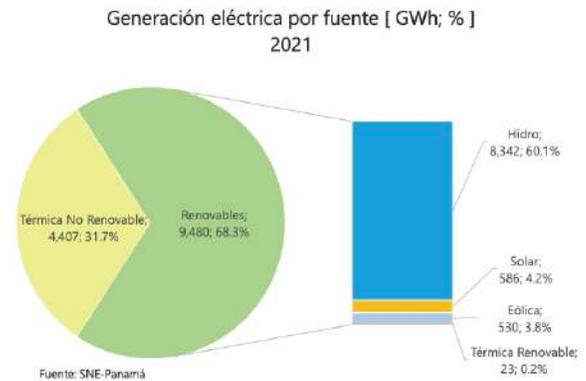


Ilustración 20: Generación eléctrica. Fuente: OLADE

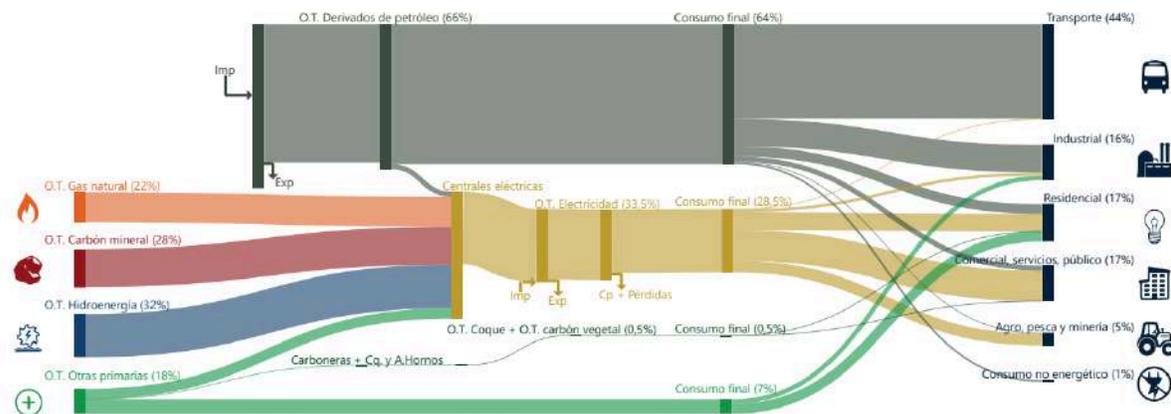


Ilustración 21: Balance energético. Fuente: OLADE

A través de la Ilustración 19, la Ilustración 20 y la Ilustración 21 se puede hacer una comparativa con el Plan Nacional de la Energía. Queda reflejado como el propósito del gobierno de Panamá es seguir el plan alternativo ya que se tenía previsto que para 2020 la generación de energía eléctrica proporcionada por la hidráulica fuese del orden de 9.000 GWh y con datos de 2021 se ve como se generaron 8.324 GWh. Además, la capacidad instalada de energía hidráulica tenía que ser alrededor de 2.000 MW y en 2021 la hidráulica contaba con 1.821 MW instalados. Esta tendencia está presente en las distintas fuentes de energía como por ejemplo en las energías no renovables que supusieron un 31,7% siendo inferior al 40% previsto y la energía solar no se contemplaba en 2021 y en el mix energético de ese año cuenta con 441 MW instalados.

2.2.2 ACTORES DEL MERCADO Y

El mercado eléctrico tanto en Panamá se encuentra dividido en cuatro tipos de actividades: los generadores, los transportistas, los distribuidores/comercializadores y los consumidores.

A continuación, se presenta una descripción de dichos actores y se muestra con más detalle la generación ya que es el ámbito de estudio de este Trabajo fin de Máster.

- **Transporte:** en el mercado eléctrico panameño la única empresa transportista es la Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A. (ETESA). Dicha empresa, es la encargada de transportar la energía eléctrica de alta tensión de los generadores hasta la red de distribución. Según datos de [30] proporcionados por la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), las empresas de generación entregaron a la red de transporte en el año 2021 13.887 GWh de los cuales se han entregado a la red de distribución 13.192 GWh. Las pérdidas existentes representan un 5%. En España, se han demandado 235.459 GWh de los cuales 4.229 han sido pérdidas en el transporte, lo que supone que las pérdidas en el transporte en España son inferiores al 2%.

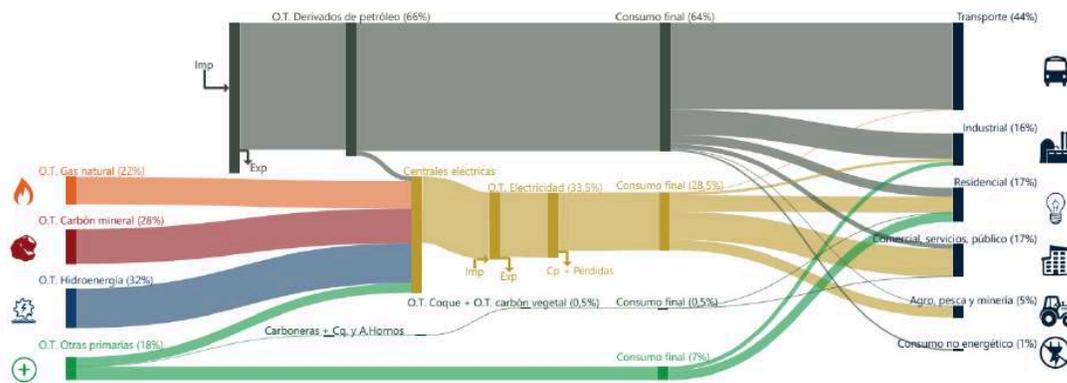


Ilustración 22: Balance energético. Fuente: OLADE

- **Distribución:** la red de distribución en el mercado eléctrico panameño está a cargo de tres empresas concesionarias: EDEMET, ENSA, EDECHI. A continuación, se muestra el número promedio de clientes por Distribuidora.

AÑOS	TOTAL	EDEMET	ENSA	EDECHI
2012	869,696	386,209	369,017	114,470
2013	902,996	400,272	384,126	118,598
2014	937,778	415,602	399,460	122,716
2015	975,400	432,111	413,114	130,174
2016	1,020,800	448,008	429,051	143,741
2017	1,045,522	457,033	441,367	147,123

Tabla 7: Número promedio de clientes por Distribuidora

De la Tabla 7 se puede concluir como aproximadamente más del 90% de la electricidad producida en el país es consumida por los clientes de estas distribuidoras. También, según [1], se puede observar que la mayor parte de los consumidores, son consumidores de tipo residencial siendo estos el 88,6%.

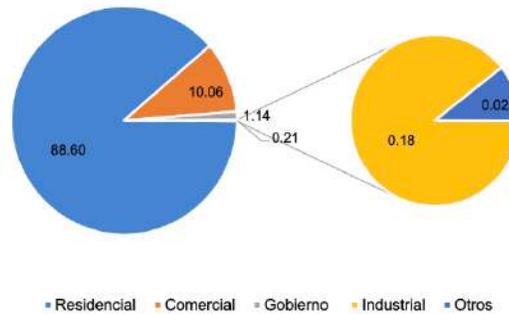


Ilustración 23: Distribución de los consumidores. Fuente: Autoridad Nacional de los Servicios Públicos

- Generación: según datos de [30], el parque eléctrico cuenta con 4,24 GW a fecha de 2021, lo que representa un crecimiento en la capacidad instalada del 46% respecto al año en el que se inició el Plan Nacional de la Energía.

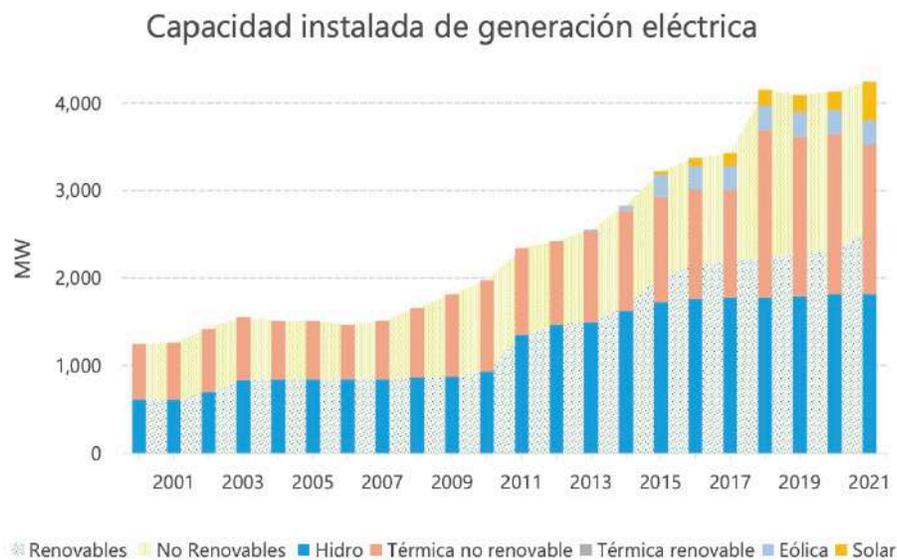


Ilustración 24: Capacidad instalada de la matriz energética en Panamá: Años 2001 – 2021. Fuente: OLADE.

A continuación, se muestra en la Ilustración 25, la previsión de crecimiento de demanda, según el Plan de Expansión del Sistema Interconectado Nacional 2017 – 2031, donde se puede observar como la demanda eléctrica crecerá anualmente entre 5.5%, 5.7% y 6.0% a

largo plazo (2017-2031), esto para los escenarios pesimista, moderado y optimista respectivamente:

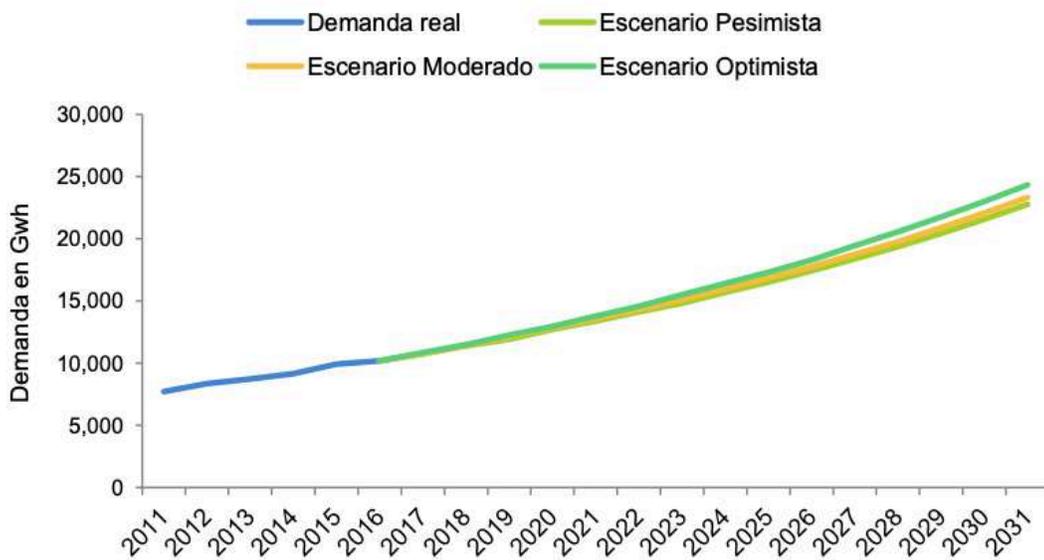


Ilustración 25: Pronóstico de la demanda por energía eléctrica a nivel Nacional: Años 2011 – 2016 y estimaciones 2017 - 2031. Fuente: Plan de Expansión del Sistema Interconectado Nacional 2017-2031, ETESA.

2.2.3 EL MERCADO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

Panamá presenta un gran potencial de desarrollo en energías renovables en cualquiera de sus fuentes. Posee un gran desarrollo en Fuentes hidráulicas e incipiente en Eólica, solar o geotérmica.

En este apartado, hablaremos del potencial y el posible desarrollo existente de las tecnologías renovables en Panamá y posteriormente en el Capítulo 3. se muestran datos más específicos de la energía eólica que sirven para empezar el estudio económico y de viabilidad:

- **Energía hidráulica:** actualmente, esta tecnología es la mayor fuente de electricidad en el país, el 53% de la capacidad total pertenece a la energía hidráulica. Según [3], el potencial estimado podría ser de 11.879 GWh/año lo que equivale a 2.389 MW de potencia instalada. Además, se han identificado 42 localizaciones para la construcción de plantas por debajo de 1 MW y 53 localizaciones para proyectos de más de 1 MW. Por otra parte, las plantas de más de 100 MW, según [3], no pueden seguir desarrollándose, siendo el último proyecto el planificado por EGESA en 2015.

- **Energía eólica:** Panamá, en el año 2015, contaba con 270 MW de capacidad eólica ubicada en Cocle, pero la capacidad eólica de Panamá se extiende por todo el país, con emplazamiento en las costas del caribe y en las cadenas montañosas como se verá más adelante.
- **Energía solar:** esta tecnología se empezó a desarrollar en el año 2013. Esta tecnología no conectada a la red eléctrica ha sido superficialmente explotada, su explotación esta principalmente en áreas rurales y sirve de manera mayoritaria para sistemas de comunicación o iluminación. La ubicación de las plantas fotovoltaicas es variada siendo las ubicaciones preferentes en el Sur y en Oeste del país, ya que existe gran proximidad con la infraestructura de la red.
- **Energía geotérmica:** durante la década de 1970 se empezó a estudiar el potencial que tiene esta tecnología en Panamá, pero no es hasta principios de 2017 que se realiza la primera expedición para encontrar fuentes de dicha energía. En los primeros estudios que se realizaron se identificaron 3 localizaciones con potencial geotérmico para la explotación. El desarrollo de esta tecnología es complicado las barreras que tiene, costes de inversión iniciales y riesgos de explotación por la incertidumbre de esta tecnología.

2.2.4 COSTES Y PRECIO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

El precio de la energía eléctrica varía según el tipo de tecnología que se utilice. De media, el precio de la energía térmica es el mayor mientras que el menor precio viene de la energía hidráulica. Según [1], el precio de la energía térmica en el año 2014 fue de 191,94 €/MWh mientras que el precio de la energía hidráulica fue de 96,26 €/MWh. La aparición de la tecnología eólica se da en el 2015, y dicha energía entra en el mercado a un precio de 100,65€/MWh.

Ya que este proyecto se desarrollaría en los próximos años, es necesario realizar un estudio del mercado futuro. Como se puede observar en la Tabla 8, en la energía térmica se presentan unos valores extremadamente bajos para tratarse de esta tecnología, esto se debe a que tanto EDEMET como EDECHI tienen contratos de Gas Natural y se espera que dichos contratos se prolonguen a partir de 2018.

Empresa Vendedora	EDEMET	EDECHI	ENSA
TÉRMICA			
Gas Natural Atlántico, S. de R.L.	0.0268	0.0268	
Martano, Inc.....	0.0209	0.0209	
Bahía Las Minas Corp.,			0.0624
ACP	0.0642	0.0642	0.0642
Sistemas de Generación, S.A.		0.0511	
Pedregal Power Company, S. de R.L.			0.0798
Panamá NG Poder, S.A.	0.0880	0.0880	
Urbalia Panamá, S.A.	0.0800		0.0800
HIDRÁULICA			
Hydro Caisán, S.A.	0.0306		0.0306
AES.....	0.0341	0.0341	0.0542
Generadora Pedregalito, S.A.	0.0542	0.0542	0.0542
Generadora Río Chico, S.A.	0.0542	0.0542	0.0542
Generadora Alto Valle, S.A.	0.0542	0.0542	
Electrogeneradora del Istmo, S.A.	0.0633		
Caldera Energy Corp.	0.0633		
Salto del Francolí, S.A.		0.0450	
Electrogeneradora del Istmo, S.A.		0.0633	0.0633
Paso Ancho Hydro Power Corp.			0.0456
Enel Fortuna, S.A.....			0.0549
EÓLICA			
UEP Penonomé II, S.A.	0.0919	0.0919	0.0919
UEP Penonomé II, S.A.	0.0949	0.0949	0.0949
UEP Penonomé II	0.0950	0.0950	0.0950
FERSA PANAMÁ, S.A.	0.0950	0.0950	0.0950
Naura Energy Corporation.....	0.0975	0.0975	0.0975
FOTOVOLTAICA			
Panama Solar 2, S.A.	0.0860	0.086	
Solpac Investment, S.A.....	0.1048	0.1048	
Enel Green Power, S.A.....	0.0772	0.0772	0.0772

Tabla 8: Precio futuros de los contratos por energía, según empresa vendedora y distribuidora: Años 2018 – 2026 en \$/kWh. Fuente: Autoridad Nacional de los Servicios Públicos.

En la Tabla 8, se observa como una de las tecnologías que menor precio tiene es la tecnología hidráulica. Actualmente, Panamá cuenta con 1700 MW de potencia hidráulica, pero existen muchos factores que limitan su desarrollo, como la oposición de grupos a su construcción. Pese a esto, según datos de la Autoridad Nacional de Servicios Públicos, existen 28 concesiones con un valor total de 443,2 MW de potencia hidráulica.

En cuanto a otras tecnologías, existe un gran potencial relacionado con la tecnología eólica. El país cuenta con un potencial de 1900 MW de los cuales solo aproximadamente 270 MW se han desarrollado. La Autoridad Nacional de Servicios Públicos ha tramitado como licencias definitivas 6 proyectos que presentan una capacidad total de 665 y, además, 13 licencias provisionales cuya potencia asciende a 1119,3 MW.

Cabe destacar que los precios mostrados, se han desarrollado antes de la pandemia del COVID-19 y de la guerra entre Rusia y Ucrania. La pandemia ha impactado negativamente de manera significativa en el crecimiento de Panamá. Dentro de las economías de la región,

Panamá fue una de más afectadas, ya que tuvo una caída del PIB del 17% en el 2020, debido a la interrupción en los sectores del turismo y comercio entre otros. En cambio, estos sectores son los que han liderado la recuperación durante el año 2021 y el primer trimestre del 2022.

Por otro lado, la guerra, ha generado un aumento significativo en los precios de la energía y de los alimentos, principalmente. Si bien es cierto que los precios venían en aumento desde la pandemia, esto genero un nuevo impulso. Desde según [7], desde diciembre de 2021 hasta junio de 2022, el precio del petróleo aumentó un 50%, pero es aún más destacable el aumento del precio del gas, ya que se ha duplicado en este curso. Además, durante la pandemia, quedaron patentes problemas en la cadena de distribución global, y la guerra tiene el potencial de acentuar aún más dichos problemas.

El aumento de los precios tanto de alimentos como de la energía, así como los problemas en la cadena de suministro global han supuesto un impulso a las tasas de inflación en la mayoría de los países del mundo, llevando a los bancos centrales a tomar medidas para frenar la inflación, es decir, subiendo las tasas de interés.

Ante esta incertidumbre producida por la inflación, las tasas de interés, y la disminución de crecimiento global, se han producido importantes caídas en bolsas y especialmente en las tasas de los Bonos del Tesoro de Estados Unidos ([7]). Esto puede afectar de manera directa al acceso de financiación a países como Panamá.



Ilustración 26: Evolución de la inflación. Fuente: FRED

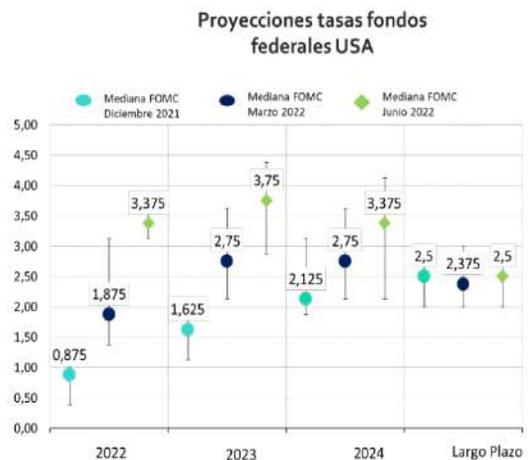


Ilustración 27: Tasas de interés por parte de la FED. Fuente: FRED

Si bien es cierto que las repercusiones de la guerra en Ucrania en la región y en Panamá, en particular, no son del todo significativas ya que los flujos de importaciones e importaciones con respecto a los países presentes en la guerra no abarcan más del 0,1% del total del comercio de Panamá (0,6% para el promedio de la región).

2.3 CONCLUSIONES

Con los datos expuestos a lo largo de todo el capítulo se puede concluir como es necesario el desarrollo de las energías renovables, en concreto de la energía eólica y además la hibridación de esta con energía solar. Durante los últimos años se ha incrementado de manera significativa la capacidad instalada de energía renovable en general. Durante 2021, el parque eléctrico de Panamá registro una capacidad instalada de 4,24 GW lo que sugiere un avance positivo en la diversificación de la matriz energética, pero la creciente demanda plantea nuevos desafíos.

La hibridación de parques eólicos con energía solar puede ser una solución prometedora además de impulsar el desarrollo de energía renovable, permite superar las limitaciones de cada fuente y además acelerar el crecimiento de ambas en el mix energético además de proporcionar un suministro más sostenible que teniendo ambas tecnologías por separadas. La energía solar instalada durante el 2021 fue de 441 MW y la energía eólica de 270 MW, siendo esto último inferior al porcentaje requerido por el Plan Nacional de la Energía.

En resumen, la hibridación del parque eólico con energía solar se presenta como una opción interesante para el desarrollo de Panamá, al contribuir al cumplimiento de los objetivos de generación establecidos.

Capítulo 3. DEFINICIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

3.1 INTRODUCCIÓN

Uno de los aspectos críticos para el éxito de cualquier proyecto es la recogida de datos. Una vez se cuente con toda la información, se pueden tomar decisiones informadas y planificar adecuadamente la ejecución del proyecto.

Para desarrollar un parque eólico, se necesitan los siguientes datos en el área de interés:

- La velocidad del viento
- La dirección del viento
- La frecuencia de los vientos fuertes
- La duración de los vientos fuertes.
- Información sobre las líneas de transmisión
- Información sobre las subestaciones eléctricas
- Presencia de servicios públicos (agua, gas, electricidad)

Los datos de viento se pueden recopilar utilizando una variedad de técnicas, como anemómetros y estaciones meteorológicas.

La recopilación de datos también es importante para evaluar los impactos sociales, económicos y medioambientales del proyecto. Por ejemplo, es importante tener en cuenta los patrones de uso del suelo y la presencia de comunidades cercanas al área de interés.

En resumen, la recogida de datos es esencial para garantizar el éxito de un proyecto de parque eólico. La información recopilada se utiliza para planificar y ejecutar el proyecto de manera eficiente y responsable, y para evaluar los impactos sociales, económicos y medioambientales.

Hay varias fuentes donde puedes encontrar información sobre los datos de viento de la costa y del interior de Panamá. Algunas opciones incluyen:

- Servicios meteorológicos nacionales: La Agencia Meteorológica Nacional de Panamá (ANAM) [28] es una buena fuente para obtener información sobre los datos climáticos y meteorológicos del país.

- Institutos de investigación y universidades: Institutos de investigación y universidades locales, como la Universidad de Panamá o el Instituto de Investigación en Energías Renovables [29], pueden tener acceso a datos climáticos y de viento detallados.
- Empresas de energía eólica: Las empresas que operan parques eólicos en Panamá pueden tener acceso a datos detallados sobre los patrones de viento en la región y pueden estar dispuestas a compartirlos.
- Base de datos internacionales: Hay varias bases de datos internacionales, como la Global Wind Atlas [10] o la base de datos de la Agencia Internacional de Energía Renovable, que ofrecen información sobre los patrones de viento a nivel global.

Es importante tener en cuenta que los datos de viento pueden variar en función de la ubicación, la altura y las condiciones ambientales. Por lo tanto, es necesario obtener datos detallados y actualizados para el área específica en la que se desarrollará el proyecto de parque eólico.

3.2 DATOS

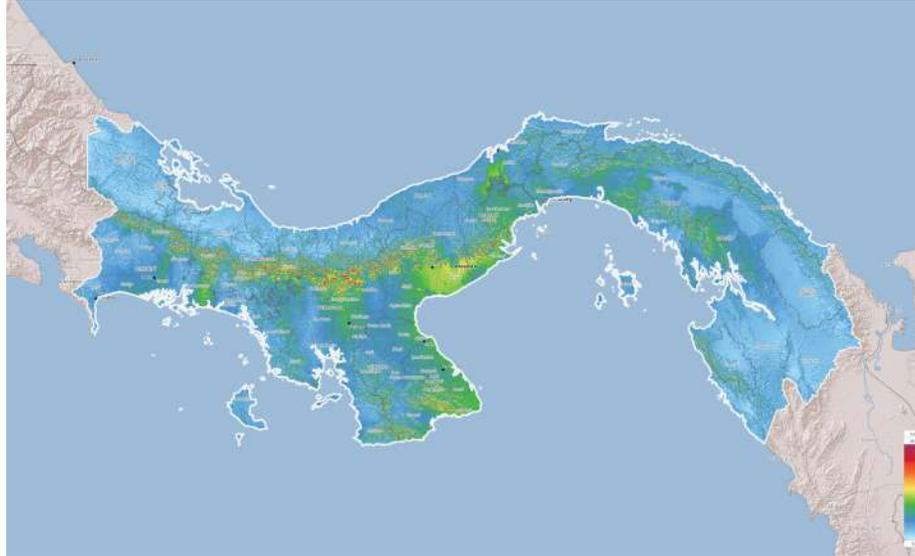
3.2.1 ESTUDIO POTENCIAL EÓLICO

En el caso de este proyecto, para tener una idea general de la velocidad del viento, se utiliza como base de datos Global Wind Atlas. A continuación, se muestran una serie de imágenes según distintas alturas donde se puede observar la velocidad del viento en una escala de colores, dicha escala de colores se muestra más ampliada en la siguiente figura.



