

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

**Planteamiento de un parque eólico marino en la costa  
peruana: regiones de Ica, Piura y La Libertad**

Tesis para optar por el título de Ingeniero Civil, que presenta el bachiller:

**Miguel Angel Bojorquez Chavez**

**ASESOR: PhD. Ian Vázquez Rowe**

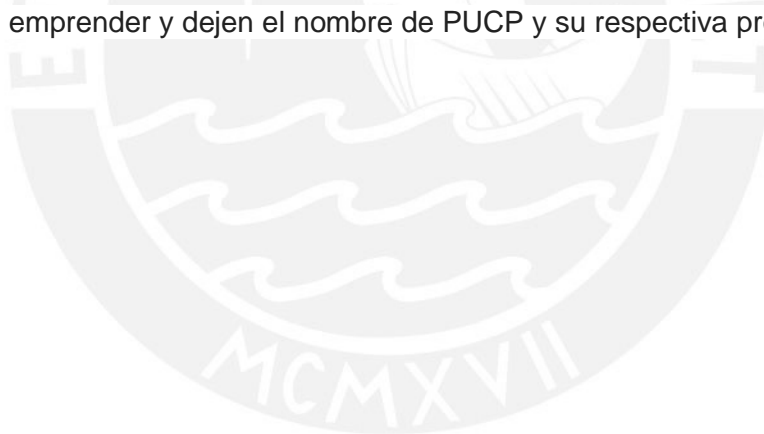
Lima, noviembre de 2018.

## **Agradecimientos**

En primer lugar, quiero agradecer a mis padres por todo el esfuerzo que realizaron para que pueda terminar mis estudios en la PUCP. En especial, quisiera agradecer a mi madre Sonia por todo el apoyo brindado y por enseñarme a amar mi carrera como ella lo hizo con su profesión en vida. Del mismo modo, a mi padre Miguel y a mi hermano Daniel, quienes me apoyaron emocionalmente y entendieron el sacrificio de la carrera.

En segundo lugar, quiero agradecer a mi asesor Ian Vázquez Rowe por el apoyo académico en el desarrollo de la presente tesis y por inducirme en el mundo de la investigación a través del curso: Fundamentos de Ingeniería Ambiental. Espero que esta relación académica y amical se siga manteniendo por el desarrollo de más investigaciones que aporten al desarrollo sostenible del Perú.

Por último y no menos importante, quisiera agradecer a todas las amistades que conocí durante mi paso por la Universidad e influyeron en mí tanto en lo personal como en lo profesional. Asimismo, quisiera agradecer al grupo Civilízate por mostrarme el camino de las diversas especialidades de la ingeniería civil desde un enfoque crítico. Sin más que agregar, espero que les vaya bien en el camino que decidan emprender y dejen el nombre de PUCP y su respectiva profesión en lo más alto.



## Resumen

Palabras claves: calentamiento global, ciclo de vida<sup>1</sup>, energía eléctrica, energías renovables, gases de efecto invernadero y parque eólico.

El sector energía es uno de los principales causantes del calentamiento global, debido a la gran cantidad de gases de efecto invernadero que se generan por la quema de combustibles fósiles y las emisiones fugitivas<sup>2</sup>. De esta manera, las energías renovables (solar, hidráulica, geotérmica, mareomotriz, biomasa, y eólica) surgen como alternativas a las fuentes convencionales de generación eléctrica (carbón, petróleo y gas natural), pues no emiten GEI durante su operación, mas sí durante su ciclo de vida. Por ello, la implementación de estas fuentes energéticas en la matriz energética peruana permitirá mitigar la emisión de GEI a la atmósfera.

En tal sentido, se propone el planteamiento de un parque eólico marino como fuente de generación eléctrica limpia, el cual nos permitirá brindar electricidad a los hogares peruanos a partir de un recurso inagotable como el viento. Se espera que la implementación gradual de energías renovables para la producción de energía eléctrica contribuya a disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> eq generadas en este sector. De tal manera que el Perú pueda cumplir con las reducciones propuestas en la Contribución Nacional y los tratados internacionales de la COP.

---

<sup>1</sup> **Ciclo de vida:** evaluar los impactos ambientales del producto desde la cuna hasta la tumba. Es decir, desde su producción, procesamiento, transporte y operación (Pehnt, 2006).

<sup>2</sup> **Emisiones fugitivas:** Son generadas en la obtención de los combustibles primarios (petróleo, gas natural y carbón mineral) y la fabricación de combustibles secundarios como gasolina, GLP, diésel, GNV, entre otros (MINAM, 2016).

## **Abstract**

### **“Proposal of an offshore wind farm in the Peruvian coast: regions of Ica, Piura and La Libertad ”.**

Keywords: global warming, life cycle assessment, electric power, renewable sources, greenhouse gases and wind farm.

The energy sector is one of the main causes of global warming, due to the large amount of greenhouse gases generated by the burning of fossil fuels and fugitive emissions. In this way, renewable energies (solar, hydro, geothermal, tidal, biomass, and wind) emerge as alternatives to conventional sources of electricity generation (coal, oil and natural gas), since they do not emit GHG during their operation, but they do during its life cycle. Therefore, the implementation of these sources in the peruvian energy matrix will help to mitigate the emission of greenhouse gases into the atmosphere.

In this sense, it is proposed the proposal of an offshore wind farm as a source of clean electric energy, which will provide electricity at peruvian homes from an inexhaustible resource such as wind. It is expected that the gradual implementation of renewable energies for the production of electrical energy will contribute to reduce CO<sub>2</sub> eq emissions generated in this sector. In this way, Peru could accomplish with the reductions proposed in the National Contribution and the international agreements from COP.



## ÍNDICE

Índice de figuras .....	iii
Índice de tablas.....	iv
Índice de abreviaturas y siglas .....	v
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Problemática .....	2
1.2. Objetivo general .....	2
1.3. Objetivos específicos.....	2
1.4. Alcances y limitaciones.....	2
1.5. Justificación e hipótesis de la investigación .....	3
1.6. Descripción de la metodología.....	3
<b>CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA .....</b>	<b>4</b>
2.1. Situación de la energía eléctrica a nivel mundial .....	4
2.2. Generación de electricidad con energías convencionales y renovables .....	4
2.2.1. Energías convencionales.....	4
2.2.1.1. El carbón.....	5
2.2.1.2. El petróleo.....	5
2.2.1.3. El gas natural .....	5
2.2.1.4. Energía nuclear.....	5
2.2.2. Energías renovables.....	5
2.2.2.1. Energía Solar .....	6
2.2.2.2. Energía Hidráulica.....	6
2.2.2.3. Energía Geotérmica .....	6
2.2.2.4. Energía Mareomotriz.....	6
2.2.2.5. Biomasa.....	6
2.2.2.6. Energía Eólica.....	7
2.2.3. Antecedentes de la energía eólica en el mundo .....	7
2.2.3.1. Diferencias entre la energía eólica terrestre y marina.....	7
2.2.3.2. Evolución de la energía eólica en el mundo .....	11
i. Europa .....	13
ii. Asia.....	14
iii. El Pacífico.....	15
iv. África .....	15
v. América del Norte .....	16
vi. Latinoamérica y El Caribe .....	17
2.3. Situación de la energía eléctrica en el Perú.....	18
2.3.1. Evolución de la energía eléctrica .....	18