Ilustración 28: Escala de colores según velocidad del viento. Fuente: Global Wind Atlas

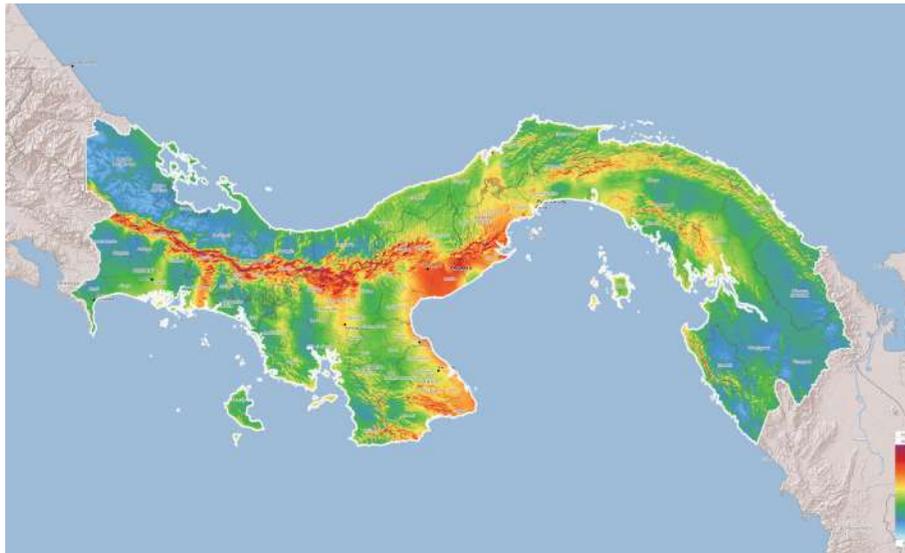
GLOBAL WIND ATLAS
MEAN WIND SPEED AT 10m



This map is printed using the Global Wind Atlas online application website (v3.1) owned by the Technical University of Denmark. For more information and terms of use, please visit <https://globalwindatlas.info>

Ilustración 29: Velocidad del viento media a 10m de altura. Fuente: Global Wind Atlas

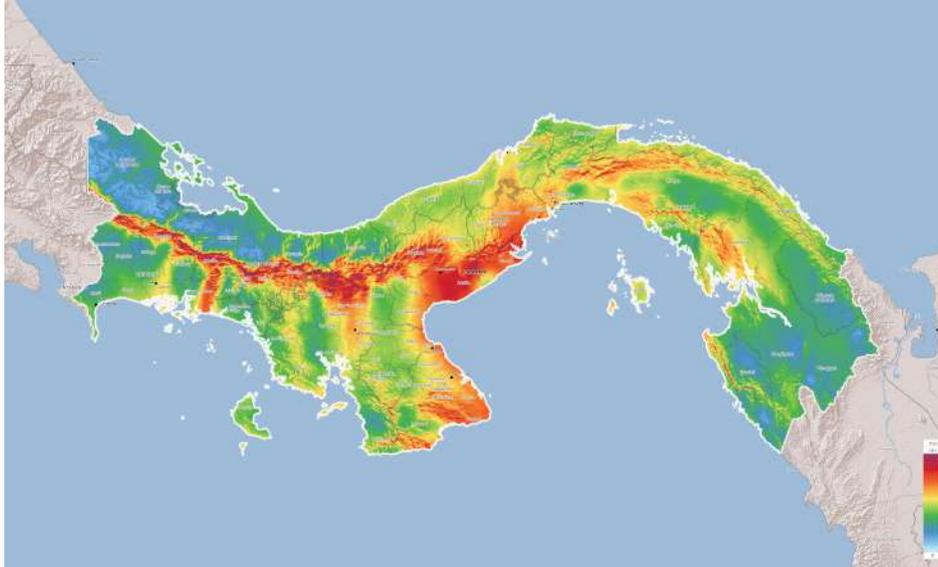
GLOBAL WIND ATLAS
MEAN WIND SPEED AT 100m



This map is printed using the Global Wind Atlas online application website (v3.1) owned by the Technical University of Denmark. For more information and terms of use, please visit <https://globalwindatlas.info>

Ilustración 30: Velocidad del viento media a 100m de altura. Fuente: Global Wind Atlas

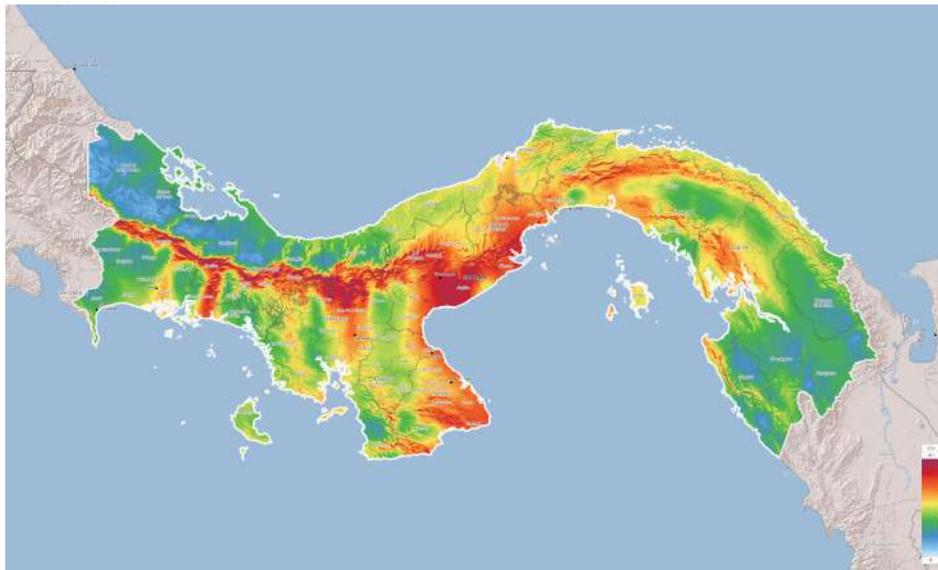
GLOBAL WIND ATLAS
MEAN WIND SPEED AT 150m



This map is printed using the Global Wind Atlas online application website (v3.1) owned by the Technical University of Denmark. For more information and terms of use, please visit <https://globalwindatlas.info>

Ilustración 31: Velocidad del viento media a 150m de altura. Fuente: Global Wind Atlas

GLOBAL WIND ATLAS
MEAN WIND SPEED AT 200m



This map is printed using the Global Wind Atlas online application website (v3.1) owned by the Technical University of Denmark. For more information and terms of use, please visit <https://globalwindatlas.info>

Ilustración 32: Velocidad del viento media a 200m de altura. Fuente: Global Wind Atlas

De estas imágenes, la primera conclusión que se puede extraer es que la mayor parte de los vientos que son más constantes y que tienen más horas equivalentes de producción

son aquellos que ocurren a mayor altitud, por lo que sería conveniente hacer un estudio sobre la posibilidad de establecer un parque a mayor altura. Además, también se observa las zonas de mayor viento se localizan en el interior, así como unas zonas de fuertes vientos en la costa sur y la costa sureste, siendo estas tres zonas de interés para establecer un parque eólico ya que se dan velocidades mayores de 10m/s.

A continuación, se muestran datos detallados a diversas alturas, que incluyen la rosa de la frecuencia de viento, la velocidad del viento y la energía eólica.

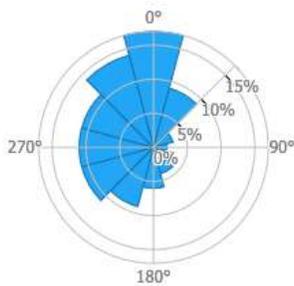


Ilustración 33: Rosa Frecuencia de viento 150m. Fuente Global Wind Atlas

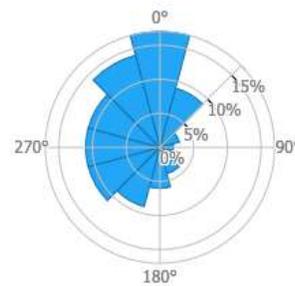


Ilustración 36: Rosa frecuencia de viento 200m. Fuente: Global Wind Atlas

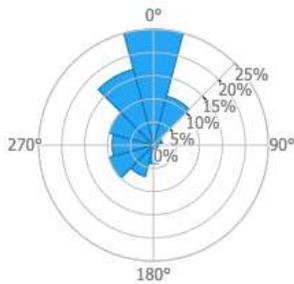


Ilustración 34: Rosa velocidad de viento 150m. Fuente: Global Wind Atlas

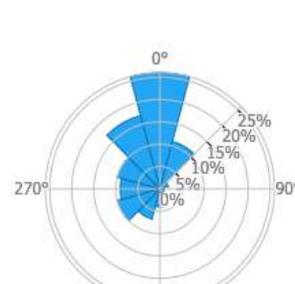


Ilustración 37: Rosa velocidad de viento 200m. Fuente: Global Wind Atlas

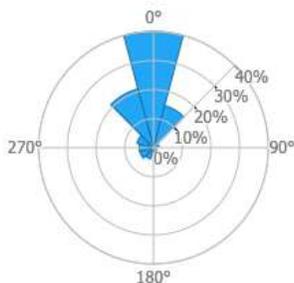


Ilustración 35: Rosa Energía eólica 150m. Fuente: Global Wind Atlas

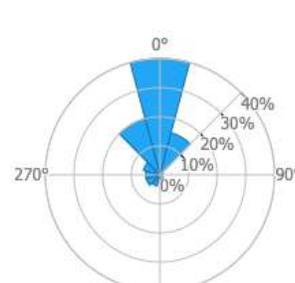


Ilustración 38: Rosa energía eólica 200m. Fuente: Global Wind Atlas

3.2.2 ESTUDIO LÍNEAS ELÉCTRICAS

Para determinar también la ubicación óptima del parque, es preciso considerar las distancias a la subestación para poder evacuar la energía, buscando la subestación más cercana para disminuir las pérdidas de energía. A continuación, se muestran las distintas subestaciones ya presentes en la geografía de Panamá.

Las líneas de transporte principales cuentan con una tensión del 230 kV. Cada generador genera en baja tensión por lo que habrá que elevar la tensión al lado de baja del transformador, para que salga a 230 kV. Como se expondrá posteriormente se cuentan con dos escenarios de tamaño de parque eólico, grande (105) y pequeño (40).

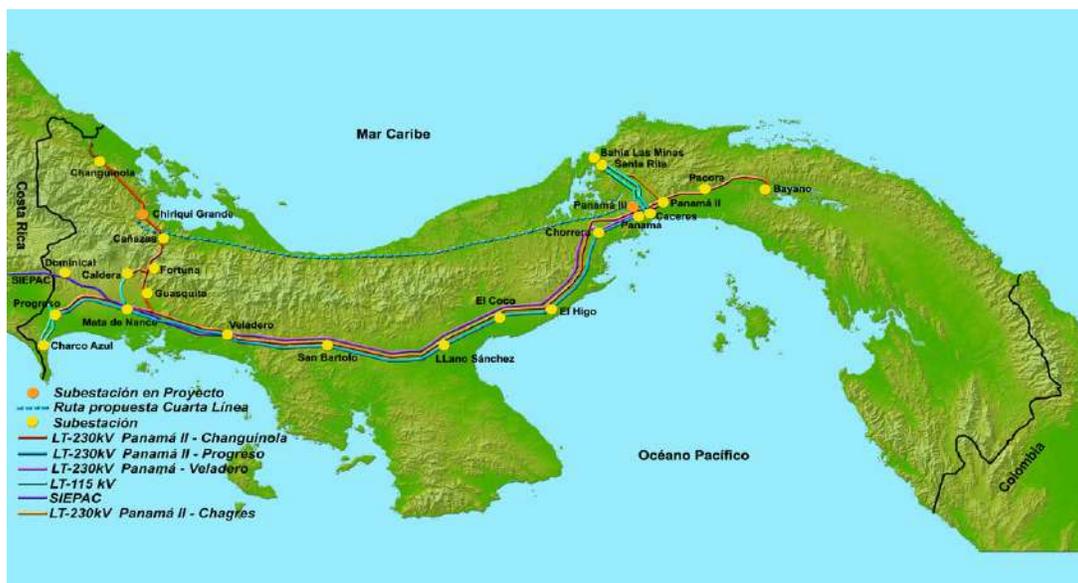


Ilustración 39: Mapa subestaciones y Líneas de Transmisión. Fuente: <https://www.etsa.com.pa/es/mapa>

Superponiendo las imágenes del viento y el mapa de subestaciones establecemos las ubicaciones de estudio.

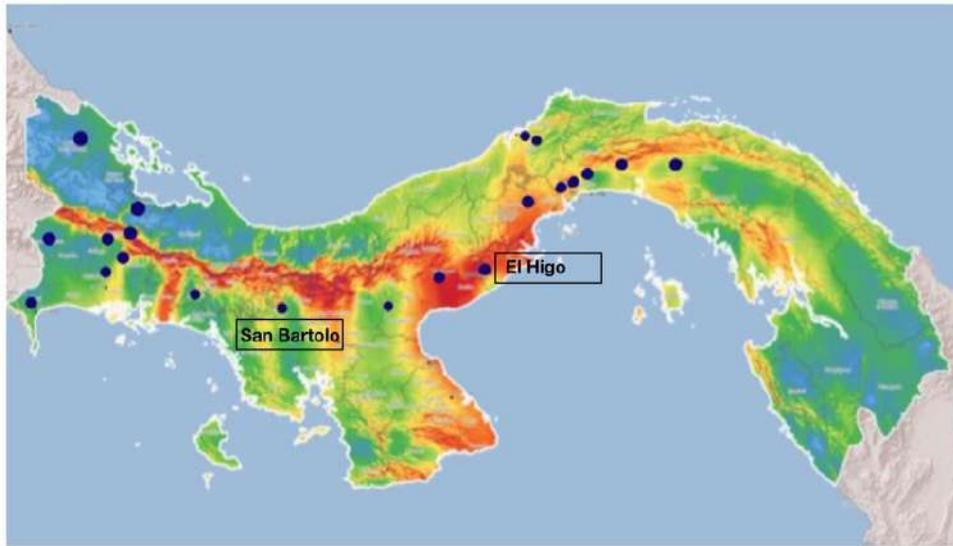


Ilustración 40: Mapa con vientos y subestaciones. Elaboración propia

Una vez visto donde se encuentran los vientos más fuertes y las menores distancias, se escogen dos escenarios, el primer escenario se desarrolla en el interior de Panamá y se encuentra conectado a la subestación San Bartolo, mientras que el segundo escenario se desarrolla en la costa de Panamá y se encontraría conectado a El Higo, si bien se podría conectar también a El Ceco, se escoge El Higo por tener más distancia entre cada caso. A través de los datos de ETESA [31] se obtienen las tensiones de las subestaciones. La subestación de San Bartolo cuenta con las siguientes tensiones 230/115/34,5 kV mientras que la subestación de el Higo cuenta con tensiones de 230/34,5 kV.

En cuanto a la potencia de la instalación, se va a partir de dos supuestos de potencia. El máximo es de 105 MW y el mínimo es 40 MW. Posteriormente, es necesario definir las horas equivalentes de funcionamiento, para ello, se utiliza el factor de carga, el cual se encuentra definido en apartados posteriores y explicado en los mismos. El factor de carga que se ha considerado es de 52% lo que supone que las horas de funcionamiento del parque tengan un valor de 4550 h. Por último, la energía generada sabiendo la potencia y las horas de funcionamiento tiene un valor de 54,60 GWh.

3.2.3 ESTUDIO DEL POTENCIAL SOLAR EN PANAMÁ

De cara un estudio de hibridación, se considera como la mejor opción la energía solar. Para ello, se buscan datos de radiación solar en el país y a continuación se observan las zonas con mayor radiación.

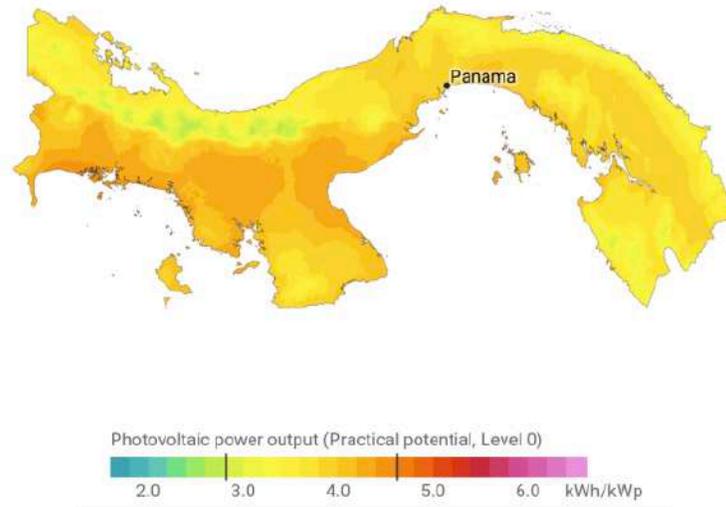
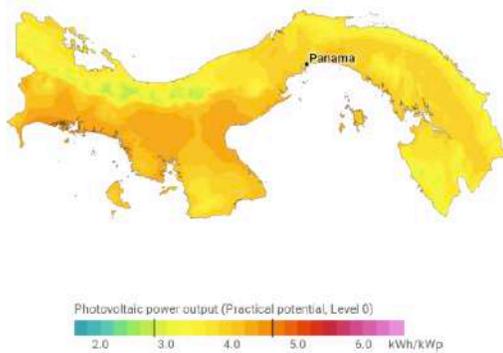


Ilustración 41: Mapa de potencial de energía fotovoltaica. Fuente: Global Solar Atlas

Se puede observar en la ilustración como las zonas con mayor radiación, se corresponden a su vez con las zonas anteriormente estudiadas por mayor densidad de viento.

Panama



INDICATORS

Total area / Evaluated area	75,420 / 75,320 km ²
Population (2018)	4,176,873
GDP per capita (2018)	15,575 USD
HDI / rank (2017)	0.79 / 64
Electricity consumption per capita (2014)	2,064 kWh/year
PV installed capacity (2018)	147 MWp
Average theoretical potential (GHI) / rank	4.745 kWh/m ² / 130
Average practical potential, level 1 / rank	3.966 kWh/kWp / 144
PV equivalent area	0.056%
PVOUT seasonality index (country range)	1.42 (1.13 – 1.76)
LCOE average (country range)	0.11 (0.10 – 0.14)

Ilustración 42: Potencial solar Panamá. Fuente: Global Solar Atlas

3.3 REPLICABILIDAD

La replicabilidad de este proyecto se basa en la capacidad que tiene de ser reproducido de manera exitosa en otros emplazamientos. Para ello, se va a estudiar principalmente el contexto de América central para establecer la idealidad de la construcción de un parque eólico en dichos lugares y se parte de la premisa de una altitud de 100m de altitud. A continuación, se muestra como resumen una pequeña muestra de la velocidad media y de la densidad del viento de cada uno de los países de América central,

	Velocidad media (m/s)	Densidad (W/m ²)
Belice	5,03	123,87
Costa rica	5,97	467,27
El Salvador	4,96	307,45
Guatemala	4,85	174,36
Honduras	5,38	243,16
Nicaragua	6,59	361,48
Panamá	5,41	279,77

Tabla 9: Datos medios de viento y densidad en países de América central. Fuente: Elaboración propia

De esta tabla se extrae como conclusión que los países que superan en velocidad media y densidad a Panamá son Costa Rica y Nicaragua. A continuación, se muestran los mapas de viento de dichos países, las gráficas de velocidad media y densidad del viento se encuentran en el ANEXO III: Datos Replicabilidad.



Ilustración 43: Mapa de viento Costa Rica. Fuente: Global Wind Atlas

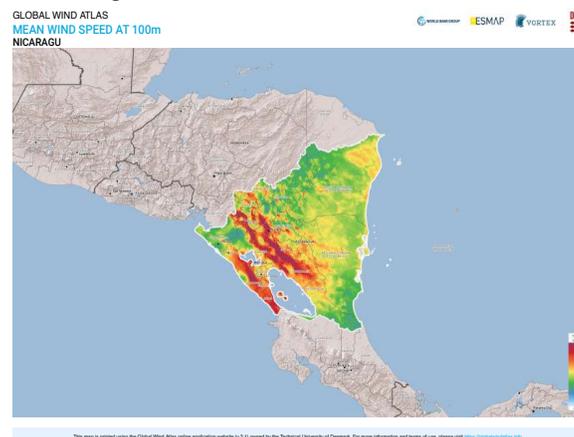
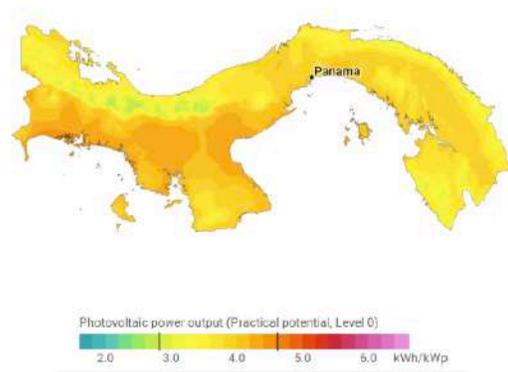


Ilustración 44: Mapa de viento Nicaragua. Fuente: Global Wind Atlas

Al tratarse de un Trabajo de Fin de Master cuyo fin es el estudio de una posible hibridación, la cual consiste en generar energía a partir de diversas fuentes para aprovechar la potencia en el punto de conexión, los puntos de conexión y mejorar el factor de potencia de las instalaciones, entre eólico y solar, conviene también estudiar el potencial solar que tienen los países anteriormente mencionado. A continuación se muestran una imágenes donde se ve como indicador clave el potencial teórico de la energía solar, siendo el potencial de Nicaragua [39] y Costa Rica [38] mayor al potencial de Panamá [40] (5.042 kWh/m²; 4.891 kWh/m²; 4.745 kWh/m²).

Panamá

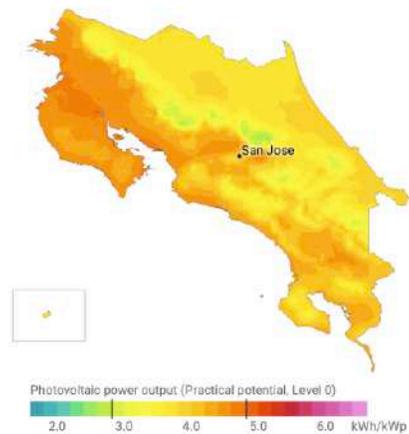


INDICATORS

Total area / Evaluated area	75,420 / 75,320 km ²
Population (2018)	4,176,873
GDP per capita (2018)	15,575 USD
HDI / rank (2017)	0.79 / 64
Electricity consumption per capita (2014)	2,064 kWh/year
PV installed capacity (2018)	147 MWp
Average theoretical potential (GHI) / rank	4.745 kWh/m ² / 130
Average practical potential, level 1 / rank	3.966 kWh/kWp / 144
PV equivalent area	0.056%
PVOUT seasonality index (country range)	1.42 (1.13 - 1.76)
LCOE average (country range)	0.11 (0.10 - 0.14)

Ilustración 45: Potencial solar Panamá. Fuente: Global Solar Atlas

Costa Rica

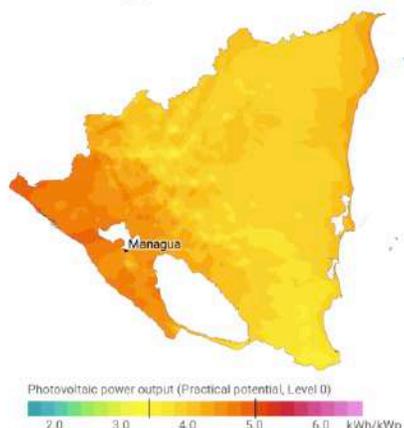


INDICATORS

Total area / Evaluated area	51,100 / 51,100 km ²
Population (2018)	4,999,441
GDP per capita (2018)	12,027 USD
HDI / rank (2017)	0.79 / 61
Electricity consumption per capita (2014)	1,942 kWh/year
PV installed capacity (2018)	28 MWp
Average theoretical potential (GHI) / rank	4.891 kWh/m ² / 119
Average practical potential, level 1 / rank	4.093 kWh/kWp / 129
PV equivalent area	0.09%
PVOUT seasonality index (country range)	1.44 (1.23 - 1.68)
LCOE average (country range)	0.10 (0.09 - 0.14)

Ilustración 46: Potencial solar Costa Rica. Fuente: Global Solar Atlas

Nicaragua



INDICATORS

Total area / Evaluated area	130,370 / 120,290 km ²
Population (2018)	6,465,513
GDP per capita (2018)	2,029 USD
HDI / rank (2017)	0.66 / 120
Electricity consumption per capita (2014)	568 kWh/year
PV installed capacity (2018)	30 MWp
Average theoretical potential (GHI) / rank	5.042 kWh/m ² / 112
Average practical potential, level 1 / rank	4.109 kWh/kWp / 126
PV equivalent area	0.015%
PVOUT seasonality index (country range)	1.36 (1.23 - 1.51)
LCOE average (country range)	0.10 (0.09 - 0.12)

Ilustración 47: Potencial solar Nicaragua. Fuente: Global Solar Atlas

Además, a la hora de replicar un proyecto, es necesario realizar un estudio del país donde se quiere instaurar el Parque, por ello, se necesitan países que cuenten con una estabilidad en todos los ámbitos: social, política, jurídica y económica., es por ello que a continuación se expone un ranking de Legatum Institute [37], el cual muestra los factores, los cuales se encuentran definidos [36] en el ANEXO IV: Pillars of Prosperity, que propician el éxito de los países. Como se puede observar en la Tabla 10 el país con mayor ranking es Costa Rica seguido de Panamá, mientras que Nicaragua se encuentra en el último puesto, por lo que a la hora de replicar un proyecto de estas características en esta zona, se haría en Costa Rica.

RANK	COUNTRY													
39		+	48	19	33	25	52	46	56	59	58	30	50	23
50		+	49	54	66	45	59	84	46	50	79	57	93	25
93		+	90	44	97	117	113	110	98	123	91	91	104	53
97		+	125	88	102	85	92	94	77	107	90	98	108	121
101		+	116	91	125	91	93	85	86	76	113	104	124	81
105		+	129	94	141	56	91	100	88	100	111	99	117	65
114		+	109	124	153	70	125	146	103	116	110	78	120	67

Tabla 10: Ranking de países. Fuente: Legatum Institute

3.4 IMPACTO EN EL EMPLEO

Este Trabajo de Fin de Master se basa en la hibridación de energía eólica con energía solar por lo que se va a estudiar el impacto del empleo tanto en la energía eólica como en

la solar. En el caso de la energía eólica se va a contar con una instalación cuya potencia se va a estudiar entre los valores 40 y 105 MW mientras que la energía solar va a contar con unas potencias que varíen entre 5 y 20 MW.

En el año 2021 se estimó un empleo mundial de la energía solar fotovoltaica de 4,3 millones de personas mientras que en el año 2020 se dio empleo a 4 millones de personas. La mayor parte de estos empleos se encuentran en Asia.

En el sector eólico [41], el año 2021 contó con 1,4 millones de personas mientras que en el año 2020 hubo 1,25 millones de personas, lo que supone un incremento de un 12% en la creación de empleo en este sector. En el año 2022, el Consejo Mundial de la Energía Eólica estimó que aquellas instalaciones de energía eólica durante el periodo de 2022-2026 crearían aproximadamente 230.000 puestos de trabajo directos e indirectos equivalentes a tiempo completo en la India, 115.000 en Brasil, 59.000 en Filipinas, 37.000 en Sudáfrica y 29.000 en México.

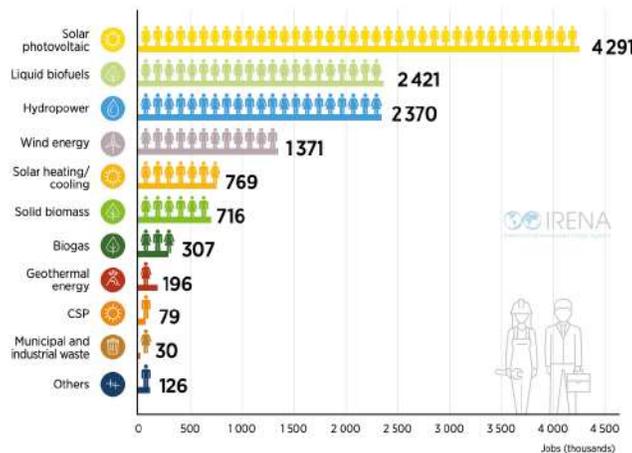


Ilustración 48: Empleos creados según tecnología. Fuente: IRENA

En [42] se indica que la mayor parte de los proyectos crean mayor número de empleos en las fases de construcción y desarrollo. Los puestos de trabajos generados se distinguen en tres tipos: directos, indirectos e inducidos. Los empleos directos son aquellos que se crean directamente ya sea por construcción o mantenimiento; los empleos indirectos son aquellos que sirven de apoyo a la construcción del parque como la fabricación; los empleos inducidos son los creados por la inversión a nivel local entre los que se encuentran los comercios minoristas entre otros. (National Renewable Energy Laboratory, 2016).

Es en el ámbito de la construcción donde se da la mayor parte de la creación de empleo. En Estados Unidos, un proyecto eólico de 50 MW creará 40 empleos equivalentes a tiempo completo durante el periodo de construcción. A largo plazo, un parque eólico

suele tener una vida útil que se encuentra entre los 20-30 años y el número de personas empleadas dependerá del tamaño del proyecto. Si se trata de un proyecto de poco tamaño, se puede operar a distancia y solo contara con personal cuando haya operaciones de mantenimiento necesarias, mientras que los proyectos de mayor tamaño, contarán con personal a tiempo completo que se encargue del mantenimiento y la operación del parque. La estimación de puestos es de 2 técnicos por cada 10 o 20 turbinas. Los trabajos de operación y mantenimiento suelen ser ocupados por personal cualificado, pero también suelen contar con personal local que es dirigido por un supervisor con experiencia. Por último, el desarrollo de un parque eólico puede suponer una fuente adicional de ingresos gracias a los distintos contratos de arrendamientos que pueden existir. A continuación con los datos proporcionados por [44] se muestra en Ilustración 49 una estimación de empleo según tecnología y fase de desarrollo del proyecto.

	MANUFACTURING & INSTALLATION (JOB-YEARS/MW)	OPERATION & MAINTENANCE (JOBS/MW)
Wind		
Minimum	2.6	0.1
Maximum	15	0.6
PV		
Minimum	7.1	0.1
Maximum	43	0.7

Ilustración 49: Estimación de empleo por tecnología. Fuente: IRENA

A partir del estudio en [43] se intenta establecer números sobre el empleo más concretos. Por una parte, se distingue el empleo en las labores previas al proyecto, las cuales se basan en la realización de informes y en análisis de la oferta, analizan la producción para la instalación y se presta soporte para la contratación. Actualmente, no existe una relación, pero se estima que puede haber un equipo de 5-8 personas, lo que en el caso de este estudio supone 1 persona por cada 6 MW. Se estima también la creación de empleo durante la construcción. Esta cantidad varía según la velocidad del proyecto, pero se establece que puede dar lugar a picos de 400 personas sobre el terreno, lo que supondría 12 personas por cada MW de instalación. Por último, durante la fase de operación y mantenimiento se establece que depende del tamaño del parque, pero se estima que existan tres parejas, por lo que existe una pareja por cada 12 MW.

3.5 CONCLUSIONES

A partir de los datos expuestos a lo largo de todo el capítulo se pueden tomar decisiones con fundamento para la planificación y ejecución del proyecto. Esta parte del proyecto es una parte fundamental para garantizar el éxito del parque eólico con hibridación solar.

Los vientos fuertes ocurren a mayor altitud ya sea esto en zonas de costa o de interior, siendo las velocidades superiores a 10m/s. Se tiene en cuenta también la radiación presente en todo el país, coincidiendo en gran parte con las zonas de mayores vientos.

Se elige la ubicación óptima del parque para minimizar las pérdidas, en este caso se ha decidido desarrollar este proyecto cerca de la subestación de San Bartolo (interior de Panamá) o el Higo (costa de Panamá) por ser zonas con vientos fuertes y radiación solar superior a la media.

Por otro lado, queda demostrado la replicabilidad del proyecto en el contexto de América central, por condiciones parecidas o superiores en cuanto a recurso eólico y por mayor potencial solar en las otras regiones. Además, a partir del ranking anteriormente expuesto, se concluye como el país de América Central con mayor potencial de replicación de este proyecto se trata de Costa Rica.

Para finalizar, la creación de empleo dependerá del tamaño del proyecto, así como de la velocidad de desarrollo del mismo. Se establece de media como la energía eólica crea una media de empleos por MW durante la fase de instalación de 8,8 y de 0,35 en la fase de operación y mantenimiento, mientras que la energía solar genera 25 empleos por MW en la fase de instalación y 0,4 en la fase de operación y mantenimiento.

Capítulo 4. ANÁLISIS ECONÓMICO

4.1 INTRODUCCIÓN

Para analizar la inversión y por tanto determinar la potencia instalada del parque con hibridación de eólico y solar, para ello es necesario hacer un breve esquema de todos los elementos eléctricos presentes en la instalación. Todo parque eólico está constituido por los siguientes elementos:

- Aerogeneradores. Elementos principales en la producción de la energía.
- Centros de transformación. Estos elementos están asociados a cada aerogenerador, situando un centro de transformación a los pies del aerogenerador para su posterior conexión a la línea de media tensión. Estos centros están constituidos por los siguientes elementos:
 - Un edificio prefabricado.
 - Un transformador elevador de aislamiento seco.
 - Celdas de protección y maniobra de los circuitos de MT.
 - Cables de MT.
 - Cables de BT entre el transformador y el aerogenerador.
 - Fusibles de protección en BT.
- Línea de aerogeneradores de MT. Sirve para la conexión subterránea que conecta a los centros de transformación y transporta la energía hasta la subestación transformadora.
- Líneas de comunicación. Se trata de un conjunto de líneas de fibra óptica para comunicaciones, tanto de los sistemas de control como de los sistemas de protección del parque.
- Torre meteorológica.

4.2 ANÁLISIS ECONÓMICO

Para evaluar la rentabilidad de un parque eólico se necesitan algunos detalles sobre el proyecto específico, como el tamaño del parque eólico, la ubicación geográfica, la capacidad de generación de energía y los costes de construcción y operación. Además, es conveniente tener información sobre las tarifas eléctricas en el mercado local y los incentivos fiscales aplicables.

Una vez se tenga esta información, se puede crear un modelo que incluya los siguientes componentes:

- Se ha de suponer a la hora hacer el modelo la potencia y capacidad de generación.
- Proyecciones de ingresos, basadas en la producción prevista de energía y la tarifa eléctrica aplicable.
- Proyecciones de costes, que incluyen los costes de construcción y operación.

Una vez se tengan los datos de entrada planteados, los costes y los ingresos, es necesario hacer cálculos financieros. En este proyecto se va a realizar el flujo de caja. Con esto, se pueden evaluar indicadores financieros clave como el payback period y el internal rate of return (IRR).

Además, se pueden mostrar distintas gráficas y tablas para visualizar los resultados y permitir una fácil comparación entre diferentes escenarios.

4.3 ESTUDIO PREVIO

4.3.1 PARQUE EÓLICO

4.3.1.1 Costes

Los costes son un factor clave en cualquier proyecto, y esto no es diferente en el caso de un parque eólico. Los costes abarcan desde la adquisición de los aerogeneradores hasta la construcción y el mantenimiento del parque. Dichos costes pueden variar ampliamente, es por esto por lo que, es importante hacer un estudio exhaustivo de los costes asociados con el desarrollo de un parque eólico antes de tomar una decisión sobre la viabilidad del proyecto.

Los costes más importantes para considerar a la hora de construir el parque eólico son los costes de adquisición de los aerogeneradores, los costes de construcción del parque (incluyendo la instalación de las torres, los cables y los transformadores), los costes de financiación, los costes de operación y mantenimiento, y los costes de obtención de permisos y cumplimiento normativo.

Por otro lado, existen costes indirectos que van asociados con los aspectos medioambientales y sociales. Es posible que durante la vida del parque eólico haya que compensar a las comunidades locales, haya que realizar restauración de la tierra o se produzcan impactos negativos en la fauna y la flora local. A continuación, se muestra una lista de costes que habría que tener en cuenta, para saber el valor económico de todos ellos, se necesitaría que una empresa hiciese un estudio, pero esto no se desarrolla en este proyecto y en su lugar se van a utilizar estimaciones de costes por megavatio tanto para la inversión como operación y mantenimiento.

DESCRIPCIÓN	
1.-MOVIMIENTO DE TIERRAS	
	ACCESOS
	CIMENTACIÓN
	AEROGENERADORES
	CENTRO TRANSFORMACIÓN
	ÁREAS OCUPACIÓN TEMPORAL
	ZANJAS
2.- ZANJAS	
	CIMENTACIÓN
	AEROGENERADORES
	C.T. PREFABRICADOS
	ZANJAS DE CRUCE
	DRENAJES
3.- CENTROS DE TRASFOMACIÓN	
	PUENTES BAJA TENSIÓN
	PUENTES MEDIA TENSIÓN
	TRANSFORMADOR
	CELDAS
	ALUMBRADO Y ELEMENTOS DE SEGURIDAD
	RED PUESTA A TIERRA
4.- SUBESTACIÓN LÍNEA 1	
5.- RED SUBTERRÁNEA	
	RED MEDIA TENSIÓN
	RED COMUNICACIÓN
	RED PUESTA A TIERRA
6.- AEROGENERADORES	
7.- URBANIZACIÓN	
8.- INCONTINGENCIAS	
9.- SEGURIDAD Y SALUD	
10. INGENIERÍA	

Tabla 11: Costes asociados a la construcción del parque eólico

En resumen, es importante evaluar cuidadosamente todos los costes asociados con el desarrollo de un parque eólico antes de tomar una decisión sobre la viabilidad del proyecto. Esto incluye no solo los costes directos, sino también los costes indirectos, a

fin de tener una visión completa de los costes totales y poder tomar decisiones informadas sobre la rentabilidad del proyecto.

Para la estimación de la inversión se han analizado diversos proyectos presentes en [46] que se encuentran ya desarrollados o en fase de operación en Panamá cuyos datos se muestran a continuación representados en Ilustración 50 e Ilustración 51. Se establece que la media de inversión por cada MW es de 2.000.000 \$/MW cabe destacar como para simplificar los cálculos se ha hecho una media lineal pero al existir un efecto tamaño este valor puede variar.

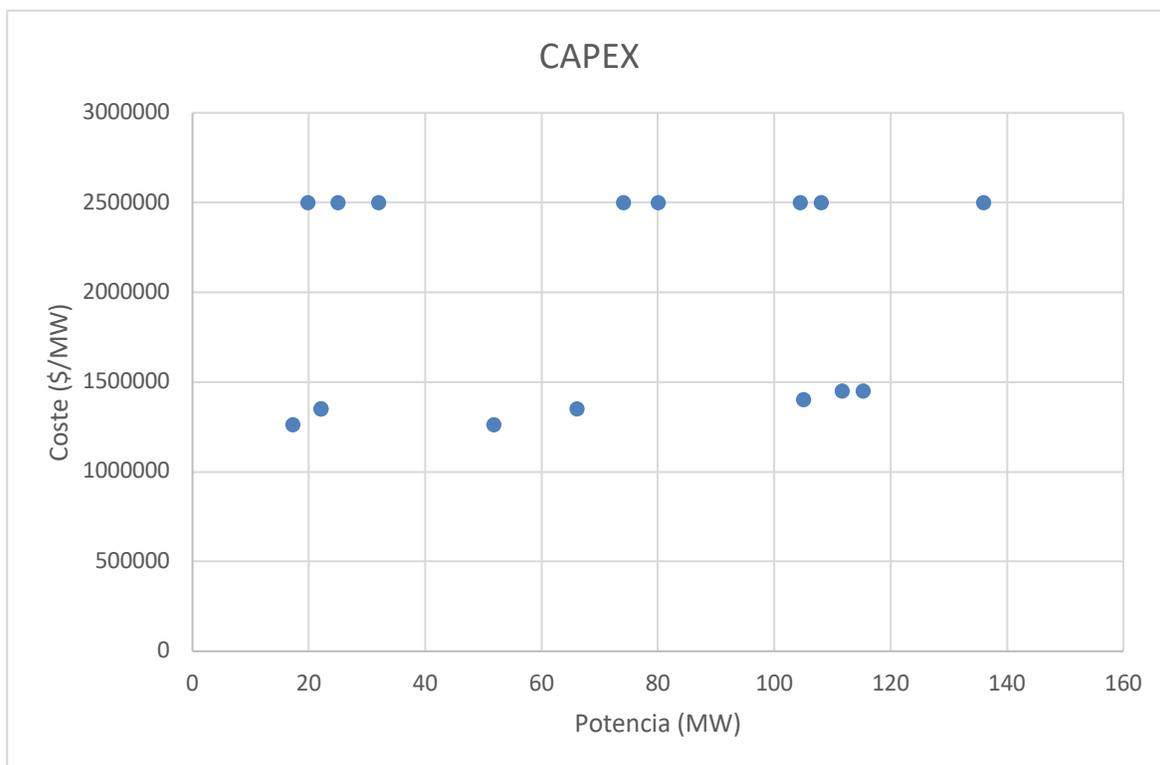


Ilustración 50: CAPEX parque eólico. Fuente: República de Panamá.

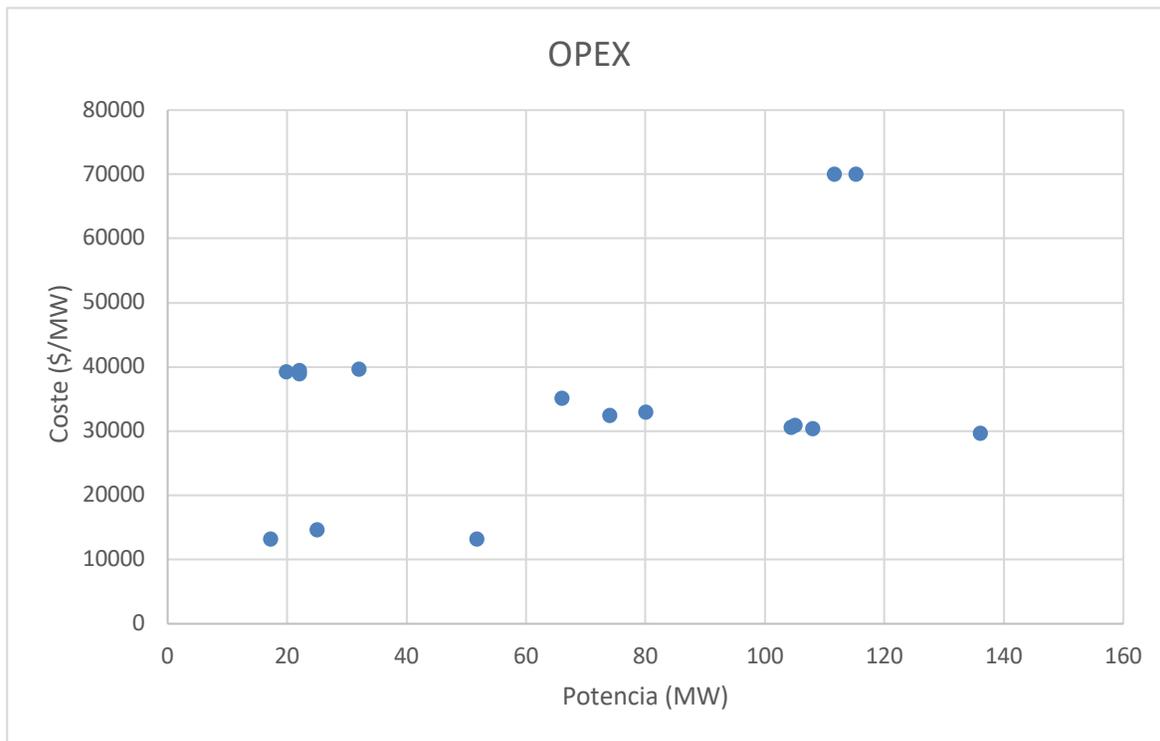


Ilustración 51: OPEX parque eólico. Fuente: República de Panamá

CAPEX (\$/MW)	2.000.000
OPEX (\$/MW)	30.000
Factor de carga	40%

Tabla 12: Tabla resumen CAPEX, OPEX, Factor de carga. Fuente: Elaboración propia

A continuación se establece una comparativa a partir de los datos proporcionados por IRENA en [5], donde se obtienen datos de la media ponderada mundial del coste total de instalación de los proyectos eólicos terrestres. A continuación, se muestra la tendencia de los costes totales medios en 15 países que se consideran mercados eólicos relevantes y que cuentan con muestras de datos significativas.

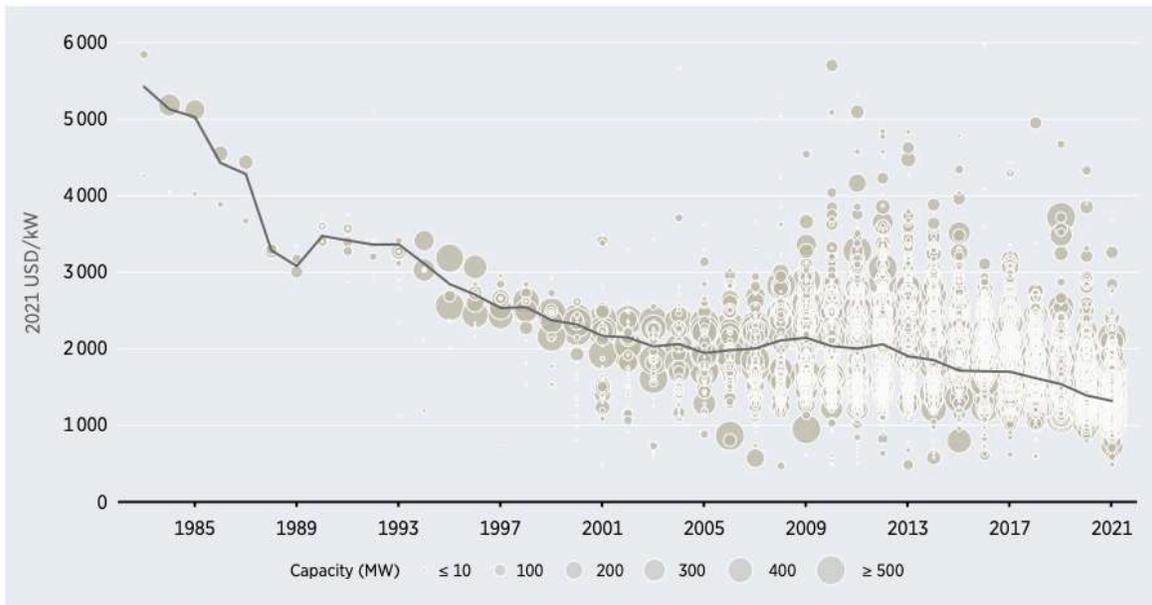


Ilustración 52: Costes totales de instalación en kW. Fuente: IRENA Renewable Cost Database

Además, los costes totales de instalación también se pueden desglosar por región para asemejar con mayor exactitud los números que se usen en los análisis económicos a la realidad presente. Se puede observar como el coste medio que se ha obtenido a partir de los trabajos anteriormente mencionados es superior al coste medio que hay en la región de Centro América y Caribe (2.000 \$/kW vs 1.583 \$/kW).

	2010			2021		
	5 th percentile	Weighted average	95 th percentile	5 th percentile	Weighted average	95 th percentile
(2021 USD/kW)						
Africa	1 440	1 667	3 145	1 149	1 892	2 924
Central America and the Caribbean	2 618	2 776	2 922	1 583	1 583	1 583
Eurasia	2 534	2 534	2 534	888	1 349	1 738
Europe	1 832	2 517	3 671	1 127	1 623	2 182
North America	1 962	2 563	3 329	1 079	1 388	2 325
Oceania	3 176	3 647	4 010	1 136	1 256	1 371
Other Asia	1 920	2 606	2 860	1 232	1 545	2 260
Other South America	2 513	2 739	2 863	1 146	1 663	2 292
Brazil	2 461	2 734	3 008	842	1 150	1 960
China	1 311	1 554	1 819	968	1 157	1 514
India	927	1 415	1 673	755	926	1 057

Ilustración 53: Costes de instalación desglosados por región. Fuente: IRENA Renewable Cost Database

También a partir de los datos proporcionados por IRENA en [5], se obtienen datos de la media ponderada mundial de los costes de operación y mantenimiento de los proyectos eólicos terrestres. Se observa una tendencia a la baja de dichos costes que reflejan la madurez del mercado con los años.

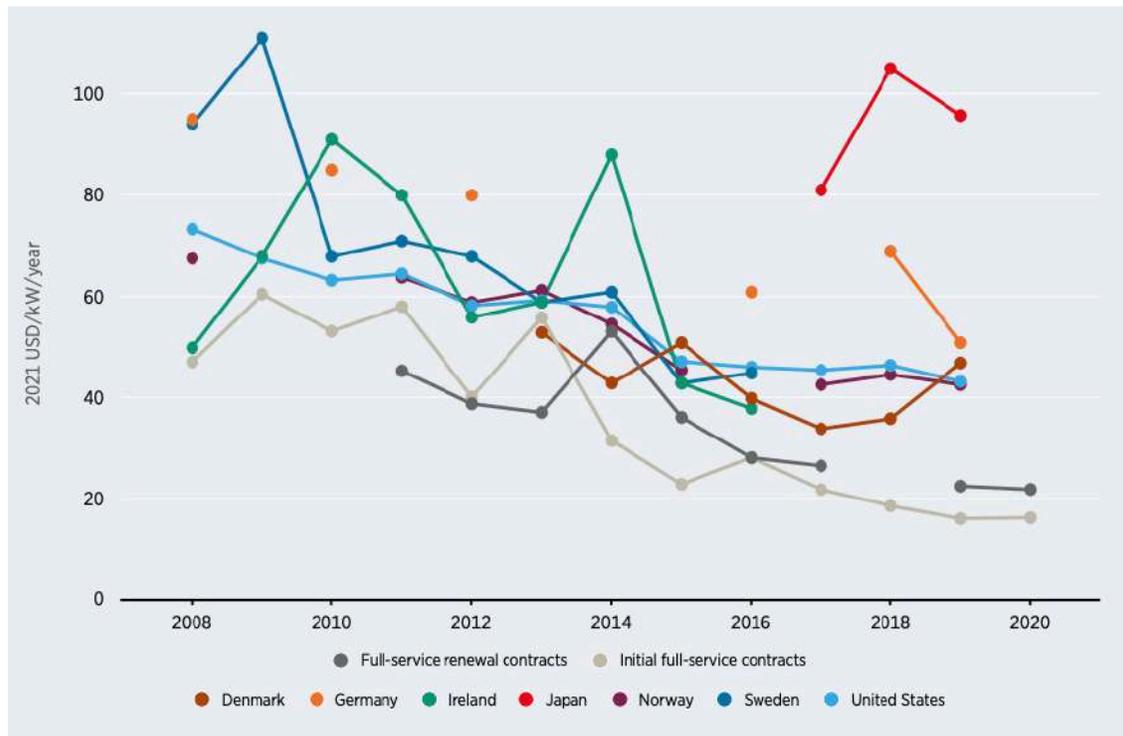


Ilustración 54: Costes de operación y mantenimiento por región. Fuente: BNEF, 2020c and IEA Wind, 2021

Si bien la mayor parte de países mostrados en la ilustración anterior difieren mucho de Panamá, se va a utilizar como aproximación el dato proporcionado por Estados Unidos.

Por último, hay que considerar el factor de carga. El factor de carga representa la producción anual de energía de un parque eólico, siendo esta expresada como porcentaje de la producción máxima del parque. Se determina por dos factores: la calidad del recurso eólico y la tecnología de las turbinas.

	2010	2021	Percentage change 2010-2021
	%		
Brazil	36	52	44
Canada	32	45	39
China	25	36	42
Denmark*	27	39*	44
France	26	36	35
Germany	24	28	15
India	25	35	42
Italy	25	33	30
Japan	24	24	-
Mexico	40	37	-8
Spain	27	43	59
Sweden	29	37	29
Türkiye	26	39	52
United Kingdom	30	41	37
United States	33	45	37

Ilustración 55: Factores de carga medios por regiones. Fuente: IRENA Renewable Cost Database

En resumen, se muestra en la siguiente tabla, los costes que se van a utilizar a la hora de hacer el análisis económico. Los costes de la inversión se corresponden a los costes obtenidos por distintos proyectos desarrollados en Panamá.

Resumen de costes	
Inversión (\$/kW)	2.000
O&M (\$/kW)	30
Factor de carga (%)	40%

Tabla 13: Resumen de costes. Fuente: Elaboración propia

4.3.1.2 Ingresos

Los ingresos pueden provenir de la venta de energía eléctrica a compañías distribuidoras, la venta de certificados de energía renovable, la participación en subastas de energía, entre otros.

Es importante tener en cuenta que los ingresos de un parque eólico dependen de muchos factores, entre ellos, la localización del parque, la disponibilidad de viento, la capacidad de los aerogeneradores, la demanda de energía eléctrica, entre otros. Por lo tanto, es necesario realizar un estudio exhaustivo de la demanda y oferta de energía eléctrica en la zona donde se ubicará el parque.

Es importante destacar que los ingresos pueden ser influenciados por factores externos a la operación, como cambios en la política energética, fluctuaciones en los precios de la energía, cambios en las condiciones climáticas, entre otros. Por lo tanto, es necesario realizar un análisis cuidadoso de los riesgos y las incertidumbres asociados a los ingresos antes de tomar una decisión sobre el proyecto.

En resumen, la introducción sobre los ingresos de un parque eólico es una parte fundamental de la evaluación de la rentabilidad del proyecto, ya que permite tener una comprensión clara de las fuentes de ingresos y los factores que pueden influir en ellos. Esto es esencial para tomar una decisión informada sobre la viabilidad y rentabilidad del proyecto.

Para establecer los ingresos se parte principalmente de los ingresos por la venta de energía y para ello se utilizan PPA. Un Power Purchase Agreement (PPA) es un acuerdo entre un comprador de energía y un generador de energía, en el que el comprador se compromete a comprar la energía producida por el generador durante un período de tiempo determinado a un precio acordado previamente. Los estudios de PPA son una parte importante del proceso de desarrollo de un parque eólico, ya que proporcionan una evaluación detallada de los costes e ingresos esperados y permiten determinar la viabilidad económica del proyecto. Se utiliza este método para facilitar el estudio de los ingresos

Para establecer el PPA, se han investigado los contratos que hay vigentes en Panamá y que se encuentran citados en [6]. Para obtener la tarifa del parque a construir, se han diferenciado dos términos, el término de potencia y el término de energía y para tener un análisis más sencillo, se han juntado ambos teniendo en cuenta las unidades. Además, para ser conservadores en el análisis se ha decidido que todo el precio que va al mercado viene del PPA y no del mercado SPOT. El realizar el estudio indicado anteriormente, se obtiene que la tarifa media que se va a utilizar a lo largo de toda la vida del proyecto es de 125,83 \$/MW.

Una vez realizado esto, se han distinguido tres escenarios según el margen de rentabilidad, siendo estos: pesimista, moderado y optimista. El margen de rentabilidad se refiere al porcentaje de ganancias que se espera obtener con relación a la inversión total en un proyecto. Las potencias utilizadas son las indicadas a continuación.

	Potencia (MW)
Grande e interior	105
Pequeño e interior	40
Grande y costa	105
Pequeño y costa	40

Tabla 14: Resumen de potencias utilizadas según el escenario

4.3.2 PARQUE SOLAR

En este apartado se va a desarrollar el estudio de la tecnología fotovoltaica de la misma manera que se ha explicado anteriormente. Cabe destacar que el parque fotovoltaico de mayor tamaño en la actualidad en Panamá es de 50 MW (Solar 05), mientras que el parque con menor tamaño es de 5 MW (Panasolar II). Estos datos se van a tomar para realizar los mismos escenarios de tamaño grande o pequeño del parque fotovoltaico.