2.3.2. Escenarios de mitigación del cambio climático .....	21
2.3.2.1. Inventario de emisiones de GEI en el sector energía .....	23
2.3.3. Recursos Energéticos Renovables .....	25
2.3.3.1. Centrales hidroeléctricas .....	25
2.3.3.2. Centrales solares .....	26
2.3.3.3. Centrales eólicas.....	27
<b>CAPÍTULO 3. MARCO LEGAL DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVABLES EN EL PERÚ.....</b>	<b>30</b>
3.1. Normativas de implementación de recursos energéticos renovables .....	30
3.1.1. Promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables .....	30
3.1.2. Reglamento de la generación de electricidad con energías renovables.....	30
3.1.3. Ley orgánica para el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales .....	30
3.2. Normativa de intervención en zonas marino costeras y áreas naturales...31	
3.2.1. Lineamientos para el manejo integrado de las zonas marino costeras.....	31
3.2.2. Ley de Áreas Naturales Protegidas .....	31
<b>CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA.....</b>	<b>32</b>
4.1. Selección del emplazamiento .....	32
4.1.1. Planteamiento 1: Zona costera de la región Ica.....	34
4.1.2. Planteamiento 2: Zona costera de la región Piura .....	37
4.1.3. Planteamiento 3: Zona costera de la región La Libertad .....	38
4.2. Ubicación del emplazamiento planteado.....	39
4.2.1. Zona marina de la provincia de Nazca.....	40
4.2.2. Zona marina de la provincia de Talara.....	42
4.2.3. Zona marina de la provincia de Pacasmayo .....	44
<b>CAPÍTULO 5. ANÁLISIS Y RESULTADOS DE CASOS PLANTEADOS.....</b>	<b>46</b>
5.1. Análisis del potencial eólico .....	46
5.2. Comparativo de inversión entre un parque eólico terrestre y marino .....	48
5.3. Análisis de impacto ambiental en las fuentes de energía eléctrica.....	50
<b>CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>54</b>
6.1. Evaluación de la producción eólica.....	54
6.2. Evaluación de la inversión total estimada en los parques eólicos .....	54
6.3. Evaluación de la huella de carbono en las fuentes de energía eléctrica ...	55
<b>CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS .....</b>	<b>56</b>
7.1. Conclusiones .....	56
7.2. Comentarios .....	57

**Índice de figuras**

Figura 1: Crecimiento del rotor de las turbinas eólicas con el tiempo..... 8

Figura 2: (a) Cimentación por gravedad, (b) con monopilote y (c) con cubos de succión. ....10

Figura 3: (d) Cimentación enrejada, (e) de 3 pilotes y (f) trípode. ....10

Figura 4: (g) Cimentación flotador, (h) con plataforma y cables de tensión, y (i) semisumergible.....10

Figura 5: Potencia eólica anual instalada en el mundo en los años 2001-2017. ....11

Figura 6: Potencia eólica acumulada en el mundo en los años 2001-2017.....12

Figura 7: Mercado anual eólico por región 2017-2021.....12

Figura 8: Potencia eólica instalada en el mundo.....13

Figura 9: Distribución de potencia eólica instalada en Europa. ....14

Figura 10: Distribución de potencia eólica instalada en África. ....16

Figura 11: Distribución de potencia eólica instalada en Latinoamérica y El Caribe. 17

Figura 12: Evolución de la energía eléctrica, hidráulica y térmica en el Perú. ....18

Figura 13: Evolución de la energía eólica y solar en el Perú.....19

Figura 14: Participación de las fuentes energéticas según su potencia instalada. ..19