Ilustración 56: Parque eólico con hibridación solar. Fuente: Inteligencia Artificial.

4.3.2.1 Costes

Siguiendo la estructura del parque eólico, se va a empezar con los costes. Se parte de los datos proporcionados de aquellos proyectos ya desarrollados en Panamá, los cuales se encuentran representados en Ilustración 57 y la Ilustración 58 .

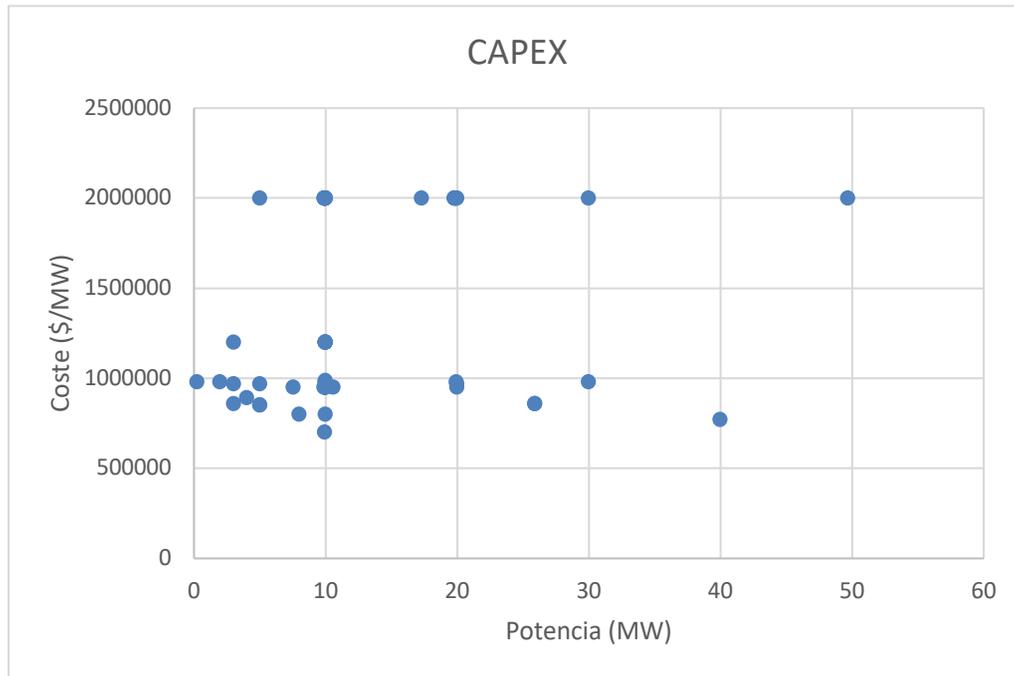


Ilustración 57: CAPEX parque solar. Fuente: República de Panamá.

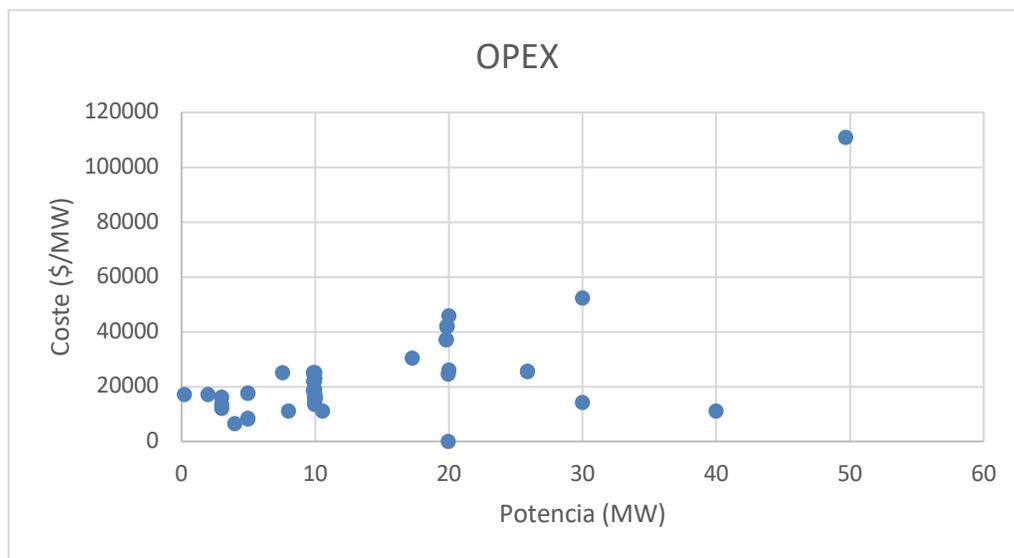


Ilustración 58: OPEX parque solar. Fuente: República de Panamá.

CAPEX	1.500.000 €
OPEX	20.000 €
Factor de carga	18%

Tabla 15: Tabla resumen CAPEX, OPEX, Factor de carga. Fuente: Elaboración propia

Como comparativa, a partir de los datos proporcionados por IRENA en [5], se obtienen datos de la media ponderada mundial del coste total de instalación de los proyectos solares. A continuación, se muestra la tendencia de los costes totales medios en 35 países.

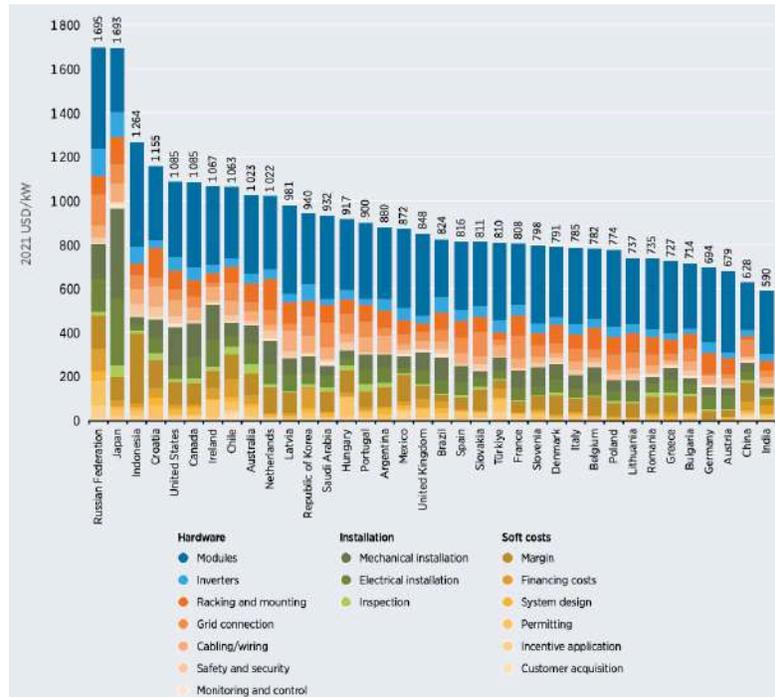


Ilustración 59: Costes totales de instalación en kW. Fuente: IRENA

También a partir de los datos proporcionados por IRENA en [5], se obtienen datos de la media ponderada mundial de los costes de operación y mantenimiento de los proyectos solares. Dichos costes de operación y mantenimiento son de 14,1\$/kW-año

Por último, hay que considerar el factor de carga. El factor de carga representa la producción anual de energía de un parque solar, siendo esta expresada como porcentaje de la producción máxima del parque.

Year	5 th percentile	Weighted average	95 th percentile
2010	11.0%	13.8%	23.0%
2011	10.1%	15.3%	26.0%
2012	10.5%	15.1%	25.6%
2013	11.9%	16.4%	23.0%
2014	10.8%	16.6%	24.4%
2015	10.8%	16.5%	29.0%
2016	10.7%	16.7%	25.9%
2017	11.5%	17.5%	27.0%
2018	12.3%	17.9%	27.0%
2019	10.7%	17.5%	23.9%
2020	9.9%	16.1%	20.8%
2021	10.8%	17.2%	21.3%

Ilustración 60: Media de la capacidad de carga para los sistemas fotovoltaicos. Fuente: IRENA

En resumen, se muestra en la siguiente tabla, los costes que se van a utilizar a la hora de hacer el análisis económico.

Resumen de costes	
Inversión (\$/MW)	1.500.000 €
O&M (\$/MW)	20.000 €
Factor de carga (%)	18%

Tabla 16: Resumen de costes. Fuente: Elaboración propia

4.3.2.2 Ingresos

En cuanto a los ingresos, al ser Panamá un mercado marginalista la tarifa establecida es la misma que aquella presente en la energía eólica. A partir de ahí y siguiendo los mismos escenarios (pesimista, moderado y optimista) se han obtenido los siguientes resultados como VAN del proyecto. Las potencias utilizadas son las indicadas a continuación.

	Potencia (MW)
Grande e interior	50
Pequeño e interior	5
Grande y costa	50
Pequeño y costa	5

Tabla 17: Resumen de potencias utilizadas según el escenario

4.3.3 HIBRIDACIÓN

En este apartado del Trabajo de Fin de Máster se evalúa la posibilidad de hibridar el parque eólico desarrollado anteriormente con energía solar. Para ello, es necesario saber en qué consiste la hibridación. Los sistemas de hibridación eléctrica generan energía a partir de diversas fuentes que suelen ser renovables y comparten el punto de conexión a la red. La hibridación tiene diversas finalidades, entre ellas el mayor aprovechamiento de potencia en el punto de conexión, aprovechamiento de puntos de conexión y mejorar el factor de potencia de las instalaciones.

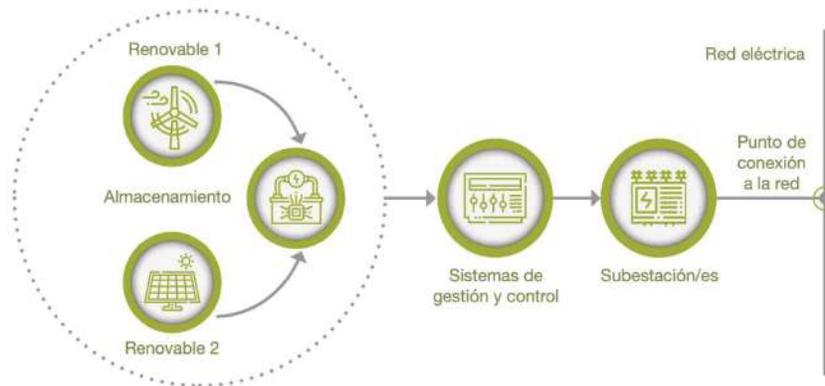


Ilustración 61: Esquema hibridación. Fuente: Periódico El Español

Para el desarrollo de este trabajo de fin de máster, se va a poner especial foco como se ha mencionado en capítulos anteriores en la hibridación de dos tecnologías renovables, en este caso siendo la más adecuada la combinación de energía eólica y fotovoltaica.

4.3.3.1 Costes

Para los costes, se suman los costes asociados a ambas tecnologías, ya sean los costes de inversión o los costes de operación y mantenimiento multiplicados por un factor. Este factor se encuentra desarrollado en [45], el cual concluye que la reducción de inversión por hibridar estas dos tecnologías es del 10%. En cuanto al factor de carga, se suman respectivamente las capacidades de carga de ambas tecnologías, obteniéndose la siguiente tabla.

Resumen de costes	
Inversión (\$/MW)	3.150.000,00
O&M (\$/MW)	45.000,00

Factor de carga (%)	58%
---------------------	-----

Tabla 18: Resumen de costes. Fuente: Elaboración propia

4.3.3.2 Ingresos

Para el estudio de los ingresos en la hibridación, la tarifa es la misma que aquella desarrollada en el caso de parque solar. Las potencias usadas para los distintos escenarios se muestran a continuación.

	Potencia (MW)
Grande e interior	155
Pequeño e interior	45
Grande y costa	155
Pequeño y costa	45

Tabla 19: Resumen de potencias utilizadas según el escenario

4.4 METODOLOGÍA DE LA OBTENCIÓN DEL VALOR ACTUAL NETO DEL PARQUE

Al ser conservadores en el análisis de la tarifa, se han establecido que los escenarios tengan los siguientes porcentajes:

Escenario	Nº de escenario	%
Pesimista	1	-15%
Moderado	2	0%
Optimista	3	10%

Tabla 20: Diferentes escenarios para la elaboración del Business Plan. Fuente: Propia

Para obtener los resultados de estos estudios, se ha utilizado la siguiente estructura y a continuación se explica cómo se ha llegado a obtener el ingreso neto y el valor actual neto de los supuestos escenarios.

Primero, se necesita conocer la generación de energía en GWh. Este número se obtiene multiplicando la capacidad instalada (MW) por el factor de carga. A continuación, se necesita restar la cantidad de energía no disponible debido a la indisponibilidad. Posteriormente, se necesita restar las pérdidas de transmisión, dichas pérdidas corresponden a los MWh antes de llegar al punto de conexión de la red de transporte.

Con el precio del PPA (precio pactado por venta de energía en USD/KWh), se puede calcular los ingresos anuales. Multiplicando la generación neta por el precio PPA, obtendremos los ingresos totales.

Para calcular los costes, se necesita diferenciar entre costes fijos y costes variables. Los costes fijos son aquellos que no dependen de la generación de energía, como el alquiler o la nómina de empleados. Los costes variables, por otro lado, cambian en función de la cantidad de energía generada. Además, hay costes de construcción que se deben amortizar a lo largo del tiempo. Sumando los costes fijos y variables, obtenemos los costos totales de operación.

A continuación, se calcula la depreciación, que es la cantidad de dinero que se puede deducir anualmente de los costos de construcción.

Con los ingresos y los costes totales, podemos calcular el EBITDA (earnings before interest, taxes, depreciation and amortization), que es una medida de la rentabilidad de la empresa antes de impuestos e intereses. Para calcular el EBIT (earnings before interest and taxes), es necesario restar los intereses del EBITDA. Ahora, se procede a calcular el ingreso neto restando los impuestos del EBIT.

Por último, se puede calcular el cash flow (flujo de efectivo) restando la devolución principal de la deuda del ingreso neto. En resumen, para calcular el ingreso neto, es necesario restar los costes totales y las pérdidas de transmisión de los ingresos totales. A partir de ahí, se puede calcular el EBITDA, el EBIT y el ingreso neto, teniendo en cuenta los intereses y la tasa impositiva. Finalmente, para obtener el cash flow, se debe restar la devolución principal de la deuda del ingreso neto.

Para calcular el VAN (valor actual neto) se necesita una tasa de descuento apropiada para descontar los flujos de efectivo futuros a su valor presente. Primero, se es necesario calcular los flujos de efectivo para cada año. A continuación, calcular el valor presente de cada flujo de efectivo. Para hacerlo, se divide el flujo de efectivo por $(1 + \text{tasa de descuento})^n$, donde n es el número de años transcurridos desde el inicio del proyecto. Por último, se suman todos los valores presentes de los flujos de efectivo. El resultado es el VAN del proyecto.

Generación & Ventas de Energía (GWh)

Horas de viento anuales

Capacidad Instalada (MW)

Factor de Carga
Generación (GWh)
Unavailability
Perdidas de Transmisión
Neto Operación
PPA Price (USD/KWh)
Ingresos (USD x1000)
Total Ingresos
Costes (USD x 1000)
Costes fijos
Costes Variables
Costes de Construcción
Total Costes Operación
Total Costes
USD/kWh
Data Analisis (USD x 1000)
Cash Flow
Ebitda
Depreciación
Ebit
Intereses
Net Income
Devolución principal

Tabla 21: Estructura para el cálculo del VAN. Fuente: Propia

4.5 ANÁLISIS CASOS DE ESTUDIO

4.5.1 PARQUE EÓLICO

Las potencias que se han utilizado se indican a continuación:

	Potencia (MW)
Grande e interior	105
Pequeño e interior	40
Grande y costa	105
Pequeño y costa	40

Tabla 22: Resumen de potencias utilizadas según el escenario

Una vez se han introducido los datos, y se han hecho las operaciones pertinentes como se indica en la Tabla 21, se obtiene el VAN del proyecto que se muestra en la siguiente tabla.

	Escenario	VAN Pesimista	VAN Moderado	VAN Optimista
Grande e interior	1	377.270.162 €	453.621.368 €	504.522.172 €
Pequeño e interior	2	143.721.966 €	172.808.140 €	192.198.923 €
Grande y costa	3	333.964.641 €	402.680.727 €	448.491.451 €
Pequeño y costa	4	127.224.625 €	153.402.182 €	170.853.886 €

Tabla 23: Conclusiones del VAN en función de los distintos escenarios. Fuente: Propia

Como se puede observar en Tabla 23, el parque eólico de mayor tamaño (105 MW) y en el interior del país presenta la mayor rentabilidad en comparación con otras potencias inferior y situados en otros emplazamientos. Además a la hora de comparar la misma potencia en dos emplazamientos distintos (ejemplo: grande e interior vs grande y costa) se observa como la rentabilidad del emplazamiento interior es mayor que la rentabilidad del emplazamiento en costa.

A continuación, se elabora una gama de potencias que parten desde 40 MW hasta 105 MW con intervalos de 10 MW para observar cómo cambia el VAN a medida que se aumenta la potencia en los distintos emplazamientos para los distintos escenarios, se muestra en la Ilustración 62 un análisis de la rentabilidad para las distintas potencias y escenarios. Primero, se confirma lo concluido anteriormente de que en cualquier caso la rentabilidad es mayor en el escenario interior. Además, hay una relación directa entre la rentabilidad y la inversión, siendo la primera mayor cuanto mayor sea la inversión.

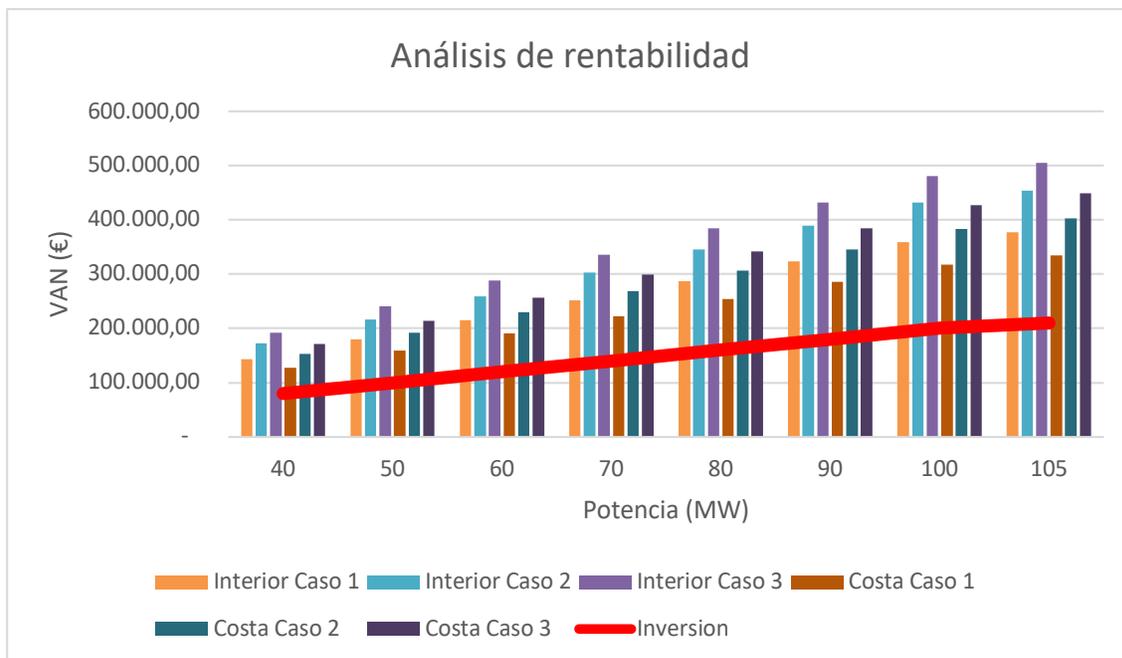


Ilustración 62: Análisis de sensibilidades de parque eólico

4.5.2 PARQUE SOLAR

Las potencias utilizadas son las indicadas a continuación.

	Potencia (MW)
Grande e interior	50
Pequeño e interior	5
Grande y costa	50
Pequeño y costa	5

Tabla 24: Resumen de potencias utilizadas según el escenario

	Escenario	VAN Pesimista	VAN Moderado	VAN Optimista
Grande e interior	1	76.047.273 €	92.408.246 €	103.315.561 €
Pequeño e interior	2	7.604.727 €	9.240.825 €	10.331.556 €
Grande y costa	3	66.671.592 €	81.396.468 €	91.213.051 €
Pequeño y costa	4	6.667.159 €	8.139.647 €	9.121.305 €

Tabla 25: Conclusiones del VAN en función de los distintos escenarios. Fuente: Propia

Comparando la Tabla 25 con la Tabla 23, se observa como en cualquiera de los escenarios se obtiene una mayor rentabilidades en el parque eólico. Esto se debe a la menor eficiencia de la generación de la energía solar, los aerogeneradores han alcanzado una gran eficiencia debido a las mejoras en el diseño de la turbina generando una mayor capacidad de generación de energía, mientras que la energía fotovoltaica tiene mayor eficiencia a la hora de convertir la radiación solar en electricidad. Las turbinas eólicas tienen mayor capacidad de energía en comparación con la solar, por lo que los parques eólicos suelen ser más grandes que los parques solares. Además, si bien es cierto que los costes iniciales son mayores en la energía eólica, los costes de mantenimiento son más bajos en comparación con la energía solar ya que esta última requiere una limpieza constante.

Como se puede observar en la Tabla 25, el parque solar de mayor tamaño (50 MW) y en el interior del país presenta la mayor rentabilidad en comparación con otras potencias inferior y situados en otros emplazamientos. Además a la hora de comparar la misma potencia en dos emplazamientos distintos (ejemplo: grande e interior vs grande y costa) se observa como la rentabilidad del emplazamiento interior es mayor que la rentabilidad del emplazamiento en costa.

Como se ha hecho anteriormente en el caso del parque eólico, a continuación, para observar un mayor número de potencias y tener una mayor sensibilidad, se muestra en la Ilustración 63 un análisis de la rentabilidad para las distintas potencias y escenarios. Se

parte de una potencia inicial de 5 MW hasta 50 MW con intervalos de la misma amplitud. Se observa como el parque solar en el emplazamiento de costa en el escenario pesimista no supera la inversión con el VAN, mientras que es rentable para cualquier potencia en el resto de los casos, ya sea en el emplazamiento interior como en el exterior.

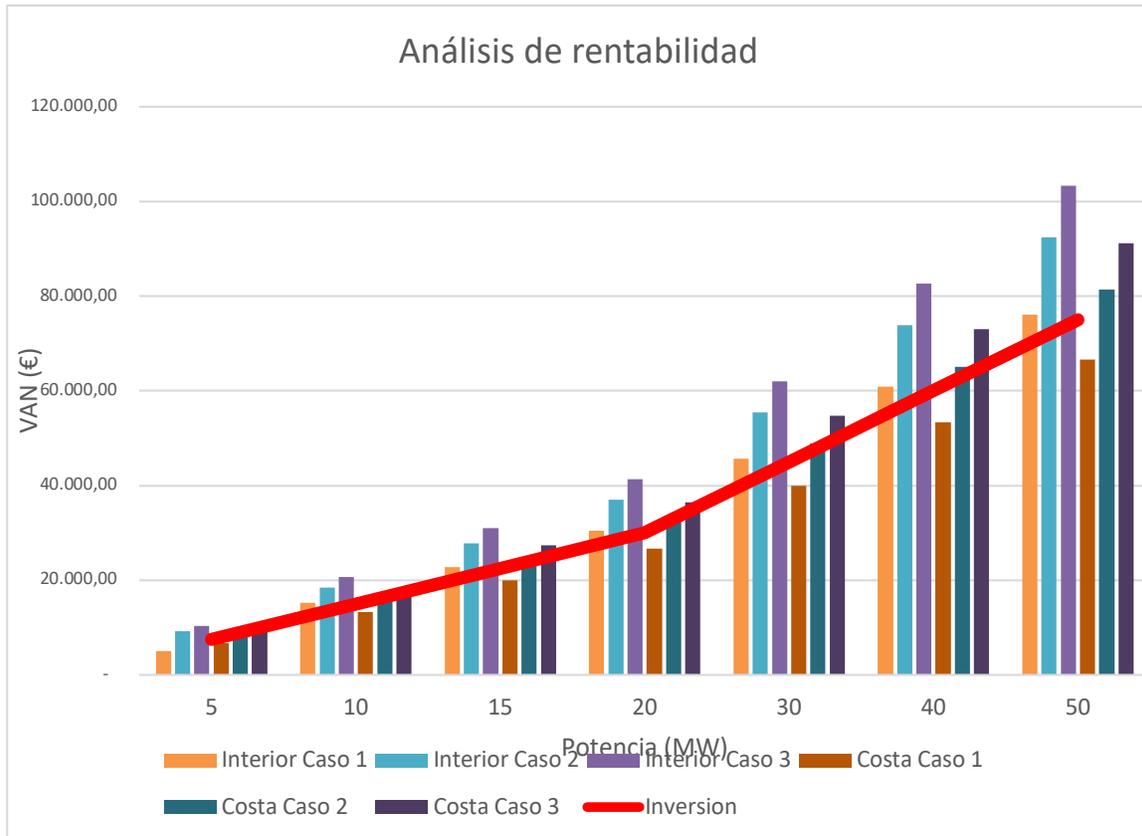


Ilustración 63: Análisis de sensibilidades de parque solar

4.5.3 PARQUE HÍBRIDO

Para el estudio de hibridación, se siguen los mismos pasos que anteriormente. El tamaño del parque hibridado consta en el escenario grande de 155 MW (105 MW correspondientes a la tecnología eólica y 50 MW en fotovoltaica), mientras que el escenario de menor tamaño está formado por 45 MW (40 MW eólicos y 5 MW fotovoltaicos). En [45] se describe como la hibridación tiene una serie de ventajas para los generadores, entre ellas destacan el aumento de factor de carga de la instalación, al juntarse perfiles de generación que son complementarios, al aumentar este factor de carga se pueden encontrar PAs más beneficiosas para el generador, al tener una tecnología ya instalada y puesta en marcha los tramites son menores al no necesitar tramitar un nuevo permiso, y sobre todo, gracias a las sinergias presentes en la instalación y en la operación

se producen ahorros en el CAPEX y en el OPEX. Estas sinergias se encuentran en los equipos y en las infraestructuras de conexión a la red, como las líneas, subestaciones y transformadores pero también en obra civil, como en las carreteras, edificaciones o en la iluminación. En cuanto al OPEX, se reducen los costes en personal, vigilancia, licencias. Y por último, hay sinergias también en el equipo financiero o legal. Se estima en [45] que la reducción en el CAPEX es del 10-12% y en el OPEX del 10-15%, por ello se suman los costes asociados a ambas tecnologías, ya sean los costes de inversión o los costes de operación y mantenimiento y se aplican los porcentajes del peor caso. En cuanto al factor de carga, se suman respectivamente las capacidades de carga de ambas tecnologías, obteniéndose la siguiente tabla.

Resumen de costes	
Inversión (\$/MW)	3.150.000,00
O&M (\$/MW)	45.000,00
Factor de carga (%)	48%

Tabla 26: Resumen de costes. Fuente: Elaboración propia

Para el estudio de los ingresos en la hibridación, se ha usado la misma tarifa que la usada en la energía eólica. Las potencias usadas para los distintos escenarios se muestran a continuación.

	Potencia (MW)
Grande e interior	155
Pequeño e interior	45
Grande y costa	155
Pequeño y costa	45

Tabla 27: Resumen de potencias utilizadas según el escenario

A partir de las mismas asunciones que se han hecho a lo largo de todo el proyecto, se obtienen los resultados del VAN con cada escenario.

	Escenario	VAN Pesimista	VAN Moderado	VAN Optimista
Grande e interior	1	804.106.575 €	967.534.515 €	1.076.486.474 €
Pequeño e interior	2	233.450.296 €	280.897.117 €	312.528.331 €
Grande y costa	3	711.343.516 €	858.428.661 €	956.485.425 €
Pequeño y costa	4	206.519.085 €	249.221.224 €	277.689.317 €

Tabla 28: Conclusiones del VAN en función de los distintos escenarios. Fuente: Propia

Como se puede observar en la Tabla 28, el parque hibridado de mayor tamaño (155 MW) y en el interior del país presenta la mayor rentabilidad en comparación con otras potencias inferior y situados en otros emplazamientos. Además a la hora de comparar la misma potencia en dos emplazamientos distintos (ejemplo: grande e interior vs grande y costa) se observa como la rentabilidad del emplazamiento interior es mayor que la rentabilidad del emplazamiento en costa, siendo muy destacable la gran diferencia que hay entre los tamaños grande y pequeño.

Al igual que en el caso del parque eólico y parque solar , a continuación, se elabora una gama de potencias que parten desde 45 MW a 175 MW para observar un mayor número de potencias y tener una mayor sensibilidad. Se muestra por tanto en la Ilustración 64 un análisis de la rentabilidad para las distintas potencias y escenarios. Se parte de una potencia inicial de 45 MW hasta 175 MW con intervalos de la misma amplitud. Se observa como en cualquiera de los casos se comprueba la rentabilidad del parque hibridado.

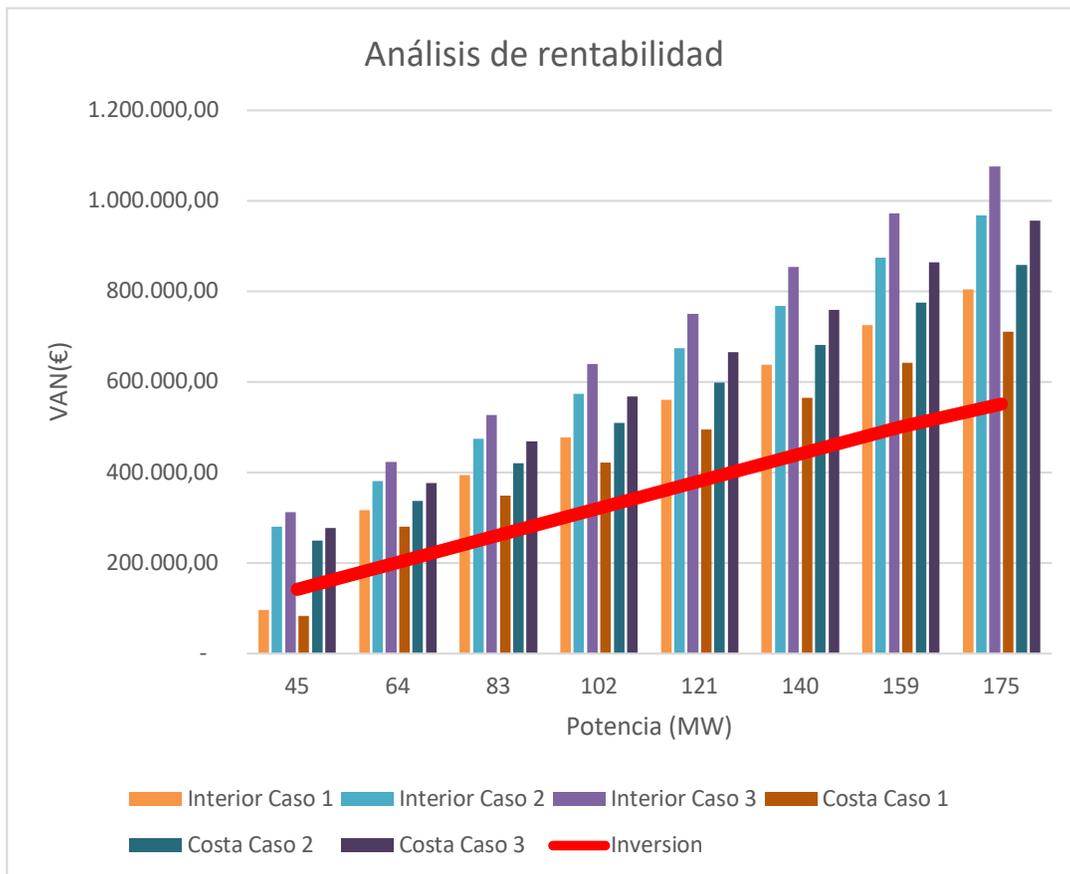


Ilustración 64: Análisis de sensibilidades de parque hibrido

4.6 CONCLUSIONES

Para facilitar la presentación de los resultados, se muestra a continuación una tabla resumen de lo presentado anteriormente.

Energía eólica				
	Escenario	VAN Pesimista	VAN Moderado	VAN Optimista
Grande e interior (105 MW)	1	377.270.162 €	453.621.368 €	504.522.172 €
Pequeño e interior (40 MW)	2	143.721.966 €	172.808.140 €	192.198.923 €
Grande y costa (105 MW)	3	333.964.641 €	402.680.727 €	448.491.451 €
Pequeño y costa (40 MW)	4	127.224.625 €	153.402.182 €	170.853.886 €
Energía fotovoltaica				
Grande e interior (50 MW)	1	76.047.273 €	92.408.246 €	103.315.561 €
Pequeño e interior (5 MW)	2	7.604.727 €	9.240.825 €	10.331.556 €
Grande y costa (50 MW)	3	66.671.592 €	81.396.468 €	91.213.051 €
Pequeño y costa (5 MW)	4	6.667.159 €	8.139.647 €	9.121.305 €
Hibridación				
Grande e interior (155 MW)	1	804.106.575 €	967.534.515 €	1.076.486.474 €
Pequeño e interior (45 MW)	2	233.450.296 €	280.897.117 €	312.528.331 €
Grande y costa (155 MW)	3	711.343.516 €	858.428.661 €	956.485.425 €
Pequeño y costa (45 MW)	4	206.519.085 €	249.221.224 €	277.689.317 €

Tabla 29: Resumen económico de los distintos escenarios. Fuente: elaboración propia

La primera conclusión que se extrae de la Tabla 29 es que los parques de mayor tamaño y en el interior del país presentan la mayor rentabilidad en comparación con otras potencias inferior y situados en otros emplazamientos. Además a la hora de comparar la misma potencia en dos emplazamientos distintos (ejemplo: grande e interior vs grande y costa) se observa como la rentabilidad del emplazamiento interior es mayor que la rentabilidad del emplazamiento en costa.

Además, comparando las distintas tecnologías (eólica y fotovoltaica), se observa como en cualquiera de los escenarios se obtiene una mayor rentabilidad en el parque eólico. Esto se debe como se ha indicado antes a la menor eficiencia de la generación de la energía solar ya que comparativamente, los aerogeneradores han alcanzado una gran eficiencia debido a las mejoras en el diseño de la turbina generando una mayor capacidad de generación de energía, mientras que la energía fotovoltaica tiene mayor eficiencia a la hora de convertir la radiación solar en electricidad.

Por otra parte, es conveniente discutir si se va a tratar de un parque eólico o si se va a dar una hibridación. Es cierto que habría que tener en cuenta más factores como por ejemplo la obtención de licencias o los tiempos de conexión a red pero para entender de una manera más generalista la viabilidad del proyecto, para ello, lo que se ha hecho es estudiar el VAN obtenido en 1 MW del parque eólico, solar e hibridado en el escenario moderado y se ha concluido que la mejor opción es la de hibridación ya que el VAN de la hibridación es mayor que la suma del VAN del parque solar y el parque eólico, obteniéndose respectivamente 6.242.158 € y 6.168.360 €.

Además, en cuanto a la elección de la potencia del parque, se observa que a más potencia se tiene un mayor VAN pero a la vez incrementan también los costes de inversión. Al haber establecido un valor lineal a la hora de considerar la inversión y a la hora de calcular el VAN ambas crecen al mismo ritmo por lo que no se podría extraer una conclusión en cuanto al nivel de potencia. Si bien es cierto que al encargar un mayor número de aerogeneradores y placas solares el valor de la inversión puede disminuir a través de descuentos, esto no sirve para decir cuál es el nivel de potencia óptimo. También habría que tener en cuenta el tamaño del terreno, siendo este mejor aprovechado y reduciendo el impacto ambiental. Por último, a un mayor número de aerogeneradores y placas solares, si existe una contingencia en alguno de ellos, el parque podría funcionar con mayor rendimiento que si el parque es más pequeño y por ende si tiene menos aerogeneradores y placas solares.

En cuanto a la replicabilidad, aquellos países que se han estudiado como más aptos son Costa Rica y Nicaragua, tendría sentido asumir que la rentabilidad de la energía eólica va a ser mayor, ya que tanto la densidad como la velocidad media del viento es mayor. Por otro lado, también se concluye que la rentabilidad de la energía solar sería mayor por tener mayor radiación que en Panamá. En los otros países de América Central, se podría concluir que al tener menor datos de radiación y de densidad del viento, la rentabilidad sería menor que en Panamá.

Capítulo 5. ESTUDIO LEGAL

Una vez hecho el estudio del mercado y el estudio financiero, es necesario tener conocimientos sobre el aspecto legal. Este capítulo se basa en el entendimiento de las leyes que aplican a este trabajo. Es necesario tener en cuenta que cualquier proyecto de energía renovable está sujeto a regulaciones y leyes, por ello en este capítulo se desarrollan los aspectos legales a tener en cuenta a la hora de construir un parque eólico y su posterior explotación. En este capítulo, se desarrollan los trámites administrativos necesarios para la obtención de licencias de construcción y explotación de plantas.

1. Marco Legal:
 - Obligaciones Legales
2. Procedimiento de Otorgamiento de Licencias para la Construcción.
 - Autoridad nacional Servicios Públicos (ASEP).

5.1 MARCO LEGAL

La actividad prevista en el Proyecto está incluida en el sector de industria energética, bajo el CIU 4010 "Generación de energía eléctrica a través de energías renovables mayores de 1 MW" del Artículo 16 del Decreto Ejecutivo 123 del 14 de agosto de 2009 [23], la ejecución del Proyecto requerirá de la elaboración de un Estudio de Impacto Ambiental Categoría III.

Debido a ello, se ha realizado la identificación y análisis de la normativa aplicable a las condiciones del Proyecto.

Toda actividad, obra o proyecto debe considerar las normas vigentes que debe cumplir para proteger el medio ambiente y evitar causar daños a la salud humana y a los recursos naturales. Los proyectos que se encuentran descritos en la lista de actividades que se encuentran sujetos al proceso de Evaluación de Impacto Ambiental, en principio y de manera general, deben cumplir con la Constitución Política de la República de Panamá [24], la Ley General de Ambiente [14], el Decreto Ejecutivo No. 123 de 2009 [23] que es el Reglamento del proceso de evaluación de impacto ambiental y la Ley del Sector Eléctrico [12].

Para el desarrollo de la actividad de generador de energía eléctrica, deben de cumplirse las siguientes disposiciones legales de aplicación.

- **Ley No. 6 de 3 de febrero de 1997 [12]**, Texto Único (Gaceta Oficial No. 26871-Cde miércoles 14 de septiembre de 2011) “Que dicta el Marco Regulatorio e Institucional para la Prestación del Servicio Público de Electricidad”.

Reglamentación:

Decreto Ejecutivo No. 22 de 19 de junio de 1998 [13] (Gaceta Oficial No. 23572 de jueves 25 de junio de 1998) “Por el cual se reglamenta la Ley No. 6 de 3 de febrero de 1997, que dicta el Marco Regulatorio e Institucional para la prestación del Servicio Público de Electricidad”.

Modificaciones:

- **Ley 43 de 9 de agosto de 2012 [20]** (Gaceta Oficial Digital No. 27097 de viernes 10 de agosto de 2012) “Que reforma la Ley 6 de 1997, que dicta el Marco Regulatorio e Institucional para la Prestación del Servicio Público de Electricidad”.
- **Ley 18 de 26 de marzo de 2013 [21]** (Gaceta Oficial Digital No. 27254 de miércoles 27 de marzo de 2013) “Que modifica y adiciona artículos a la Ley 44 de 2011, relativos a las centrales eólicas destinadas a la prestación del servicio público de electricidad, y dicta otra disposición”.

Descripción: Esta ley es el marco base de funcionamiento del Sector Eléctrico. Establece el régimen a que están sujetas las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica, destinadas a la prestación del servicio público de electricidad, así como las actividades normativas y de coordinación consistentes en la planificación de la expansión, operación integrada del sistema interconectado nacional y regulación económica

- **Ley No. 45 de 4 de agosto de 2004 ([15])** (Gaceta Oficial No. 25112 de martes 10 de agosto de 2004) “Que establece un régimen de incentivos para el fomento de sistemas de generación hidroeléctrica y de otras fuentes nuevas, renovables y limpias, y dicta otras disposiciones”.

Reglamentación:

Decreto Ejecutivo No. 45 de 10 de junio 2009 [25] (Gaceta Oficial No. 26304 de martes 16 de junio de 2009) “Por el cual se reglamenta el Régimen de los Incentivos para el Fomento de Sistemas de Generación Hidroeléctrica y de otras Fuentes Nuevas, Renovables y Limpias, contemplados en la Ley No. 45 de 4 de agosto de 2004”.

Descripción: Es un instrumento fundamental de política energética y ofrece los

siguientes beneficios:

Plantas particulares de energías renovables y limpias de hasta 500 kW: Las plantas particulares de energías renovables y limpias de hasta 500 kW que se instalen para autogeneración y que no se interconectan a la red de distribución, nopagan impuesto de importación para los equipos y repuestos requeridos para la construcción y operación de las plantas.

- Plantas de Energías Renovables y Limpias de hasta 10 MW
 - No pagan tarifa de transmisión ni de distribución.
 - No pagan impuesto de importación para los equipos y repuestos requeridos para la construcción y operación de las plantas.
 - Tienen derecho a un incentivo fiscal de hasta el 25% del costo directo del proyecto en base a las emisiones de CO₂ equivalente que sean desplazados durante su período de concesión, aplicable al 100% del impuesto sobre la renta durante los primeros 10 años de operación comercial.
 - Tienen derecho a un incentivo de hasta el 5% del costo directo del proyecto por las obras pasen a ser de uso público.
 - Pueden contratar directamente con cualquier empresa de distribución independientemente de donde esté ubicada la planta, hasta el 15% de la demanda máxima de las distribuidoras.
 - En las contrataciones directas el Ente Regulador permite plazos y precios razonables.
 - Pueden vender energía en el mercado ocasional.
 - Pueden vender su potencia firme a la distribuidora, a otro generador o distribuidor.
 - Pueden ofertar su energía en el mercado Centroamericano.
- Plantas de Energías Renovables y Limpias de 10 MW a 20 MW tienen los mismos beneficios que las plantas de energías renovables y limpias de hasta 10 MW con las siguientes excepciones:
 - No pagan tarifa de transmisión por los primeros 10 MW durante los primeros 10 años de operación comercial.
 - No pueden contratar en forma directa con el distribuidor.
 - El incentivo fiscal de hasta el 25% del costo directo en concepto de reducción de emisiones de toneladas de CO₂ equivalente por año, se aplica hasta el 50% del impuesto sobre la renta y no el 100%.

- Plantas de Energías Renovables y Limpias de más de 20 MW y hasta cualquier potencia, tienen los mismos beneficios que las plantas de energías renovables y limpias de hasta 20 MW, pero pagan tarifa de transmisión normal.

Aun cuando se tiene la Ley 6 de 1997 [12] y su reglamentación, que proporcionan el marco regulatorio e institucional para la prestación del servicio público de electricidad, y la Ley 45 de 2004 ([15]) y su reglamentación, que da incentivos para fuentes de generación nuevas, renovables y limpias, se estimó conveniente la aprobación de leyes para tecnologías específicas; ellas se describen a continuación:

- **Ley No. 44 de 25 de abril de 2011 [17]** (Gaceta Oficial No. 26771 de lunes 25 de abril de 2011) “Que establece el régimen de incentivos para el fomento de la construcción y explotación de centrales eólicas destinadas a la prestación del servicio público de electricidad”.

Modificación:

- **Ley 18 de 26 de marzo de 2013 [21]** (Gaceta Oficial Digital No. 27254 de miércoles 27 de marzo de 2013) “Que modifica y adiciona artículos a la Ley 44 de 2011, relativos a las centrales eólicas destinadas a la prestación del servicio público de electricidad, y dicta otra disposición”.

Descripción: Propicia la diversificación de la matriz energética y establece un marco legal que fomenta el desarrollo de las actividades de generación eólica. Ofrece los siguientes beneficios:

- Permite licitaciones públicas para la compra de energía y/o potencia, exclusivos para centrales eólicas, con contratos hasta por quince años.
- Exoneración del impuesto de importación, aranceles, tasas, contribuciones y gravámenes, así como del Impuesto de Transferencia de Bienes Corporales Muebles y Prestación de Servicios (ITBMS).
- Otorgamiento de un crédito fiscal aplicable al Impuesto Sobre la Renta liquidado en la actividad en un periodo fiscal determinado, por un máximo del cinco por ciento (5%) del valor total de la inversión directa en concepto de obras que se conviertan en infraestructura de uso público.
- Permite la utilización del método de depreciación acelerada del equipo destinado a la generación eólica.
- Proporciona el derecho a la exoneración del impuesto de importación, aranceles, tasas, contribuciones y gravámenes, así como del ITBMS a las

personas naturales o jurídicas que importan equipo destinado a generación eólica con la finalidad de comercializarlos; así como a equipos, máquinas, materiales, repuestos y demás que sean destinados para la construcción, operación y mantenimiento de las centrales eólicas.

- Exonera de todo gravamen impositivo nacional y municipal, por el término de quince (15) años, a las actividades de producción de equipamiento mecánico, electrónico, electromecánico, metalúrgico y eléctrico que realicen empresas radicadas o a radicarse, de origen nacional o internacional, con destino a la fabricación de equipos de generación eólica en el territorio nacional.
- **Ley 41 de 2 de agosto de 2012 [19]** (Gaceta Oficial Digital No. 27093 de lunes 6 de agosto de 2012) “Que establece el régimen de incentivos para el fomento de la construcción y explotación de centrales de generación a base de gas natural destinadas a la prestación del servicio público de electricidad”.

Descripción: Propicia la diversificación de la matriz energética y establece un marco legal que fomenta el desarrollo de las actividades de generación a base de gas natural. Ofrece los siguientes beneficios:

- Otorgamiento de un crédito fiscal aplicable al Impuesto Sobre la Renta liquidado en la actividad en un periodo fiscal determinado, por un máximo del cinco por ciento (5%) del valor total de la inversión directa en concepto de obras que se conviertan en infraestructura de uso público.
 - Exoneración del impuesto de importación de equipos, máquinas, materiales, repuestos y demás que sean necesarios para la construcción, operación y mantenimiento de las centrales.
 - Exoneración de todo gravamen impositivo nacional, por el término de veinte años, aplicable a las actividades de producción de equipamiento mecánico, electrónico, electromecánico, metalúrgico y eléctrico que realicen empresas radicadas o a radicarse, nacionales o internacionales, destinadas a la fabricación de equipos de generación a base de gas natural en el territorio nacional.
 - Permite la utilización del método de depreciación acelerada del equipo destinado a la generación a base de gas natural o de la empresa de regasificación de gas natural licuado.
-
- **Ley 37 de 10 de junio de 2013 [22]** (Gaceta Oficial Digital, No. 27308 de jueves 13 de junio de 2013). Que establece el régimen de incentivos para el fomento de la construcción, operación y mantenimiento de centrales y/o instalaciones solares.

Descripción: Propicia la diversificación de la matriz energética y establece un marco legal que fomenta el desarrollo de la energía solar en todas sus formas y usos. Ofrece los siguientes beneficios:

- Permite licitaciones públicas para la compra de energía y/o potencia, exclusivos para tecnologías solares, con contratos hasta por veinte años.
- Para efectos de la liquidación de transferencias se aplicará lo dispuesto en la **Ley 6 de 3 de febrero de 1997**, el Decreto Ejecutivo No. 22 de 19 de junio de 1998, las resoluciones que expida para este propósito, la ASEP y demás normas que le sean aplicables.

Se incluye a continuación otra legislación pertinente a la utilización de energéticos que tiene impacto en el Sector Eléctrico:

- **Ley No. 42 de 20 de abril de 2011 [18]** (Gaceta Oficial No. 26770 de jueves 21 de abril de 2011) "Que establece lineamientos para la política nacional sobre biocombustibles y energía eléctrica a partir de biomasa en el territorio nacional"

Descripción: Establece los lineamientos generales de la política nacional de promoción, fomento y desarrollo de la producción y uso de biocombustibles y la generación y/o generación de energía eléctrica a partir de biomasa en el territorio nacional. Ofrece las siguientes exenciones a las personas naturales o jurídicas que participen en la generación y/o cogeneración de energía eléctrica a partir de biomasa:

- Impuesto de importación, aranceles, tasas, contribuciones y gravámenes para todas las maquinarias, insumos, líneas eléctricas, subestaciones y sistemas de distribución y/o transmisión eléctrica y demás implementos, por un período de diez años, a partir de la entrada en operación comercial.
- Impuesto de Transferencia de Bienes Corporales Muebles y Prestación de Servicios (ITBMS) para todas las maquinarias, insumos, líneas eléctricas, subestaciones y sistemas de distribución y/o transmisión eléctrica y demás implementos, por un período de diez años, a partir de la entrada en operación comercial.
- Impuesto sobre la renta, por un período de diez años, a partir de la entrada en operación comercial.
- Impuesto sobre la renta aplicable a los ingresos generados por la venta de Certificados de Reducción de Emisiones (Bonos de Carbono).
- Pago de licencia industrial, licencia comercial, aviso de operación, así como la tasa de control, vigilancia y fiscalización que deben pagar a la ASEP, impuestos y/o tasas municipales, por un período de diez años, a partir de la entrada en operación comercial.

- Impuestos de prestación de servicios que sean necesarios para la construcción, operación y mantenimiento de las plantas de producción.
- Cargos de distribución y transmisión cuando vendan en forma directa o en el mercado ocasional, teniendo en cuenta que en ningún caso los costos de transmisión o distribución serán traspasados a los usuarios, por un período de diez años, a partir de la entrada en operación comercial.

5.2 PROCEDIMIENTO DE OTORGAMIENTO DE LICENCIAS PARA LA CONSTRUCCIÓN

Para poder desarrollar la construcción de un parque Eólico o cualquier tipo de planta de Generación de Energía Eléctrica es necesario haber obtenido una LICENCIA que lo permite.

El procedimiento para su obtención lo describe y tutela la Autoridad nacional Servicios Públicos (ASEP). El mismo esta descrito en un procedimiento datado en febrero de 2015, el cual deroga otros anteriores. (ANEXO II)

A continuación, a exponer los puntos más relevantes. En concreto, Resoluciones de otros organismos públicos que implican Autorizaciones previas de una gran complejidad Administrativa.

La presentación del Modelo Oficial de solicitud No. E-170-A, es el inicio primer paso para empezar el procedimiento que se describe en el Anexo I.

Junto con el Modelo Oficial se presenta documentación Técnica; Financiera y Administrativa, encaminada una a valorar la solvencia Económica de los promotores del Proyecto, la capacitación Técnica y los requisitos administrativos del proyecto.

De todo lo anterior vamos a centrarnos en dos aspectos, cuya importancia para las autoridades locales es básico para la autorización del proyecto.

La capacitación técnica, a su vez tiene dos vertientes:

- Proyecto y Diseño de la Planta Eólica para desarrollar. Este punto depende, básicamente, de los promotores del proyecto y de la ingeniería de este.
- Esquema propuesto para la conexión a la Red de transmisión o distribución.

Este segundo punto es muy relevante, siendo ETESA (Empresa de Trasmisión Eléctrica S.A), el que autoriza esta conexión y tutela todo lo relacionado con ella. Las regulaciones vigentes señalan que el interesado debe de realizar los estudios eléctricos para demostrar que el proyecto no afecta al Sistema Integrado Nacional (SIN) y así obtener la viabilidad de conexión a la Red.

Para realizar la gestión, el interesado debe de solicitar a ETESA mediante nota formal la solicitud de viabilidad de conexión del proyecto de generación y adjuntando el acuerdo de confidencialidad firmado. Una vez evaluado por parte de ETESA, este suministrara las bases de datos y directrices según las especificaciones recibidas del año de entra del proyecto.

Los Estudios Eléctricos para realizar consistirán en:

- Estudio de Flujo de Carga en Régimen Permanente.
- Estudio de Cortocircuito.
- Estudio de Estabilidad en Régimen Transitorio.
- Estudio de Estabilidad de Voltaje.
- Estudio de flujos de carga debe de incluir los análisis de contingencias (N-1)

Con los diferentes análisis se verifica:

1. El cumplimiento de los criterios de seguridad vigentes.
2. No se producen sobretensiones, sobrecorrientes, corrientes de cortocircuito a otros efectos que puedan afectar la vida útil de los equipamientos existentes.
3. No se provocan problemas de regulación de tensión ni sobrecargas en SIN por la inclusión del proyecto.
4. No se reduce la potencia reactiva en la zona de influencia del proyecto.
5. No se ocasionan problemas de pérdidas de sincronismo en las maquinas del SIN.

El otro aspecto relevante y diría que es el cierra la puerta a la autorización de la Licencia Definitiva es lo relacionado con el Medio Ambiente.

- Aprobación del Estudio de Impacto Ambiental relativo al proyecto para el cual se solicita la licencia.
- Estudio de Impacto Ambiental aprobado por la Autoridad Nacional del Ambiente.

El primer punto, Estudio de Impacto Ambiental, está enfocado en el cumplimiento del proceso de evaluación de impacto ambiental normado por el Decreto Ejecutivo 123 de Agosto de 2009 [23] , debiendo de incluir estudios complementarios necesarios para

atender normativa de origen internacional como lo son todos los relacionados con la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) con su acuerdo de París y su Libro de Reglas incluyendo los resultados de la conferencia de las Partes 25 celebrada en Madrid, España bajo la presidencia de Chile.

La categorización de las Licencias en base a los estudios de Impacto ambiental, se pueden establecer en.

- Protección Ambiental 1 y 2, cuya ejecución ocasiona impactos ambientales negativos, que afectan parcialmente el ambiente, que pueden ser prevenidos y mitigados con medidas conocidas y de fácil aplicación.
- Protección Ambiental 3, este criterio se define cuando el proyecto genera o presenta alteraciones significativas sobre los atributos que dieron origen a un área clasificada como protegida o sobre el valor paisajístico, estético y/o turístico de una zona.