Figura 15: Participación de las fuentes energéticas según la producción. ....20

Figura 16: Distribución de energía eléctrica por subsectores.....21

Figura 17: Escenarios de mitigación del cambio climático en el Perú.....22

Figura 18: Inventario de emisiones de GEI por sectores en el Perú.....24

Figura 19: Mapa Eólico Nacional Anual a una altura de 100 m.....32

Figura 20: Zona de Reserva Nacional de Paracas en Pisco. ....35

Figura 21: Reserva Nacional de San Fernando en Nazca. ....36

Figura 22: Zona reservada Punta San Juan.....36

Figura 23: Reserva Nacional de Illescas.....37

Figura 24: Plataforma de la aplicación Web-GIS.....39

Figura 25: Ubicación del emplazamiento marino en Nazca.....40

Figura 26: Vista satelital del emplazamiento marino en Nazca. ....41

Figura 27: Ubicación del emplazamiento marino en Piura. ....42

Figura 28: Vista satelital del emplazamiento marino en Talara. ....43

Figura 29: Ubicación del emplazamiento marino en La Libertad. ....44

Figura 30: Vista satelital del emplazamiento marino en Pacasmayo.....45

Figura 31: Gráfico de velocidades según el emplazamiento. ....	47
--	----

### Índice de tablas

Tabla 1: Distribución de potencia eólica instalada en Asia. ....	14
Tabla 2: Distribución de potencia eólica instalada en El Pacífico. ....	15
Tabla 3: Distribución de potencia eólica instalada en América del Norte. ....	16
Tabla 4: Total de emisiones de GEI en el sector energía y eléctrico. ....	24
Tabla 5: Estimación del potencial hidroeléctrico en el Perú (MW). ....	26
Tabla 6: Potencial solar en el Perú. ....	26
Tabla 7: Centrales solares en el Perú. ....	27
Tabla 8: Potencia instalada y producción anual de las centrales solares. ....	27
Tabla 9: Estimación del potencial eólico en el Perú. ....	28
Tabla 10: Centrales eólicas en el Perú. ....	28
Tabla 11: Parques eólicos en operación y adjudicación en el Perú. ....	29
Tabla 12: Distribución de energía en los parques eólicos del Perú. ....	46
Tabla 13: Producción eólica esperada para una turbina según emplazamiento. ....	47
Tabla 14: Distribución de energía en parques eólicos marinos planteados. ....	48
Tabla 15: Características de inversión según el tipo de proyecto eólico. ....	48
Tabla 16: Análisis de inversión de los P.E. terrestres ejecutados. ....	49
Tabla 17: Comparación de monto total estimado para los P.E. ejecutados. ....	49
Tabla 18: Análisis de inversión de los P.E. marinos planteados. ....	49
Tabla 19: Comparación del monto total estimado según el N° de turbinas. ....	50
Tabla 20: Huella de carbono según fuente energética. ....	51
Tabla 21: Huella de carbono del mix eléctrico peruano y a nivel mundial. ....	51
Tabla 22: Huella de carbono según el parque eólico a evaluar. ....	52
Tabla 23: Huella de carbono de los parques eólicos terrestres en el Perú. ....	52
Tabla 24: Emisión de CO <sub>2</sub> eq según fuente energética y emplazamiento marino. ...	52
Tabla 25: Factor de emisión de CO <sub>2</sub> eq. para el sector eléctrico peruano. ....	53
Tabla 26: Emisión de CO <sub>2</sub> eq según la producción de energía eólica y solar. ....	53
Tabla 27: Reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> eq en el sector eléctrico peruano. ....	53



## Índice de abreviaturas y siglas

A – Área  
ACV – Análisis de Ciclo de Vida  
AEE – Asociación Empresarial Eólica  
BAU – Business as Usual  
CE – Central Eólica  
C.H. – Central Hidroeléctrica  
CH<sub>4</sub> – Metano  
CII – Capital Inicial de Inversión  
CR – Congreso de la República  
COES – Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional  
CONCYTEC – Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica  
COP – Conferencia de las Partes  
CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono  
EIA – Estudio de Impacto Ambiental  
EM – Energía y Minas  
eq – equivalente  
EE.UU – Estados Unidos  
FAP – Fuerza Aérea del Perú  
GEI – Gases de Efecto Invernadero  
GIS – Geographic Information System  
GLP – Gas Licuado de Petróleo  
GNF – Gas Natural Fenosa  
GNV – Gas Natural Vehicular  
GW – Gigawatt  
GWEC – Global Wind Energy Council  
GWh – GigaWatt hora  
ha – hectárea  
INEI – Instituto de Estadística e Informática  
IIRSA – Iniciativa para la Integración de la Infraestructura Regional Sudamericana  
kg – kilogramo  
km – kilómetro  
kW – kilowatts  
kWh – kilowatts hora  
m – metros  
m<sup>2</sup> – metros cuadrados

m/s – metros por segundo  
MM – Millones  
MINAM – Ministerio del Ambiente  
MINEM – Ministerio de Energía y Minas  
m.s.n.m. – metros sobre el nivel del mar  
MW – Megawatts  
MWh – MegaWatt hora  
OCDE – Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico  
ONG – Organización No Gubernamental  
ONU – Organización de las Naciones Unidas  
Osinergmin – Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería  
P – Potencia  
PBI – Producto Bruto Interno  
PEA – Producción Eólica Anual  
PE – Parque Eólico  
PlanCC – Planificación ante el Cambio Climático  
PNUD – Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo  
RBS – Required by Science  
RER – Recursos Energéticos Renovables  
S – South (Sur)  
S.A.C – Sociedad Anónima Cerrada  
SE – Subestación Eléctrica  
SEIN – Sistema Eléctrico Interconectado Nacional  
SERNANP – Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado  
SINANPE – Sistema Nacional de Áreas Protegidas por el Estado  
SPDA – Sociedad Peruana de Derecho Ambiental  
S.R.L – Sociedad de Responsabilidad Limitada  
TLP – Tension Leg Platform  
ton CO<sub>2</sub> eq – toneladas de dióxido de carbono equivalente  
USCUSS – Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura  
USGS – United States Geological Service  
W – Watts  
W – West (Oeste)  
WRF – Weather Research and Forecasting model  
WWEA – World Wind Energy Association

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Los combustibles fósiles son los principales recursos energéticos empleados en todo el mundo. Sin embargo, su consumo es limitado y el empleo de estos en gran magnitud está asociado a los cambios climáticos que vienen sucediendo a escala global (Hernández-Escobedo et al., 2010). De esta manera, lo que se busca es el aprovechamiento de los recursos disponibles en la naturaleza, sin alterar el equilibrio de la misma (Merino, 2003). Es decir, se aprovechan los recursos una y otra vez, pues la naturaleza los regenera constantemente.

En tal sentido, se debe optar por la aplicación de fuentes renovables que aprovechen los recursos naturales tales como el sol, las olas del mar, la caída de los ríos, el calentamiento interno de la Tierra y el viento (Cueva, 2011).

La utilización del viento como un recurso para la generación de energía tuvo sus primeras aplicaciones a mediados del siglo XIV. Tal es el caso de los molinos para la extracción de agua de los ríos y lagos, así como los molinos de viento para la molienda de los cereales, las sales y minerales (Fundación Integra, 2016). Estos tuvieron su apogeo en muchos campos agrícolas de España, Holanda y Estados Unidos, los cuales ayudaron a plantear el diseño de lo que hoy en día son los aerogeneradores para la generación de la electricidad (Posso, 2002).

Una de las fuentes que aprovecha al viento como recurso natural es la energía eólica, pues emplea la fuerza del viento para la generación de electricidad por medio de aerogeneradores (Santamarta, 2004). Asimismo, viene siendo aplicada en países de la región como Brasil, México, Chile, Uruguay, Argentina, Perú, Ecuador, Venezuela, Bolivia y Colombia (Global Wind Energy Council, 2015). Al año 2018, existen 5 parques eólicos a lo largo de la costa peruana ubicados en las regiones de Ica, Piura y La Libertad quienes suman una potencia instalada de 364 MW<sup>3</sup>. Beneficiando a más de 710'000 hogares al año en todo el Perú con energía eléctrica limpia (Osinergmin, 2017).

De esta manera, el presente trabajo de investigación pretende mostrar cuán favorables son los vientos en la franja costera del Perú, ya que la zona costera del Perú presenta un potencial eólico aprovechable de 20'493 MW (Atlas Eólico del Perú, 2016). No obstante, solo se aprovecha el 2% de esta.