Todo lo anterior, debe de ser realizado por empresas independientes, especializadas en este tipo de estudios. En el estudio, como cualquier otro, a parte de la planificación, definición de tareas y subtareas, se obtendrá conclusiones y de desarrollo muy importantes a la hora de evaluar el proyecto:

- Consulta Publica Formal: Obligatorio para EsIA(Estudio Impacto Ambiental) categoría 3. Se realizará después de entregado el EsIA al Ministerio de Medio Ambiente una vez que se ponga el documento a disposición del público en general.
- Plan de Manejo Ambiental para el Proyecto tendrá diversos componentes solicitados en el Decreto Ejecutivo No 123:
 - Descripción de medidas de mitigación específicas.
 - Cronograma de Ejecución.
 - Plan de Participación Ciudadana.
 - Marco de Reasentamiento y/o Desplazamiento Económico.
 - Plan de Prevención de Riesgos.
 - Plan de Rescate y Reubicación de Fauna y Flora.
 - Plan de Educación Ambiental.
 - Plan de contingencias.
 - Plan de Recuperación Ambiental y de Abandono.
 - Costos de la Gestión Ambiental.

Por último, se realiza un análisis de Costo-Beneficio Final. Lo cual está contemplado en el Decreto Ejecutivo 123 de 2009 que incluye:

- Valoración Monetaria del Impacto Ambiental.
- Valoración Monetaria de las Externalidades Sociales, y
- Cálculos del VAN.

5.3 CONCLUSIONES

Los trámites administrativos y las regulaciones pertinentes influyen a la hora de definir el proyecto ya que se ve afectado por el cumplimiento normativo y por el proceso de obtención de licencias.

Las leyes que van a condicionar el desarrollo del proyecto son, por una parte la Ley No. 6 de 3 de febrero de 1997 [12], la cual establece el marco base de funcionamiento del Sector Eléctrico y establece el régimen a que están sujetas las actividades de generación. La Ley No. 45 de 4 de agosto de 2004 ([15]) que establece el régimen de incentivos para el fomento de sistemas de generación hidroeléctrica y de otras fuentes nuevas, renovables y limpias, y dicta otras disposiciones. Establece distintos incentivos en función de la potencia, en concreto en este trabajo se va a hablar de potencia en energía eólica de entre 40 y 105 MW y de potencia solar desde 5 MW a 50 MW. Todas estas potencias comparten incentivos como no pagar tarifa de transmisión ni de distribución ni pagar impuesto de importación para los equipos y repuestos requeridos para la construcción y operación de las plantas. La Ley No. 44 de 25 de abril de 2011 [17] que régimen de incentivos para el fomento de la construcción y explotación de centrales eólicas destinadas a la prestación del servicio público de electricidad y fomenta el desarrollo de las actividades de generación eólica. Por último, la Ley 37 de 10 de junio de 2013 [22], que establece el régimen de incentivos para el fomento de la construcción, operación y mantenimiento de centrales y/o instalaciones solares.

Por otro lado, para la obtención de licencias son necesarios dos puntos principales, como son la presentación del Modelo Oficial de solicitud No. E-170-A y la autorización de conexión por parte de ETESA. El otro aspecto relevante y se corresponde con el cierre de la puerta a la autorización de la Licencia Definitiva es lo relacionado con el Medio Ambiente.

Capítulo 6. CONCLUSIONES

La idoneidad de desarrollar un proyecto de generación eólica surge del análisis e identificación de una serie de factores clave en el área centroamericana, especialmente en Panamá.

Durante los últimos años se ha incrementado de manera significativa la capacidad instalada de energía renovable en general. Durante 2021, el parque eléctrico de Panamá registro una capacidad instalada de 4,24 GW lo que sugiere un avance positivo en la diversificación de la matriz energética, pero la creciente demanda plantea nuevos desafíos. La hibridación de parques eólicos con energía solar puede ser una solución prometedora además de impulsar el desarrollo de energía renovable, permite superar las limitaciones de cada fuente y además acelerar el crecimiento de ambas en el mix energético además de proporcionar un suministro más sostenible que teniendo ambas tecnologías por separadas. La energía solar instalada durante el 2021 fue de 441 MW y la energía eólica de 270 MW, siendo esto último inferior al porcentaje requerido por el Plan Nacional de la Energía.

Las leyes que van a condicionar el desarrollo del proyecto son, por una parte la Ley No. 6 de 3 de febrero de 1997 [12], la cual establece el marco base de funcionamiento del Sector Eléctrico y establece el régimen a que están sujetas las actividades de generación. La Ley No. 45 de 4 de agosto de 2004 ([15]) que establece el régimen de incentivos para el fomento de sistemas de generación hidroeléctrica y de otras fuentes nuevas, renovables y limpias, y dicta otras disposiciones. Establece distintos incentivos en función de la potencia, pero todas ellas comparten incentivos como no pagar tarifa de transmisión ni de distribución ni pagar impuesto de importación para los equipos y repuestos requeridos para la construcción y operación de las plantas. La Ley No. 44 de 25 de abril de 2011 [17] que régimen de incentivos para el fomento de la construcción y explotación de centrales eólicas destinadas a la prestación del servicio público de electricidad y fomenta el desarrollo de las actividades de generación eólica. Por último, la Ley 37 de 10 de junio de 2013 [22], que establece el régimen de incentivos para el fomento de la construcción, operación y mantenimiento de centrales y/o instalaciones solares.

Por otro lado, para la obtención de licencias son necesarios dos puntos principales, como son la presentación del Modelo Oficial de solicitud No. E-170-A y la autorización de conexión por parte de ETESA. El otro aspecto relevante y se corresponde con el cierre de la puerta a la autorización de la Licencia Definitiva es lo relacionado con el Medio Ambiente.

A partir de los datos expuestos a lo largo de todo el trabajo se pueden tomar decisiones con fundamento para la planificación y ejecución del proyecto. Los vientos fuertes ocurren a mayor altitud ya sea esto en zonas de costa o de interior, siendo las velocidades superiores a 10m/s. Se tiene en cuenta también la radiación presente en todo el país, coincidiendo en gran parte con las zonas de mayores vientos. Es necesario elegir la ubicación óptima del parque para minimizar las pérdidas, en este caso se ha decidido desarrollar este proyecto cerca de la subestación de San Bartolo (interior de Panamá) o el Higo (costa de Panamá) por ser zonas con vientos fuertes y radiación solar superior a la media. Por otro lado, queda demostrado la replicabilidad del proyecto en el contexto de América central, por condiciones parecidas o superiores en cuanto a recurso eólico y por mayor potencial solar en las otras regiones. Además, a partir del ranking anteriormente expuesto, se concluye como el país de América Central con mayor potencial de replicación de este proyecto se trata de Costa Rica. Para finalizar, la creación de empleo dependerá del tamaño del proyecto, así como de la velocidad de desarrollo del mismo. Se establece de media como la energía eólica crea una media de empleos por MW durante la fase de instalación de 8,8 y de 0,35 en la fase de operación y mantenimiento, mientras que la energía solar genera 25 empleos por MW en la fase de instalación y 0,4 en la fase de operación y mantenimiento.

A continuación se cuantifica todo lo mencionado anteriormente.

Energía eólica				
	Escenario	VAN Pesimista	VAN Moderado	VAN Optimista
Grande e interior (105 MW)	1	377.270.162 €	453.621.368 €	504.522.172 €
Pequeño e interior (40 MW)	2	143.721.966 €	172.808.140 €	192.198.923 €
Grande y costa (105 MW)	3	333.964.641 €	402.680.727 €	448.491.451 €
Pequeño y costa (40 MW)	4	127.224.625 €	153.402.182 €	170.853.886 €
Energía fotovoltaica				
Grande e interior (50 MW)	1	76.047.273 €	92.408.246 €	103.315.561 €
Pequeño e interior (5 MW)	2	7.604.727 €	9.240.825 €	10.331.556 €
Grande y costa (50 MW)	3	66.671.592 €	81.396.468 €	91.213.051 €
Pequeño y costa (5 MW)	4	6.667.159 €	8.139.647 €	9.121.305 €
Hibridación				
Grande e interior (155 MW)	1	804.106.575 €	967.534.515 €	1.076.486.474 €
Pequeño e interior (45 MW)	2	233.450.296 €	280.897.117 €	312.528.331 €
Grande y costa (155 MW)	3	711.343.516 €	858.428.661 €	956.485.425 €
Pequeño y costa (45 MW)	4	206.519.085 €	249.221.224 €	277.689.317 €

Tabla 30: Resumen económico de los distintos escenarios. Fuente: elaboración propia

Comparando la energía eólica con la energía fotovoltaica se puede observar, que en cualquiera de los escenarios, se obtiene una mayor rentabilidad con la energía eólica. Se observa como en todos los casos presentados, la rentabilidad es mayor en el emplazamiento interior por lo que el parque se va a situar en el interior.

La conclusión principal que se extrae de la Tabla 30 es que los parques de mayor tamaño y en el interior del país presentan la mayor rentabilidad en comparación con otras potencias inferior y situados en otros emplazamientos. Además a la hora de comparar la misma potencia en dos emplazamientos distintos (ejemplo: grande e interior vs grande y costa) se observa como la rentabilidad del emplazamiento interior es mayor que la rentabilidad del emplazamiento en costa, por lo que el parque se va a situar en el interior.

Para discutir el tipo de parque a desarrollar se ha estudiado el VAN obtenido en 1 MW del parque eólico, solar e hibridado, es cierto que habría que tener en cuenta más factores como por ejemplo la obtención de licencias o los tiempos de conexión a red pero para entender de una manera más generalista la viabilidad del proyecto y se ha concluido que la mejor opción es la de hibridación ya que el VAN de la hibridación es mayor que la suma del VAN del parque solar y el parque eólico, obteniéndose respectivamente 6.242.158 € y 6.168.360 €.

Si bien es cierto que la energía híbrida presenta una mayor inversión inicial, es necesario considerar la generación de la energía y la eficiencia.

En cuanto a la generación de la energía, en este escenario base de 1 MW, la eólica proporciona 3,1 GWh, la energía solar 1,4 GWh y la generación de la energía híbrida es de 4,5 GWh, por lo que se demuestra que para 1 MW de potencia instalada, la generación híbrida presenta una mayor capacidad.

Por otro lado, en cuanto a la eficiencia, el factor de carga presente en una planta eólica es del 40%, en una planta solar es del 18% y en una planta hibridada es del 58%, lo que quiere decir que se aprovechan mejor los recursos de manera conjunta que utilizando las tecnologías de manera individual.

Con todo lo expuesto anteriormente, se puede concluir que el mejor parque a desarrollar es el parque hibridado, en una localización interior cercana a la subestación de San Bartolo.

Capítulo 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Araúz, O.. “Análisis del Mercado Eléctrico Panameño”. Dirección de Análisis Económico y Social. Diciembre, 2017. <https://www.mef.gob.pa/wp-content/uploads/2020/12/Analisis-del-mercado-electrico-panameno-DIC-2017.pdf>
- [2] Gobierno de Panamá. “Estrategia Nacional de Cambio Climático, 2050”. Ministerio de Medio Ambiente. 2019. <https://www.undp.org/es/panama/publications/estrategia-nacional-de-cambio-climatico-2050>.
- [3] IRENA, “Evaluación del Estado de Preparación de las Energías Renovables Panamá”, Agencia Internacional de Energías Renovables, 2018, Abu Dhabi.
- [4] ASEP, “Procedimiento para otorgar licencias de construcción y explotación de plantas de generación eléctrica”, Autoridad Nacional de los Servicios Públicos, https://www.asep.gob.pa/wp-content/uploads/transparencia/articulo_9/9_6_seguimiento_documentos/elect/pasos_licencias.pdf
- [5] IRENA (2022), “Renewable Power Generation Costs in 2021”, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi
- [6] ETESA (2021), “Informe de contrataciones 2021-2041”, Panamá
- [7] Sanguinetti, P. (2022), “Impactos en Panamá del conflicto Rusia-Ucrania”, PNUD, <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2022-12/PDS-Number39%20Panama-Ucrania%20ES.pdf>
- [8] IRENA (2022), “Energy Profile – Panamá”, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Central-America-and-the-Caribbean/Panama_Central-America-and-the-Caribbean_RE_SP.pdf?rev=117a6254ccf44da2b23d3499f0fc623e
- [9] ONU (2015), “Objetivos de Desarrollo Sostenible”, <https://onu.org.gt/objetivos-de-desarrollo/#:~:text=17%20Objetivos%20de%20Desarrollo%20Sostenible%3A%201%20Poner%20fin,durante%20toda%20la%20vida%20para%20todos.%20Altri%20elementi>
- [10] Global Wind Atlas, <https://globalwindatlas.info>
- [11] Global Solar Atlas, <https://globalsolaratlas.info>
- [12] Ley 6 de 1997, Marco regulatorio e institucional para la prestación del servicio público de electricidad.
- [13] Decreto Ejecutivo No. 22 de 1998

- [14] Ley 41 de 1998, General de Ambiente de la República de Panamá
- [15] Ley 45 de 2004, Régimen de incentivos para el fomento de sistemas de generación hidroeléctrica y de otras fuentes nuevas, renovables y limpias.
- [16] Decreto Ejecutivo No. 45 de 2009
- [17] Ley 44 de 2011, Régimen de incentivos para el fomento de la construcción y explotación de centrales eólicas destinadas a la prestación del servicio público de electricidad.
- [18] Ley 42 de 2011, Lineamientos para la política nacional sobre biocombustibles y energía eléctrica a partir de biomasa en el territorio nacional.
- [19] Ley 41 de 2012, Régimen de incentivos para el fomento de la construcción y explotación de centrales de generación a base de gas natural destinadas a la prestación del servicio público de electricidad.
- [20] Ley 43 de 9 de agosto de 2012, Marco regulatorio e institucional para la prestación del servicio público de electricidad.
- [21] Ley 18 de 2013, Régimen de incentivos para el fomento de la construcción y explotación de centrales eólicas destinadas a la prestación del servicio público de electricidad
- [22] Ley 37 de 2013, Régimen de incentivos para el fomento de la construcción, operación y mantenimiento de centrales y/o instalaciones solares.
- [23] Decreto Ejecutivo 123 de 2009
- [24] Constitución Política de la República de Panamá.
- [25] Decreto Ejecutivo 45 de 2009
- [26] Norvento enerxia (2011), “Estudio de impacto ambiental parque eólico Cerracero. Tomo 1”. <https://www.eib.org/attachments/registers/88618153.pdf>
- [27] Contreras, D. (2013). “Plan de Negocios Parque Eólico Limarí”, Universidad de Chile: Facultad de Economía y Negocios. Chile
- [28] Autoridad Nacional del Ambiente de Panamá, <https://www.miambiente.gob.pa/>
- [29] Centro Internacional de Energía y Ambiente, <https://www.iesa.edu.pa/ciea/>
- [30] OLADE (2022), “Panorama Energético de América Latina y el Caribe”, Chile, <https://www.olade.org/wp-content/uploads/2023/01/Panorama-ALC-13-12-2022.pdf>
- [31] ETESA (2018), “Informe de avances. Proyectos en ejecución”, Panamá, https://www.etsa.com.pa/documentos/informe_avance_de_proyecto_gi_0718_v1.pdf
- [32] Álvarez, N. (2009), “Proyecto de diseño, construcción y explotación de un parque eólico”, Universidad Carlos III de Madrid: Escuela Politécnica Superior Ingeniería Industria. Madrid. https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/8247/PFC_Nieves_Alvarez_Marivela.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- [33] Ramos, M. (2016), “Diseño y análisis económico financiero de una instalación onshore de 99 MW en el mercado rumano y norteamericano”, Universidad Politécnica de Madrid: Escuela técnica superior de Minas y Energía: Madrid. https://oa.upm.es/42996/1/PFC_Miguel_Ramos_Rodriguez.pdf
- [34] Cano, J. (2018), “Proyecto básico de Parque Eólico”, Escuela Técnica Superior de Ingeniería: Dep. de Ingeniería de la Construcción y Proyectos de Ingeniería. Sevilla. <https://ingemecanica.com/proyectos/objetos/proyecto37.pdf>
- [35] Bayón, R. “Diseño de un parque eólico de 6 MW”, La Coruña. <https://www.eoi.es/es/file/18952/download?token=DCeGd24a>
- [36] Legatum Institute, “The pillars of prosperity”. https://docs.prosperity.com/7716/7736/3070/The_Pillars_of_Prosperty.pdf
- [37] Legatum Institute, “The Prosperity Ranking Index 2023”. https://docs.prosperity.com/2616/7736/3001/The_Prosperty_Index_Rankings_Table_2023.pdf
- [38] Global Solar Atlas, “PV Potential study Factsheet Costa Rica”. <https://globalsolaratlas.info/global-pv-potential-study>
- [39] Global Solar Atlas, “PV Potential study Factsheet Nicaragua”. <https://globalsolaratlas.info/global-pv-potential-study>
- [40] Global Solar Atlas, “PV Potential study Factsheet Panamá”. <https://globalsolaratlas.info/global-pv-potential-study>
- [41] IRENA (2022), “Renewable energy and jobs-Annual Review 2022”. <https://www.irena.org/publications/2022/Sep/Renewable-Energy-and-Jobs-Annual-Review-2022>
- [42] NYSERDA, “Economic Impacts of Wind Development”. <https://www.nyscrda.ny.gov/-/media/Project/Nyserda/Files/Publications/Research/Biomass-Solar-Wind/Economic-Impacts-of-Wind-Development.pdf>
- [43] ELAWAN Energy (2021), “Plan estratégico sobre el impacto de empleo local y cadena de valor industrial en proyectos eólicos (potencia adjudicada de 35MW)”. https://energia.gob.es/renovables/regimen-economico/Documents/EOL_PE31%20ELAWAN%20ENERGY,%20S.L%20105%20MW.pdf
- [44] IRENA, “Socio-economic Benefits of Solar and Wind Energy”. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2014/Socioeconomic_benefits_solar_wind.pdf
- [45] APPA (2021), “Hibridación en la generación renovable”, https://www.appa.es/wp-content/uploads/2021/04/APPA-Renovables-Everis-Hibridacion-en-la-Generacion-Renovable_vf.pdf

-
- [46] Gobierno de Panama (2021), “Plan de Expansion del Sistema Interconectado Nacional 2020-2034”,
https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/29417_A/88310.pdf
- [47] Gobierno de Panamá (2023) ,“Informe economico y social – Al primer trimestre de 2022”, <https://www.mef.gob.pa/wp-content/uploads/2023/05/MEF-DAES-Informe-Economico-y-Social-Segundo-Trimestre-2022.pdf>
- [48]

ANEXO I: OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

En este Trabajo de Fin de Máster, se apuesta por las energías renovables siguiendo así los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) ([9]).

Los ODS se dan gracias a que números países establecieron una nueva alianza mundial para reducir los niveles de pobreza y a la vez perseguir nuevos objetivos que se conocen como los Objetivos de Desarrollo del Milenio. Dichos ODM, estaban compuestos de ocho objetivos, los cuales perseguían nuevas medidas y esfuerzos contra la pobreza, el hambre o la falta de educación, entre otros.

En el año 2015, se finalizó el cumplimiento de plazo de los ODM, lo que propicio que los Estados acordases una nueva agenda para el desarrollo, conocida como Agenda de Desarrollo 2030. Dentro de esta agenda se desarrollan los ODS, cuya función es erradicar la pobreza, promover la prosperidad y el bienestar para todos, proteger el medio ambiente y hacer frente al cambio climático a nivel mundial.

Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible tienen como finalidad el alcance mundial y la aplicación universal, aunque cabe destacar que cada gobierno es el responsable de establecer sus propias metas.

Dentro de este trabajo se pueden observar la persecución de diversos ODS, los cuales se desarrollan a continuación.

- **ODS 7: Energía asequible y no contaminante.**
La construcción de un parque eólico proporcionará acceso a energía renovable y la reducción de dependencia de los combustibles fósiles. Esto ayuda a cumplir el ODS 7 ya que tiene como objetivo garantizar el acceso a una energía asequible, confiable, sostenible y moderna para todos.
- **ODS 8: Trabajo decente y crecimiento económico.**
La construcción y operación de un parque eólico como se ha descrito a lo largo del TFM, contribuirá a la generación de empleo y a impulsar el crecimiento económico, especialmente en las comunidades locales cercanas al parque. Esto supone el cumplimiento del ODS 8 ya que tiene como objetivo promover el

crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, y el empleo pleno y productivo.

- **ODS 9: Industria, innovación e infraestructura.**

La construcción del parque puede requerirá la inversión en infraestructura y tecnología, es por ello, que puede contribuir al ODS 9, que tiene como objetivo desarrollar infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.

- **ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles.**

Este parque eólico promoverá ciudades y comunidades sostenibles al adoptar la energía renovable como fuente de energía. Esto podría ayudar a cumplir el ODS 11, que tiene como objetivo hacer que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.

- **ODS 12: Producción y consumo responsables.**

El parque eólico dará lugar a la producción y el consumo responsables al fomentar la adopción de fuentes de energía renovable y reducir la huella de carbono. Esto podría ayudar a cumplir el ODS 12, ya que tiene como objetivo garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.

- **ODS 13: Acción por el clima.**

La construcción de un parque eólico en Panamá ayudará a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mitigar el cambio climático. Esto contribuiría al cumplimiento del ODS 13, que tiene como objetivo tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.



Ilustración 65: Objetivos de Desarrollo Sostenible. Fuente: ONU

ANEXO II: PROCEDIMIENTO OBTENCIÓN LICENCIAS



**PROCEDIMIENTO PARA OTORGAR LICENCIAS DE CONSTRUCCIÓN Y EXPLOTACIÓN DE PLANTAS
DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

FEBRERO DE 2015

APROBADO MEDIANTE RESOLUCIÓN No.1021-Elec de 19 de Julio de 2007 G.O. 25842 de 25/07/2007 "Por la cual se deroga la Resolución No. JD-110 de 14 de octubre de 1997 y sus modificaciones, y se aprueba el nuevo procedimiento para otorgar licencias de construcción y explotación de plantas de generación de energía eléctrica". Mediante Resolución AN No. 8218-Elec de 07 de Enero de 2015 G.O. 27700 de 15/01/2015 "Por la cual se modifica el procedimiento para otorgar licencias de construcción y explotación de plantas de generación de energía eléctrica, aprobado mediante Resolución AN No. 1021-Elec de 19 de julio de 2007, modificada por la Resolución AN No. 7771-Elec de 29 de agosto de 2014". Resolución AN No.8024-Elec de 6 noviembre de 2014 " La Autoridad Nacional de los Servicios Públicos y la Contraloría General de la República en uso de sus facultades legales" Ley 26 de 29 de enero de 1996 modificada por el Decreto Ley 10 de 22 de febrero de 2006; Ley 6 de 3 de febrero de 1997; Decreto Ejecutivo 22 de 19 de junio de 1998; y, Resolución AN No. 7771-Elec de 29 de agosto de 2014. Resolución AN No. 8218-Elec de 07 de Enero de 2015 G.O. 27700 de 15/01/2015.

CAPÍTULO I

NORMAS GENERALES

Artículo 1: De la actividad y ámbito de aplicación. El presente procedimiento determina las normas y procedimientos que deben cumplir las personas naturales o jurídicas que se dediquen a la construcción y explotación de plantas de generación de energía eléctrica, distintas a las hidroeléctricas y geotermoeléctricas, destinadas al servicio público de electricidad, de conformidad con lo establecido en los artículos 54 y 60 de la Ley 6 de 1997.

Artículo 2: Limitaciones de la Licencia. Una licencia solamente podrá amparar una central generadora. Sin embargo, una misma persona natural o jurídica podrá ser titular de más de una licencia, sujeta a las regulaciones y restricciones establecidas en el artículo 69 de la Ley 6 de 1997.

Artículo 3: Tasa de Regulación. Todas las empresas titulares de licencias para la generación de energía eléctrica, están sujetas a la tasa de control, vigilancia y fiscalización de los servicios públicos, según lo dispuesto en el artículo 5 de la Ley 26 de 29 de enero de 1996 y el artículo 6 del Decreto Ley 10 de 22 de febrero de 2006.

Artículo 4: Contenido de la Licencia. Las licencias serán otorgadas y formalizadas por la Autoridad Nacional de los Servicios Públicos a personas naturales o jurídicas mediante resolución motivada, conforme a las normas establecidas por la Autoridad.

Estas resoluciones indicarán los términos y condiciones bajo las cuales se otorga la licencia en cada caso en particular, tal y como lo indica el artículo 60 de la Ley 6 de 1997. En consecuencia, incluirán entre otros aspectos, las obligaciones, los derechos y las restricciones precisadas en los artículos 67, 68 y 69 de la Ley 6 de 1997.

Artículo 5: Capacidad de Generación. La capacidad de generación de la central objeto de la autorización contenida en la licencia no podrá ser aumentada sin que medie autorización de la Autoridad Nacional de los Servicios Públicos, previa solicitud de parte interesada.

Artículo 6: Vigencia de la Licencia. Las licencias se otorgarán por un periodo de hasta cuarenta (40) años.

CAPÍTULO II

DE LA SOLICITUD Y LA TRAMITACIÓN DE LAS LICENCIAS

Artículo 7: El solicitante de una licencia de generación debe estar habilitado por el Ministerio de Comercio e Industrias para ejercer exclusivamente la actividad de generación eléctrica, lo cual será confirmado por la Autoridad Nacional de los Servicios Públicos mediante el Aviso de Operación obtenido a través del Sistema PANAMÁEMPRENDE.

Artículo 8: La solicitud de la licencia deberá realizarse mediante el formulario de solicitud de licencia identificado con el No. E-170-A que la Autoridad de los Servicios Públicos mantendrá a disposición de los interesados y que deberá ser firmado por el petitionerario o el Representante Legal o apoderado, en caso de persona jurídica.

Artículo 9: El solicitante debe completar el formulario, entregarlo a la Autoridad Nacional de los Servicios Públicos y consignar una garantía mediante fianza o cheque de gerencia o certificado a favor del Tesoro Nacional por la suma de cien balboas con 00/100 (B/.100.00) por cada megavatio o fracción que se indique en la solicitud como capacidad instalada del proyecto, la cual será devuelta al solicitante una vez le sea otorgada la licencia definitiva.

En el caso de solicitudes de licencias eólicas, dicha garantía será de quinientos balboas con 00/100 (B/.500.00) por cada megavatio o fracción que se indique en la solicitud como capacidad instalada del proyecto.

Artículo 10: En adición el solicitante deberá presentar con el formulario los siguientes documentos:

1. Fotocopia de la cédula o del pasaporte del solicitante (persona natural) o del representante legal (persona jurídica).
2. Certificado de Registro Público (original) de la sociedad, que detalle Escritura Pública de constitución, datos registrales, directores y dignatarios, representante legal y poderes.
3. Declaración Jurada del Tesorero de la sociedad solicitante, que contenga un listado con el nombre y cédula de las personas naturales que controlan el cien por ciento (100%) de las acciones o cuotas de participación al momento de la solicitud y con indicación de la participación de cada persona con relación al total de las acciones o cuotas. Si se trata de accionistas representados por personas jurídicas, el tesorero deberá incluir en su declaración el nombre de la sociedad tenedora de las acciones y el nombre y cédula de las personas naturales que sean tenedoras de las acciones o cuotas de participación de estas sociedades, y así, sucesivamente, hasta que se demuestre quién es la persona natural tenedora de las acciones.

En caso de existencia de Fondos de Inversión o Acciones en Bolsa, se debe establecer total identificación de quienes ejercen el control de las mismas, es decir, los integrantes del ente administrativo de control, ya sea, Junta Directiva, Consejo de Administración, etc.