Por ello, se plantea el aprovechamiento de los vientos marinos y la posibilidad de plantear un parque eólico sobre mar peruano. Buscando promover la contribución en

---

<sup>3</sup> **Watt (W):** unidad de medida de la potencia eléctrica que cuantifica la cantidad de energía que se consume, produce o traslada en una unidad de tiempo (Osinergmin, 2014).

la mitigación del calentamiento global. Debido a que las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por el sector energía incluyendo al sector transporte representan una de las principales causantes del cambio climático (IPCC, 2011). Además, este sector es quien presenta un mayor volumen de emisiones de GEI con un 42% a nivel mundial (Osinermin, 2014) y un 26% en nuestro país (MINAM, 2016).

### 1.1. Problemática

La industria energética es una de las principales causantes del calentamiento global, debido a la gran cantidad de gases de efecto invernadero que se emiten por la quema de combustibles fósiles y las emisiones fugitivas para la generación de electricidad (IPCC, 2011). Asimismo, el inventario nacional de GEI reportó que entre los años 2000-2012, el sector energía presentó un aumento de emisiones del 38%, equivalente a 10 millones de ton CO<sub>2</sub> eq (PlanCC, 2016).

### 1.2. Objetivo general

Promover la generación de electricidad sostenible, empleando como fuente renovable la energía eólica marina y determinar su potencial aprovechamiento para el caso de estudio en las regiones de Ica, Piura y La Libertad.

### 1.3. Objetivos específicos

- Conocer el marco legislativo peruano que regula la aplicación de las energías renovables y la intervención de los espacios marinos.
- Plantear las condiciones de idoneidad que se presentan en la zona costera-marina de las regiones de Ica, Piura y La Libertad para el desarrollo de la energía eólica marina.
- Cuantificar la producción de energía eléctrica que se puede obtener en los emplazamientos marinos planteados mediante la aplicación Web-GIS.
- Analizar la inversión total estimada entre los parques eólicos existentes y la construcción de un parque eólico marino en los emplazamientos planteados.
- Cuantificar la huella de carbono presente en el ciclo de vida de las energías renovables y las fuentes convencionales de generación de energía eléctrica.

### 1.4. Alcances y limitaciones

La presente tesis pretende mostrar el potencial eólico presente en la costa peruana, especialmente en las regiones de Ica, Piura y La Libertad. De tal manera que se puedan desarrollar proyectos energéticos sostenibles en el tiempo. Por tal motivo, se busca plantear un parque eólico marino en alguna de las regiones mencionadas, debido a la gran intensidad de vientos que presentan y podrían ser aprovechados por la fuente eólica.

Por otro lado, se realizará una comparación de costos de inversión entre los parques eólicos terrestres existentes y los parques eólicos marinos a plantear; mas no, una evaluación económica y financiera del planteamiento de un parque eólico. Adicionalmente, no se abordará el análisis estructural de una turbina eólica en un emplazamiento marino. Debido a la complejidad que involucraría una extensión mayor de líneas. Por ello, solo se detallarán las características de selección entre una u otra cimentación según la profundidad y características del espacio marino.

#### 1.5. Justificación e hipótesis de la investigación

La aplicación de las energías renovables es un camino sostenible para la generación de electricidad, pues nos brindan energía limpia a través de recursos inagotables como el viento, el sol, las olas del mar, la caída de los ríos y el calentamiento interno de la Tierra (Cueva, 2011). Por tal motivo, la implementación gradual de estas fuentes en la matriz energética peruana contribuirá a mitigar el calentamiento global, pues no emiten gases de efecto invernadero durante su operación (Merino, 2003). En tal sentido, se plantea como hipótesis que el aprovechamiento de las energías renovables (eólica, solar e hidráulica) presenta menor impacto ambiental que las fuentes convencionales (carbón, petróleo y gas natural) empleadas para la generación de energía eléctrica (PlanCC, 2016).

#### 1.6. Descripción de la metodología

Para seleccionar el emplazamiento de estudio, se emplearán los mapas eólicos a nivel nacional y por región presentes en el Atlas Eólico del Perú. De tal manera que podamos localizar las regiones y/o provincias con mayor potencial de vientos. Además, se requiere que las velocidades de viento promedio estén entre los 5 y 12 m/s para que sean aprovechados por la fuente eólica (Posso, 2002). Asimismo, el Atlas Eólico del Perú en su Capítulo 4.2 ha identificado criterios de localización para el desarrollo de futuros proyectos eólicos, los cuales nos servirán de apoyo para evaluar la ubicación del emplazamiento marino.

Por otro lado, la evaluación de la cercanía a las vías de acceso transitables, centros poblados, líneas y subestaciones eléctricas será determinada mediante la aplicación Web-GIS (2016) y el mapa del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (2018). Adicionalmente, se empleará la búsqueda por referenciación mediante Google Earth. Sin embargo, se debe tener en consideración que las posibles zonas costeras seleccionadas, no deben ser áreas protegidas por alguna institución gubernamental o no gubernamental según corresponda. Por ello, mediante la aplicación Web-GIS y los mapas del Sernanp se podrán visualizar las áreas marino-costeras protegidas que serán excluidas del área de estudio.

## **CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA**

### **2.1. Situación de la energía eléctrica a nivel mundial**

La generación de electricidad desde mucho tiempo se viene produciendo con fuentes convencionales tales como el carbón, el petróleo y/o el gas, cuya combustión produce dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), entre otros gases. Estos se quedan en la atmósfera y son un obstáculo para la salida de la radiación solar que ingresa a la superficie formando el llamado efecto invernadero. Por ello, son considerados gases de efecto invernadero (GEI), pues influyen en el cambio de temperatura del planeta Tierra. Los principales causantes de estas emisiones son la generación de energía eléctrica y el transporte (Merino, 2003).

A la fecha, se vienen realizando diversos compromisos entre todos los países que contribuyen al cambio climático del planeta. La COP (Conferencia de las partes), continuación de lo acordado en el Protocolo de Kyoto, tiene por finalidad que todos los países miembros se comprometan a disminuir las emisiones que generan sus actividades en la medida de lo que producen (ONU, 2014).

Según las estadísticas de energía al año 2017, se generaron alrededor de 32'294 millones de ton CO<sub>2</sub> eq a nivel mundial, 9'085 en China, 4'997 en EE.UU, 451 en Brasil, 442 en México, 191 en Argentina, 82 en Chile, 72 en Colombia y 49 en Perú (MINEM, 2016). En donde, el Perú representa el 0.15% de emisiones totales a nivel mundial. No obstante, debe presentar su Contribución Nacional, en el cual se expongan las medidas de mitigación de las emisiones de GEI al 2030 (MINAM, 2015).

### **2.2. Generación de electricidad con energías convencionales y renovables**

#### **2.2.1. Energías convencionales**

Según el Centro Común de Investigación de la Unión Europea, la combustión de los hidrocarburos representa el 90% de las emisiones totales de CO<sub>2</sub> en el mundo de los cuales los países desarrollados continúan siendo los principales responsables de la contaminación ambiental (Balsalobre-Lorente et al., 2018). Entre las fuentes energéticas convencionales se encuentran el carbón, el petróleo y el gas natural. Estos recursos son utilizados desde hace siglos y son los responsables de los efectos climáticos que vienen aconteciendo en el mundo (IPCC, 2011).

Por otro lado, la energía nuclear es empleada como fuente energética en países como Japón, Alemania y EE.UU, y representa un riesgo para la salud de las personas y el medio ambiente ante algún eventual desastre. Por ejemplo, la fuga ocurrida en la central nuclear de Fukushima (Japón) en el 2011 es una muestra de que la energía nuclear no solo presenta riesgos potenciales sino también consecuencias que son difíciles de controlar (Geng et al., 2018).