4. Título de propiedad, constancia de alquiler del predio donde se instalará la central o bien, la anuencia del propietario del bien inmueble sobre su utilización para el desarrollo del proyecto.
5. Documento emitido por una entidad que sea reconocida por la Superintendencia de Bancos, mediante el cual se acredite la solvencia económica y financiera y la capacidad del solicitante y/o sus accionistas de aportar, como mínimo, el treinta por ciento (30%) de la inversión necesaria para la nueva planta a instalar, la cual debe ser basada en costos internacionales de plantas de generación de acuerdo a la tecnología empleada.
6. Descripción del proyecto en el que se indique la tecnología que se va a utilizar.
7. Carta de intención de la empresa que se encargará de la operación de la planta, la cual debe tener una experiencia mínima de dos (2) años como operador de generación de similar tecnología.
8. Carta de intención de la empresa que se encargará de la ingeniería y diseños de la planta, la cual debe tener una experiencia mínima de cinco (5) años como diseñador de centrales de generación de similar tecnología.
9. Estrategia que describa la obtención del combustible que utilizará la planta, la cual, de ser necesario, debe acompañarse de la carta de intención de la empresa que lo proveerá.
10. Esquema propuesto para la conexión a la red de transmisión o distribución.
11. Mapa en escala 1:50,000 y croquis de la ubicación aproximada de las estructuras principales del proyecto.
12. Información detallada de la conexión a la red de transmisión o distribución.
13. Plano a escala mínima de 1:10,000 que describa las servidumbres requeridas.
14. Copia auténtica de la resolución de la Autoridad Nacional del Ambiente mediante la cual se aprueba el Estudio de Impacto Ambiental relativo al proyecto para el cual se solicita la licencia.
15. Copia auténtica del Estudio de Impacto Ambiental aprobado por la Autoridad Nacional del Ambiente.

- 16.** En caso de que el proyecto se conecte en el sistema de transmisión debe presentar nota de la Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A. donde se otorgue su conformidad o autorización con la conexión del proyecto.

En caso de que el proyecto se conecte en el sistema de distribución debe presentar nota de la Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A. y de la empresa de distribución donde se otorgue su conformidad o autorización con la conexión del proyecto.

- 17.** En caso de licencias para generación eólica, debe presentar documento que acredite la realización de mediciones de viento en el sitio, a diferentes alturas, que permitan determinar adecuadamente el tamaño y características de los aerogeneradores y su distribución espacial.

- 18.** Consignar una Fianza de Construcción cuya cuantía será el diez por ciento (10%) de la inversión necesaria para la nueva planta a instalar, la cual debe basarse en costos internacionales de plantas de generación de acuerdo a la tecnología empleada.

En caso de no iniciar la construcción del proyecto dentro del plazo establecido en la Resolución que otorgó la licencia definitiva, se ejecutará la fianza y el licenciatario perderá la suma a la que asciende la garantía consignada, la cual ingresará al Tesoro Nacional, para minimizar los sobrecostos a los clientes eléctricos de bajos recursos. Una vez iniciada la construcción del proyecto, en caso de incumplimiento del plazo para la terminación de las obras o en caso de incumplimiento de cualquiera de los plazos establecidos en la Resolución que otorgó la licencia definitiva, se ejecutará la fianza y la fiadora podrá pagar el importe de la fianza o subrogarse los derechos y obligaciones dimanantes de la licencia definitiva. Dicha fianza debe estar vigente hasta que finalice la construcción del proyecto, fecha en la que será devuelta al licenciatario.

- 19.** Fianza de Cumplimiento que garantizará el fiel cumplimiento de las obligaciones contenidas en las Licencias Definitivas de aquellos licenciatarios que construyan y operen centrales de generación eléctrica eólica, a base de gas natural y mediante sistemas de centrales solares, cuyo texto completo de encuentra en el [ANEXO A](#) de la resolución AN No.8024-Elec de 6 de noviembre de 2014.

La siguiente tabla que establece el monto de la Fianza de Cumplimiento que deberá aplicar la Autoridad Nacional de los Servicios Públicos a aquellos licenciatarios que construyan y operen centrales de generación eléctrica eólica, a base de gas natural y mediante sistemas de centrales solares:

<u>Tipo de Generación</u>	<u>Monto Estimado</u>
Eólico	B/. 500.00 x MW Nominal a instalar
Gas Natural	B/. 2,000.00 x MW Nominal a instalar
Solar	B/. 2,000.00 x MW Nominal a instalar

Artículo 11: Una vez analizada la solicitud de la licencia, la Autoridad Nacional de los Servicios Públicos comunicará sus observaciones al interesado, con relación al grado de cumplimiento de los requisitos de la solicitud, dentro de un plazo no mayor de cuarenta y cinco (45) días hábiles contados a partir de la fecha en que se haya presentado la respectiva solicitud, debiendo subsanarse cualquier anomalía o insuficiencia dentro de un término de quince (15) días hábiles, los cuales podrán ser prorrogados a solicitud justificada de la parte interesada. Transcurrido dicho término sin haberse completado la solicitud, se devolverá al peticionario la solicitud.

Artículo 12: La Autoridad Nacional de los Servicios Públicos podrá otorgar una licencia provisional con una validez de doce (12) meses, a aquellos solicitantes que consignen la garantía a que se refiere el artículo 9 y cumplan como mínimo con los requisitos listados en los numerales 1 al 11 del artículo 10 del presente procedimiento. La licencia provisional es intransferible y no autoriza la construcción y operación de la central respectiva.

Quien opte por la licencia provisional, deberá aportar un cronograma que detalle las actividades a realizar para la obtención de la licencia definitiva, conforme al formato suministrado por la Autoridad Nacional de los Servicios Públicos, como anexo al Formulario E-170-A. El cronograma de las solicitudes de licencias para generación eólica, debe incluir el periodo de medición de vientos y debe aportar informes trimestrales de avance de las mismas.

Las licencias provisionales podrán prorrogarse de conformidad con lo que se establezca en la resolución que las conceda.

Dentro del plazo de validez de la licencia provisional el solicitante debe cumplir con la presentación de todos los documentos establecidos en el artículo 10. En caso de que dicha información no se presenten en tiempo oportuno, la licencia provisional quedará sin efecto.

Artículo 13: En los casos en que la Autoridad Nacional de los Servicios Públicos cancele una licencia provisional, el solicitante, en los casos de personas jurídicas, no podrán volver a solicitar la licencia para el mismo proyecto.

En estos casos la Autoridad Nacional de los Servicios Públicos ejecutará la garantía consignada, la cual ingresará al Tesoro Nacional y publicará en su página electrónica y en dos diarios de circulación nacional por dos (2) días consecutivos, la cancelación de la licencia.

Artículo 14: Una vez presentados todos los documentos a que se refiere el artículo 10, la Autoridad Nacional de los Servicios Públicos otorgará la licencia definitiva dentro del término de 30 días calendario, contados a partir de dicha presentación.

CAPÍTULO III

DE LAS LICENCIAS OTORGADAS

Artículo 15: Prórroga de las Licencias. Las licencias podrán ser prorrogadas a solicitud de parte interesada, hasta por un término no mayor al otorgado inicialmente

Artículo 16: El titular de una licencia, deberá cumplir con las normas y requisitos establecidos en la Ley 6 de 3 de febrero de 1997 y, particularmente, con los señalados en el artículo 67; con las normas y medidas ambientales, así como las reglas comerciales del mercado mayorista, las disposiciones vigentes de interconexión y operación del sistema público de electricidad. Asimismo, será responsable de la conexión al sistema, su posterior construcción y operación, y de efectuar las consultas necesarias a la empresa de transmisión para asegurar la compatibilidad técnica de sus equipos con los del sistema interconectado nacional. Igualmente, deberá cumplir con la normativa que rige el Mercado Eléctrico Regional de América Central, tanto para la conexión de las instalaciones de generación a la Red de Transmisión Regional, así como para la operación de las unidades de generación."

Artículo 17: El diseño, construcción y posterior operación y mantenimiento de las obras civiles y electromecánicas de las centrales generadoras objeto de una licencia, deben cumplir con normas técnicas que garanticen la seguridad de estas obras y la preservación del ambiente de acuerdo con normas y prácticas vigentes en esta materia.

Artículo 18: Como constancia del cumplimiento de las normas a que se refiere el artículo 17 de este procedimiento, el titular de una licencia deberá presentar a la Autoridad la Autoridad Nacional de los Servicios Públicos, una Declaración Jurada respaldada por una Certificación expedida por un profesional o profesionales de reconocida experiencia en la materia, sobre los siguientes aspectos:

1. Cumplimiento de las normas en el diseño y la construcción de la central, con una anticipación no menor de sesenta (60) días calendario, a la fecha prevista para la puesta en marcha de la central.
2. Cumplimiento de normas relativas a la operación y mantenimiento de la central, con una frecuencia no mayor que una vez cada cinco (5) años, a partir del inicio de la operación comercial de la central.

Artículo 19: Hasta tanto la autoridad competente emita las normas sobre la materia, las centrales de generación termoeléctricas deberán cumplir con las guías de emisiones aplicables, recomendadas por el Banco Mundial.

Artículo 20: Las Resoluciones que otorguen las licencias indicarán en forma explícita los derechos, obligaciones y restricciones de las respectivas Licencias.

Artículo 21: Serán causales de terminación de las licencias las siguientes:

1. El vencimiento del término de la licencia.
2. La declaración de quiebra, concurso de acreedores, disolución o suspensión de pagos del licenciatario.
3. Cualquiera otra causa establecida en la Resolución que otorga la licencia.

Artículo 23: La Autoridad Nacional de los Servicios Públicos podrá realizar inspecciones a las obras o instalaciones y sus ampliaciones destinadas a los fines de la licencia, con el objeto de asegurar su debida ejecución.

Si en las visitas de inspección se comprobare la existencia de deficiencias o infracciones a lo establecido en el presente procedimiento o en la Resolución que otorgue la licencia, la Autoridad Nacional de los Servicios Públicos procederá de acuerdo a lo establecido en el artículo 145 de la Ley 6 de 1997, que establece el procedimiento sancionador a los prestadores, en concordancia con lo que disponen los artículos 142, 143 y 144 de dicha norma jurídica.

ANEXO III: DATOS REPLICABILIDAD

La replicabilidad de este proyecto se basa en la capacidad que tiene de ser reproducido de manera exitosa en otros emplazamientos. Se va a estudiar principalmente el contexto de América central para establecer la idealidad de la construcción de un parque eólico en dichos lugares y se parte de la premisa de una altitud de 100m de altitud. A continuación, se muestran las gráficas de velocidad media y densidad del viento de América Central.

1. Belice

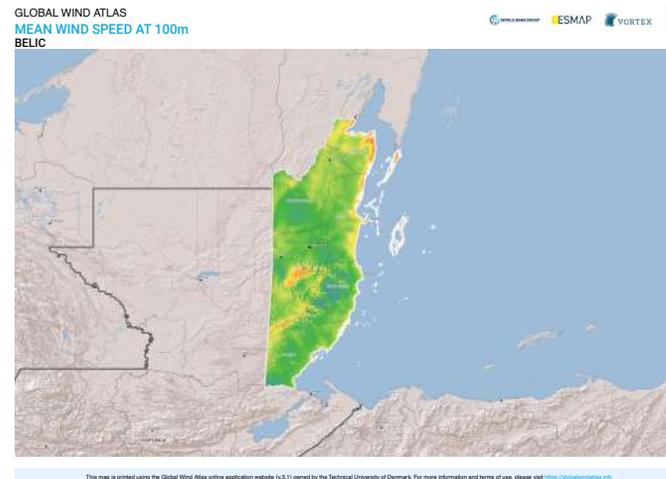


Ilustración 66: Mapa vientos Belice. Fuente: Global Wind Atlas

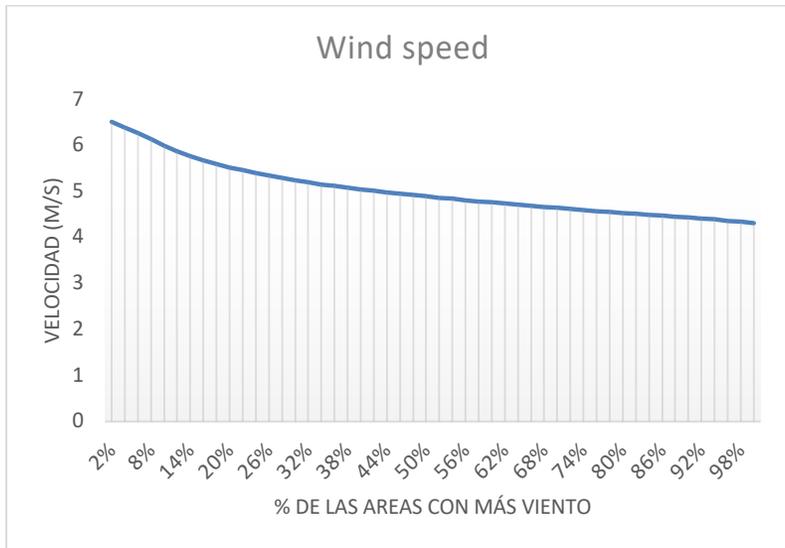


Ilustración 67: Velocidad media de viento Belice. Fuente: Global Wind Atlas

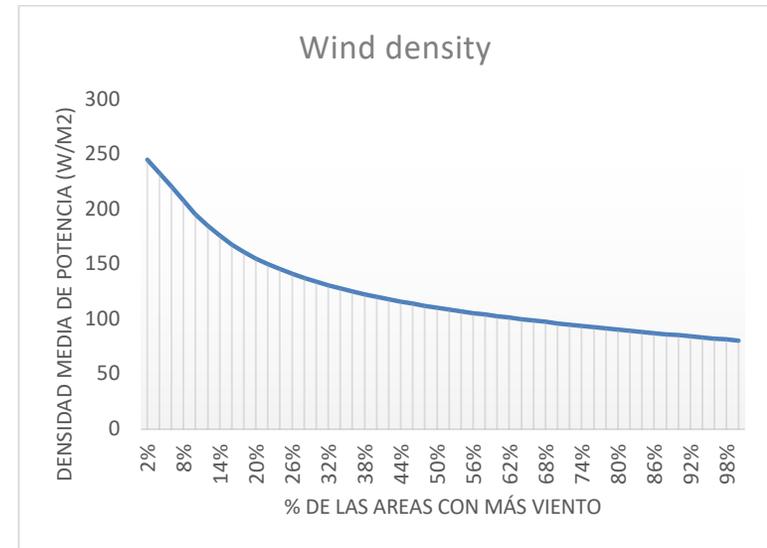
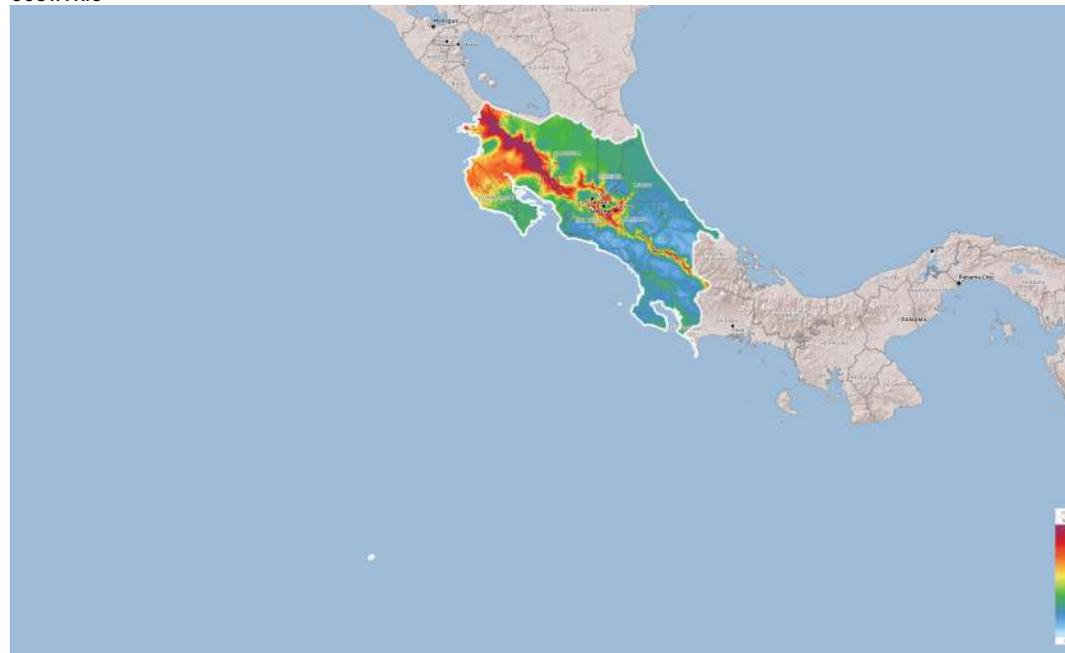


Ilustración 68: Densidad media de viento Belice. Fuente: Global Wind Atlas

2. Costa Rica

GLOBAL WIND ATLAS
MEAN WIND SPEED AT 100m
COSTA RIC



This map is printed using the Global Wind Atlas online application website (v.3.1) owned by the Technical University of Denmark. For more information and terms of use, please visit <https://globalwindatlas.info>

Ilustración 69: Mapa vientos Costa Rica. Fuente: Global Wind Atlas

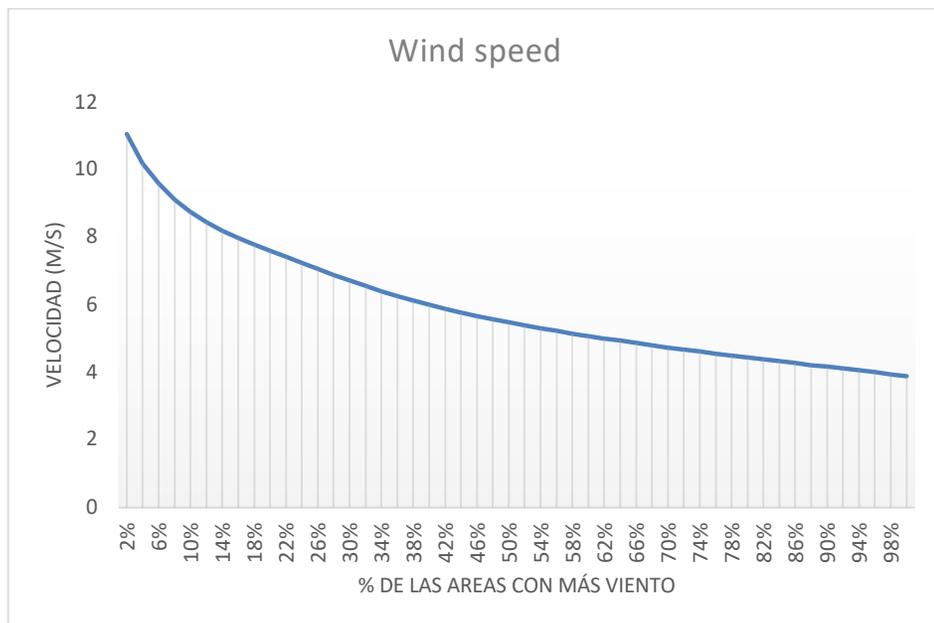


Ilustración 70: Velocidad media de viento Costa Rica. Fuente: Global Wind Atlas

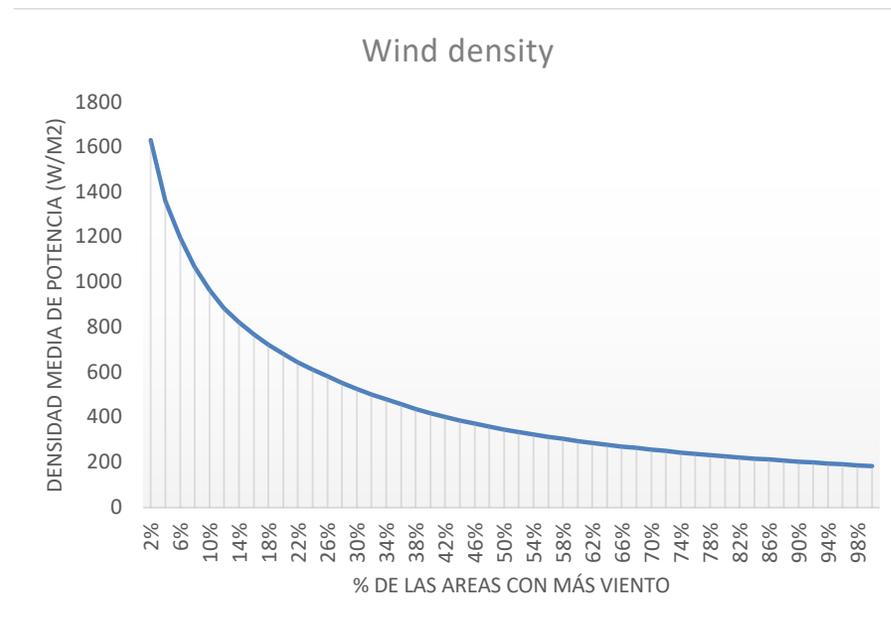
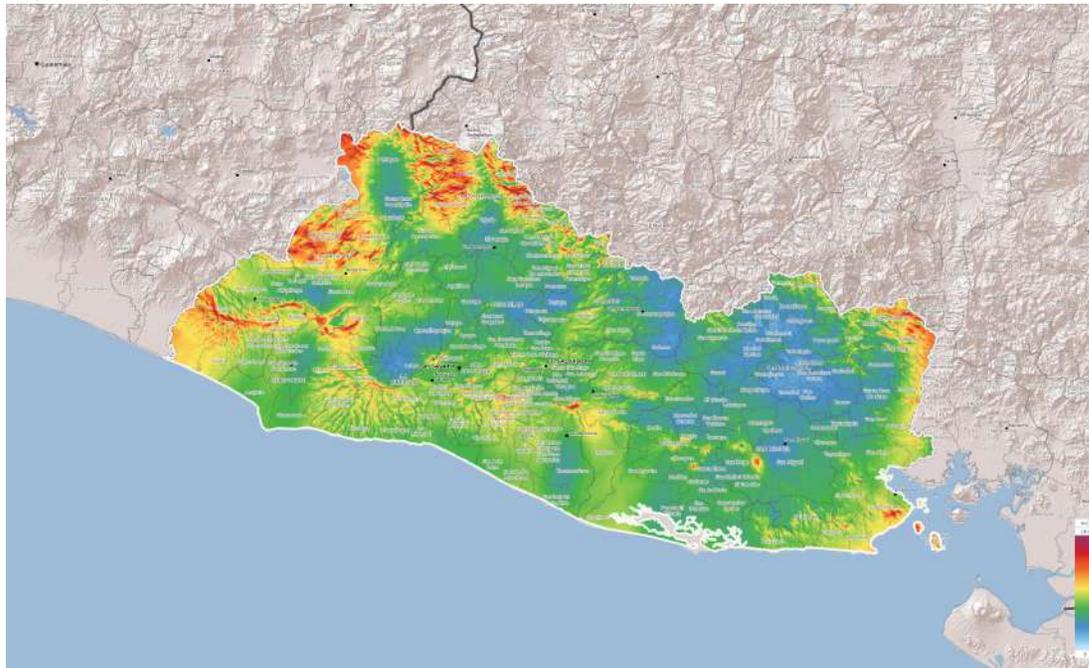


Ilustración 71: Densidad media de viento Costa Rica. Fuente: Global Wind Atlas

3. El Salvador

GLOBAL WIND ATLAS
MEAN WIND SPEED AT 100m
EL SALVADO



This map is printed using the Global Wind Atlas online application website (v3.1) owned by the Technical University of Denmark. For more information and terms of use, please visit <https://globalwindatlas.info>

Ilustración 72: Mapa vientos El Salvador. Fuente: Global Wind Atlas

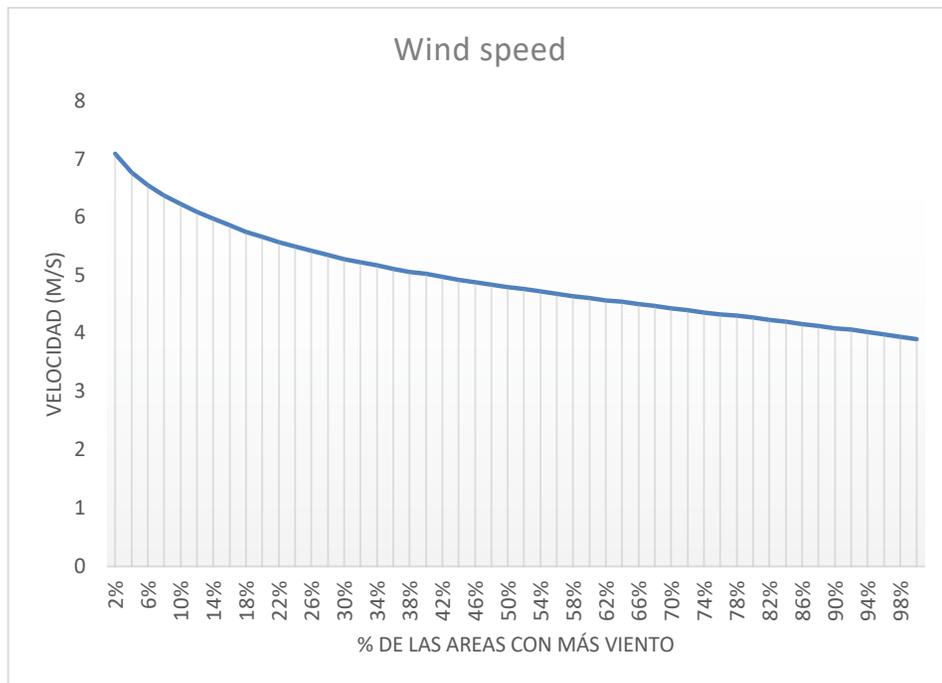


Ilustración 73: Velocidad media de viento El Salvador. Fuente: Global Wind Atlas

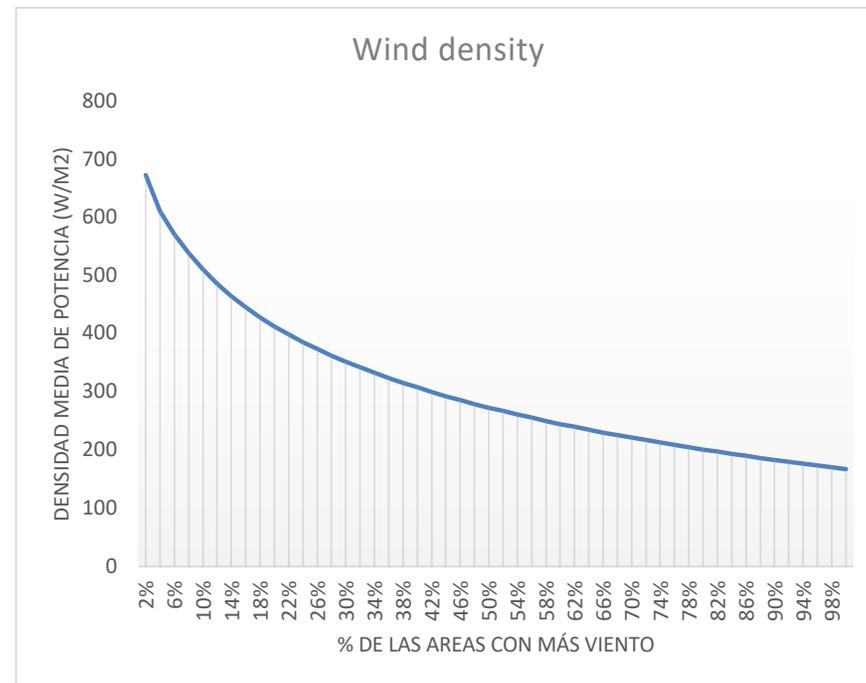
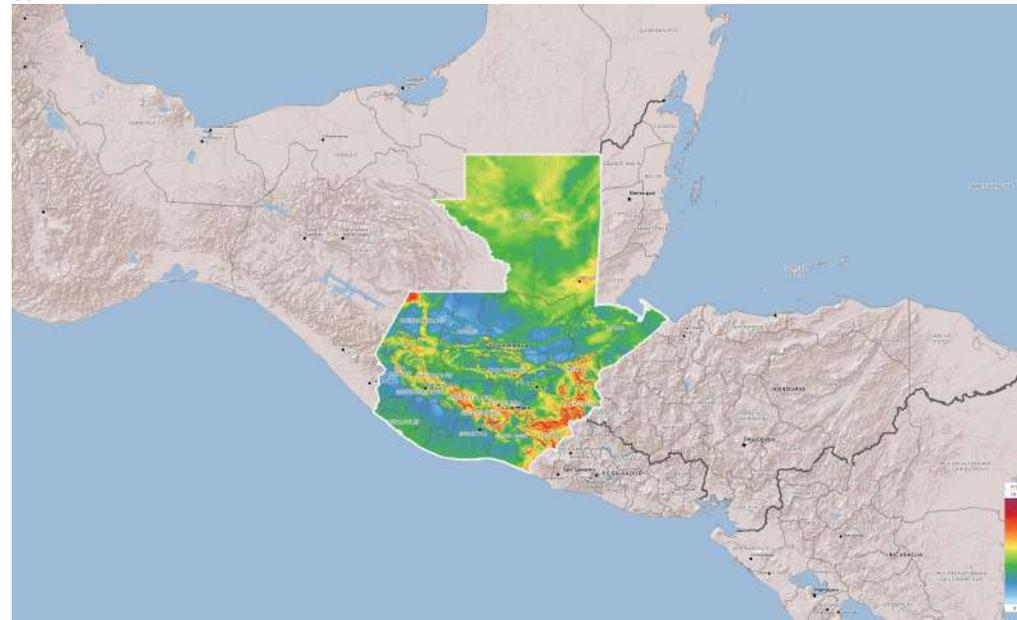


Ilustración 74: Densidad media de viento El Salvador. Fuente: Global Wind Atlas

4. Guatemala

GLOBAL WIND ATLAS
MEAN WIND SPEED AT 100m
GUATEMALA



This map is printed using the Global Wind Atlas online application website (v3.1) owned by the Technical University of Denmark. For more information and terms of use, please visit <https://globalwindatlas.info>

Ilustración 75: Mapa vientos Guatemala. Fuente: Global Wind Atlas

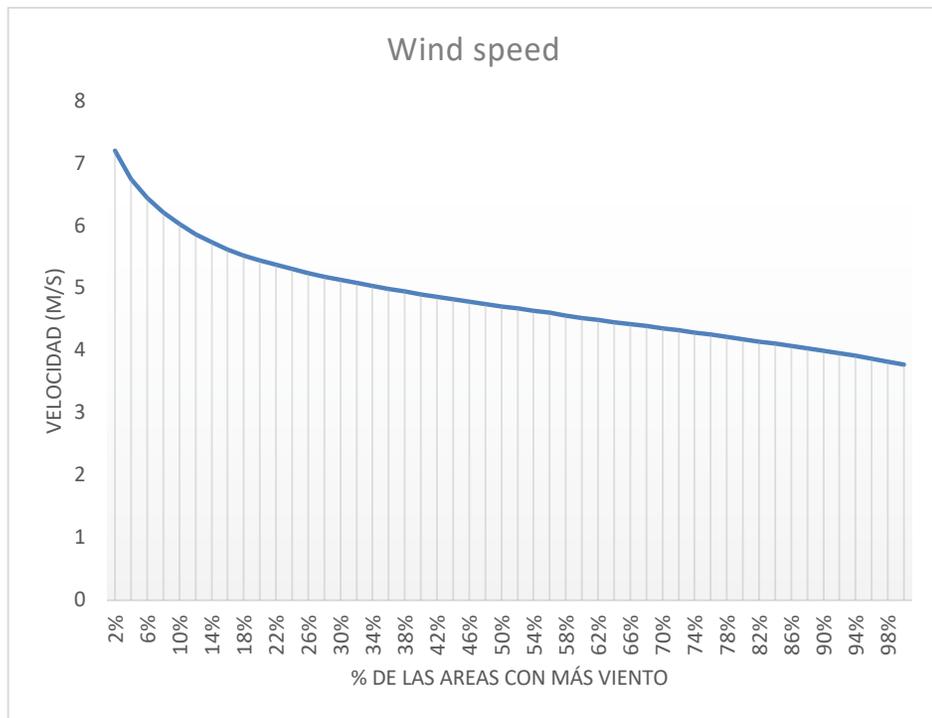


Ilustración 76: Velocidad media de viento Guatemala. Fuente: Global Wind Atlas

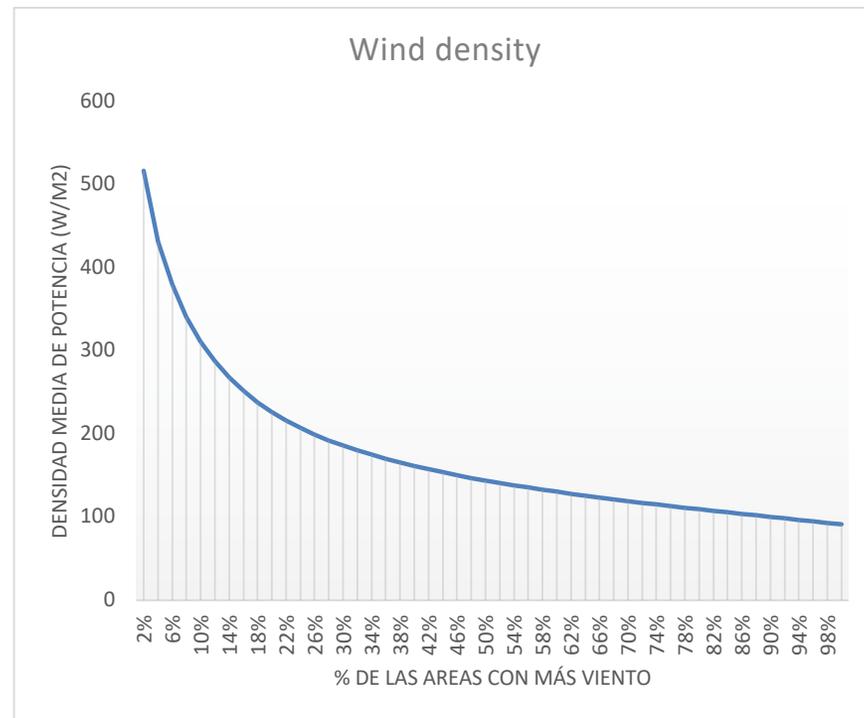
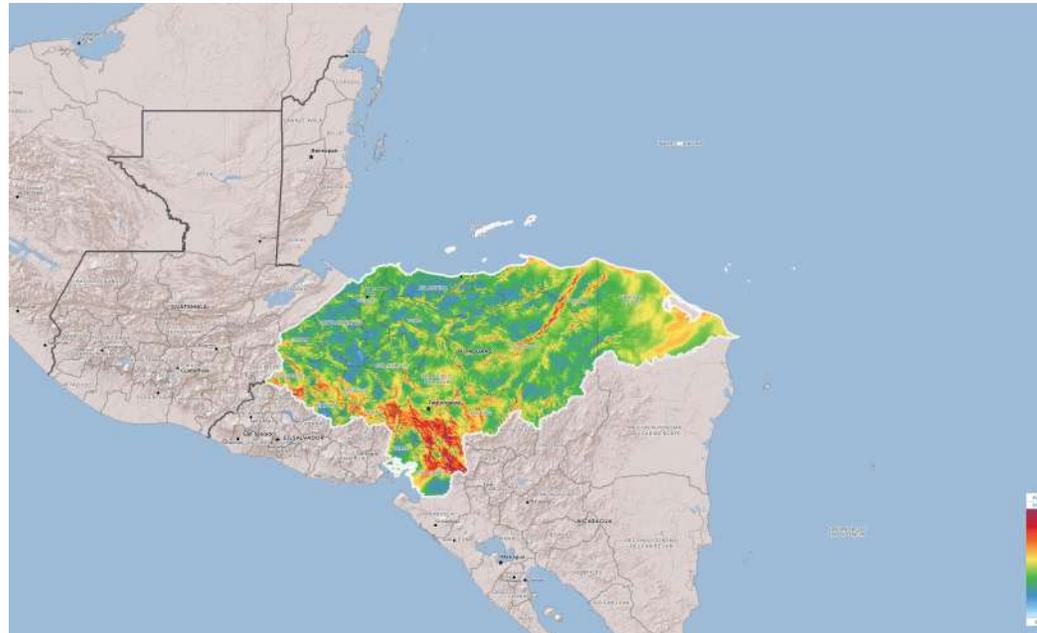


Ilustración 77: Densidad media de viento Guatemala. Fuente: Global Wind Atlas

5. Honduras

GLOBAL WIND ATLAS
MEAN WIND SPEED AT 100m
HONDURA



This map is printed using the Global Wind Atlas online application website (v.3.1) owned by the Technical University of Denmark. For more information and terms of use, please visit <https://globalwindatlas.info>

Ilustración 78: Mapa vientos Honduras. Fuente: Global Wind Atlas

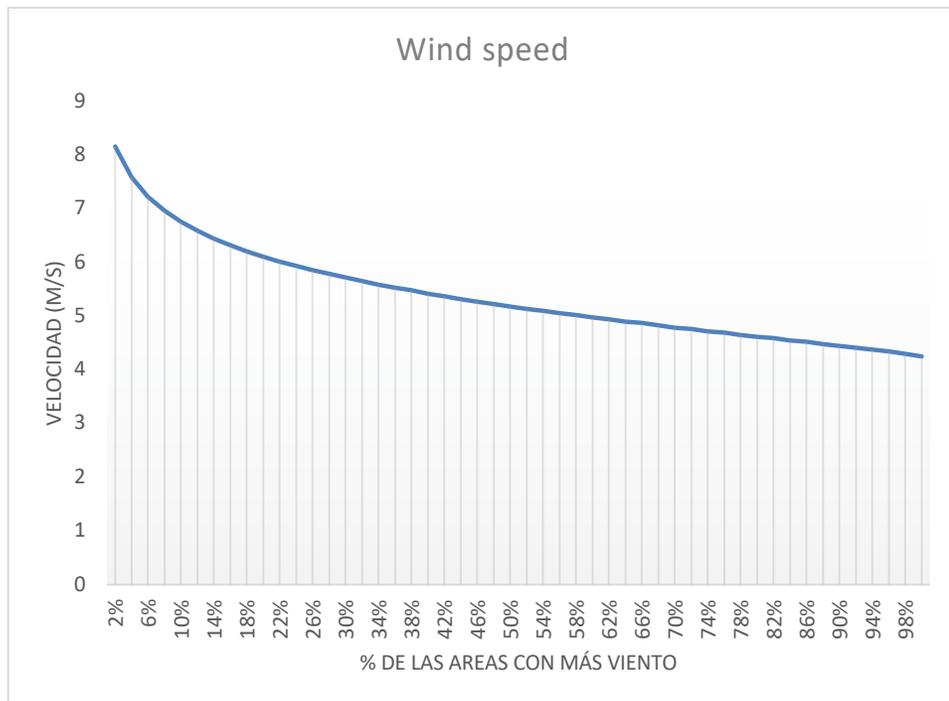


Ilustración 79: Velocidad media de viento Honduras. Fuente: Global Wind Atlas

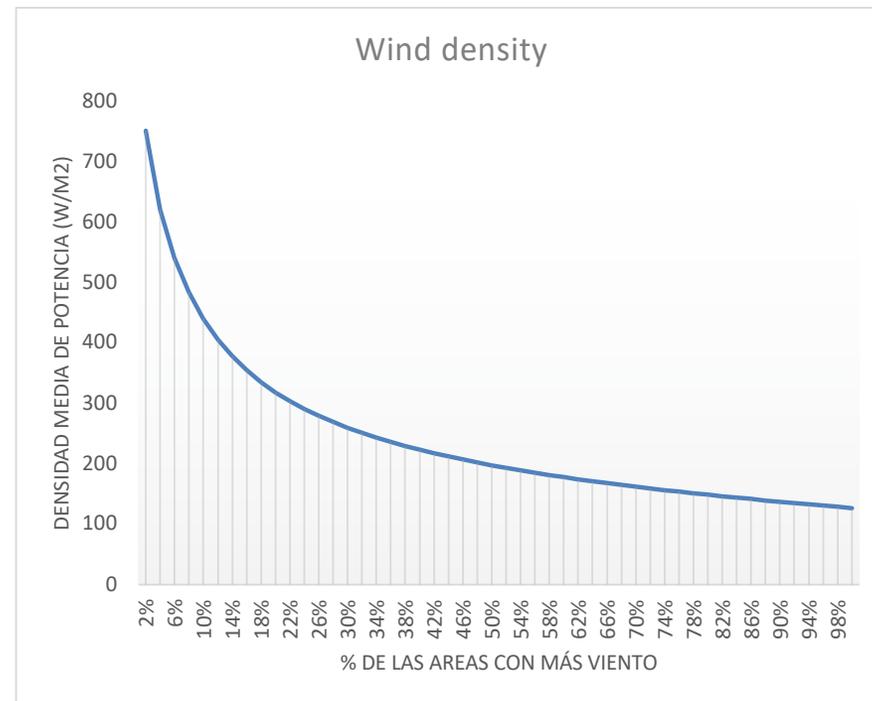


Ilustración 80: Densidad media de viento Honduras. Fuente: Global Wind Atlas

6. Nicaragua

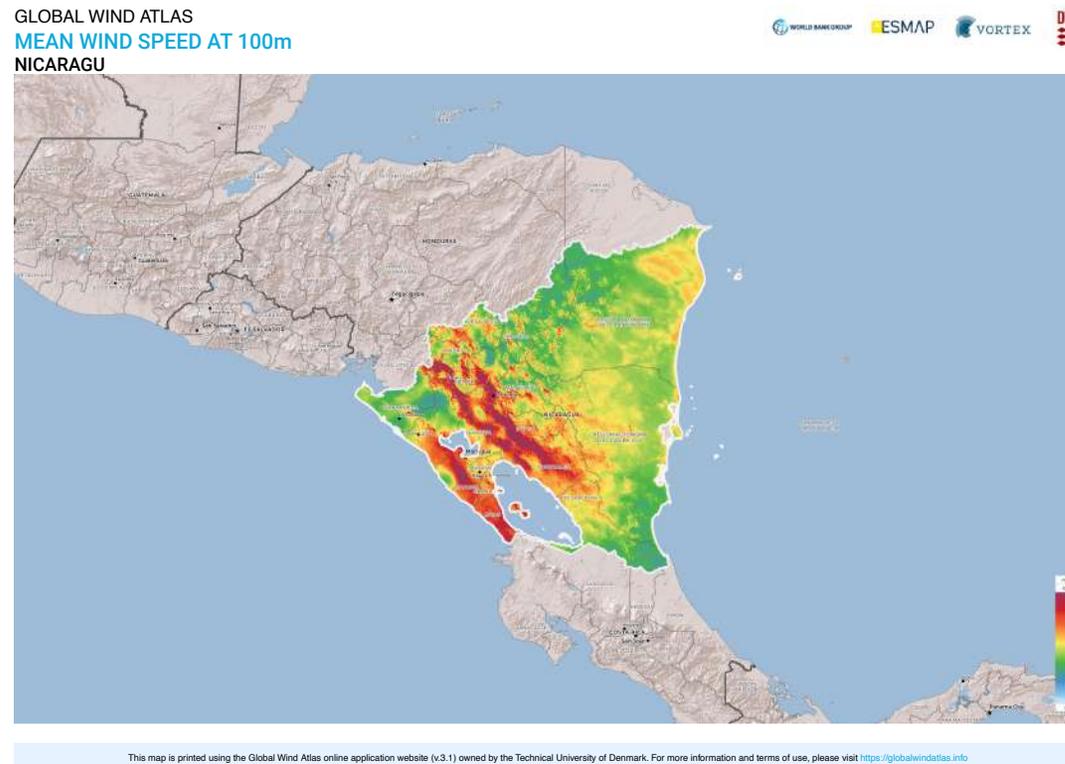


Ilustración 81: Mapa vientos Belice. Fuente: Global Wind Atlas

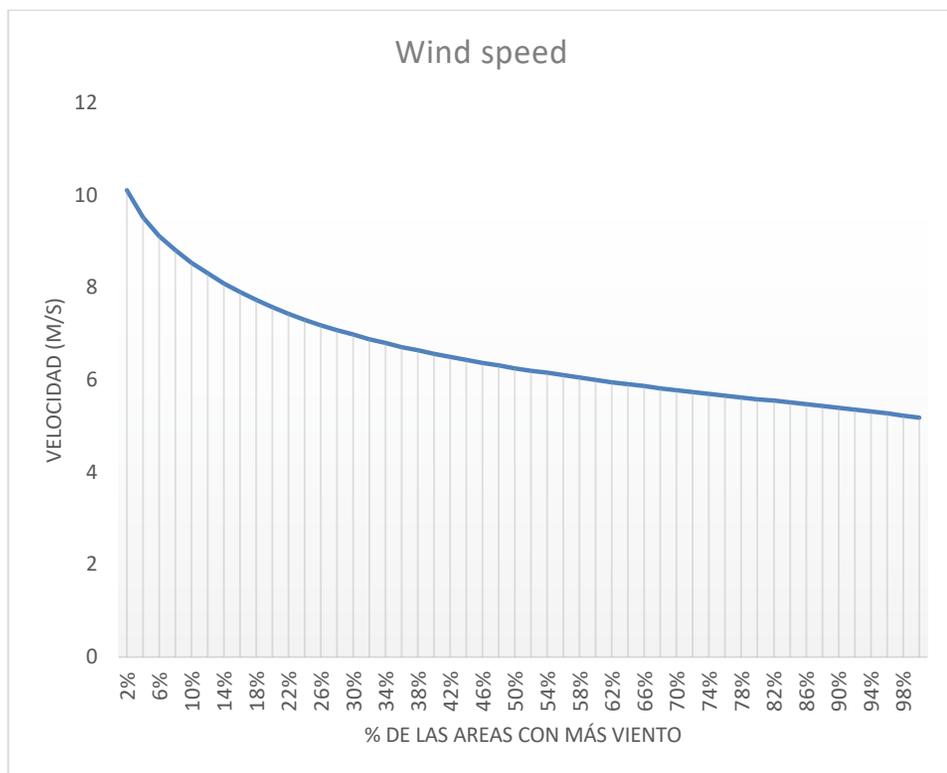


Ilustración 82: Velocidad media de viento Nicaragua. Fuente: Global Wind Atlas

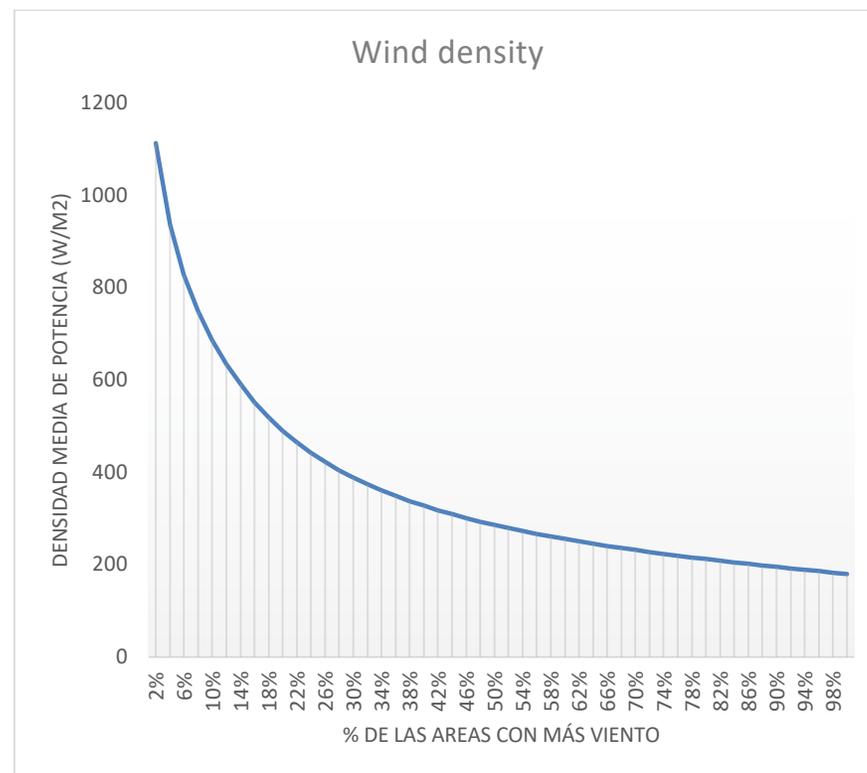


Ilustración 83: Densidad media de viento Nicaragua. Fuente: Global Wind Atlas

ANEXO IV: PILLARS OF PROSPERITY

LEGATUM INSTITUTE

The pillars of prosperity at a glance



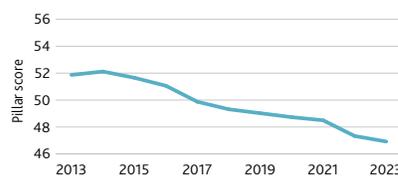
The **Safety and Security** pillar measures the degree to which war, conflict, and crime have destabilised the security of individuals, both immediately and through longer-lasting effects.



Safety and Security deteriorated then improved over the last 10 years. Terrorism incidents increased, then fell in the last 5 years. Politically related terror and conflict has also improved.



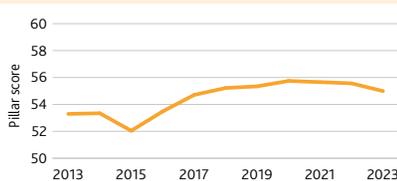
The **Personal Freedom** pillar measures progress towards basic legal rights, and individual liberties.



Personal Freedom has deteriorated the most of any pillar over the last 10 years. This is due to increasing restrictions on freedom of assembly and association, and freedom of speech.



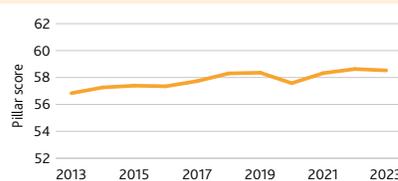
The **Investment Environment** pillar measures the extent to which investments are adequately protected and are readily accessible.



Property rights and financing ecosystems have improved. Investor protections have improved as a result of better shareholder governance, conflict of interest, and insolvency regulation.



The **Enterprise Conditions** pillar measures the degree to which regulations enable businesses to start, compete, and expand.



The burden of regulation has improved over the last 10 years, with the percentage of time senior managers spend complying with regulations and the time to obtain a construction permit falling.



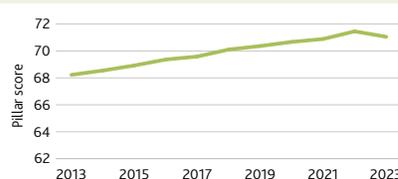
The **Living Conditions** pillar measures the degree to which a reasonable quality of life is experienced by all, including material resources, shelter, basic services, and connectivity.



There has been an improvement in basic services, connectedness, material resources and protection from harm. Access to basic sanitation services has increased from 67% to 78% of people.



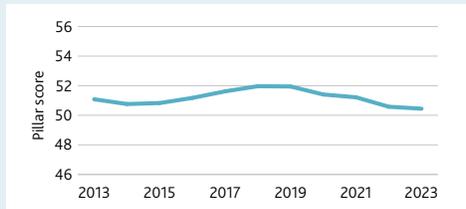
The **Health** pillar measures the extent to which people are healthy and have access to the necessary services to maintain good health, including health outcomes, health systems, illness and risk factors, and mortality rates.



Health has continued to improve with rising life expectancy and better care systems across the world. For example, under-5 mortality has fallen from 38 to 26 deaths per 1,000 children.



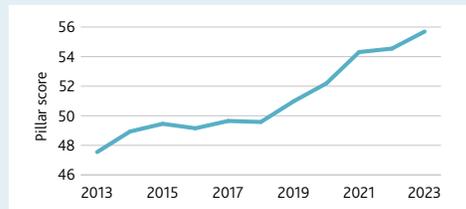
The **Governance** pillar measures the extent to which there are checks and restraints on power and whether governments operate effectively and without corruption.



Governance has seen a slight decline over 10 years, primarily due to deteriorating executive constraints, political accountability, and rule of law.



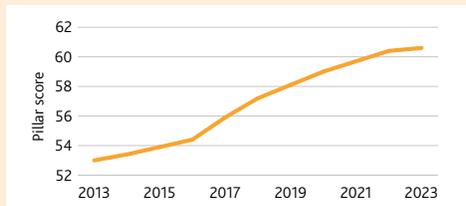
The **Social Capital** pillar measures the strength of personal and social relationships, social norms, civic participation in a country, and social tolerance.



Social tolerance, interpersonal trust, and civic and social participation have been improving, with more people saying their area is a good place for ethnic minorities and migrants to live.



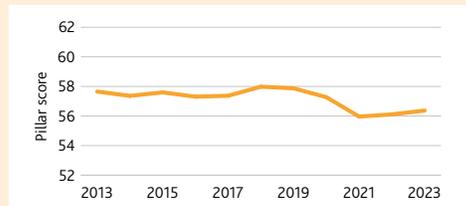
The **Infrastructure and Market Access** pillar measures the quality of the infrastructure that enables trade, and distortions in the market for goods and services.



Aside from improving communications, where the proportion of people using the internet has doubled from 29% to 59%, border administration and open market scale have improved.



The **Economic Quality** pillar measures how well an economy is equipped to generate wealth sustainably and with the full engagement of the workforce.



Fiscal sustainability has seen one of the largest deteriorations and GDP per capita growth has halved over 10 years. However, the number of new businesses and patent applications has risen.



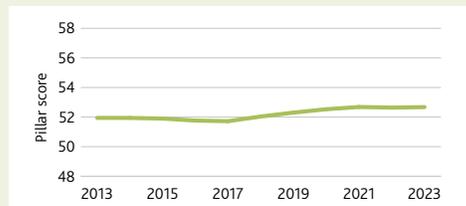
The **Education** pillar measures enrolment, outcomes, and quality across four stages of education (pre-primary, primary, secondary, and tertiary education), as well as the skills in the adult population.



Leading up to the pandemic there was increasing enrolment in pre-primary education and tertiary education. Lower secondary completion was also rising.



The **Natural Environment** pillar measures the aspects of the physical environment that have a direct effect on people in their daily lives and changes that might impact the prosperity of future generations.



There are more protected areas than 10 years ago, and satisfaction with preservation efforts has risen from 51% to 62%. However, emissions have increased, alongside exposure to pollution.