#### 2.2.1.1. El carbón

El carbón nace a partir de materia viva como plantas o animales que estaban vivos hace millones de años, por lo que permanecen en capas sólidas concentradas bajo la superficie terrestre o bajo el agua, de ahí el término de hidrocarburo. Los ferrocarriles que aparecieron en el siglo XIX fueron los principales consumidores de esta fuente. Actualmente, las industrias aprovechan su gran poder calorífico y lo emplean como fuente de energía, pese a que presenta un alto grado de contaminación (Caminada, 2016).

#### 2.2.1.2. El petróleo

Proveniente de la descomposición de animales y plantas acuáticas, enterradas en capas de barro y sal bajo la superficie terrestre y/o marina desde hace cientos de millones de años. Es un recurso importante para el transporte, el comercio y la industria. Asimismo, es uno de los productos dominantes en la economía actual y forma parte de nuestro patrón de desarrollo. Entre los productos derivados del petróleo conocemos al GNV, GLP, kerosene y el diésel (Gil, 2008).

#### 2.2.1.3. El gas natural

Se origina en la descomposición de sedimentos de materia orgánica, atrapada en estratos rocosos y es una mezcla de hidrocarburos como el metano, etano o butano. Luego de extraerlo, se puede transportar en fase gaseosa por gasoductos o en fase líquida por buques metaneros. Es empleado como fuente de calor en cocción, calefacción, procesos de secado, entre otros. Además como fuente primaria para la generación de energía eléctrica y combustible en vehículos (Amell-Arrieta, 2016).

#### 2.2.1.4. Energía nuclear

Es generada en las centrales nucleares en donde el reactor actúa como una caldera en el que se calienta agua en un circuito cerrado a gran presión. Para su operación se utilizan minerales como el uranio y plutonio como componentes. Estos reactores son de fisión, es decir, dividen un núcleo pesado en dos ligeros (Gil, 2008). Sin embargo, la principal controversia en la sociedad es su empleo para fines militares y el impacto medioambiental generado por la emisión de residuos radioactivos (García-Carmona & Criado, 2008).

#### 2.2.2. Energías renovables

La producción de las energías renovables ha tenido su impulso con los compromisos iniciados en el Protocolo de Kyoto (1997), tratado que promovió la implementación de las energías renovables a largo plazo. De tal manera que ha permitido realizar investigaciones multidisciplinarias, así como, plantear incentivos y políticas que permitan aprovechar los recursos naturales eficientemente (SgROI et al., 2018). Asimismo, estas fuentes de energía han tenido dificultad en ser aceptadas por

años debido a las discrepancias tecnológicas con el sistema eléctrico preexistente y al plan de incentivos que les permitan ser económicamente competitivas (Furlan & Mortarino, 2017). Sin embargo, la generación de energía eléctrica con fuentes renovables, tales como la energía solar, hidráulica, geotérmica, mareomotriz y eólica, ayudan a mitigar el impacto al medio ambiente, pues no producen gases de efecto invernadero durante su operación a diferencia de las fuentes convencionales (Pehnt, 2006). A continuación, se presentan algunas características de las fuentes renovables:

#### 2.2.2.1. Energía Solar

Captando de forma adecuada la radiación solar, esta puede transformarse en otras formas de energía como eléctrica y térmica. El primer tipo de energía se puede obtener empleando paneles fotovoltaicos, los cuales convierten la energía lumínica en electricidad. Mientras que la energía térmica es captada mediante el empleo de colectores solares que aprovechan directamente la energía solar (Gil, 2008).

#### 2.2.2.2. Energía Hidráulica

Esta fuente renovable es generada por la caída del agua de los ríos y la generación de electricidad depende del caudal que pasa a través de una turbina. No obstante, las grandes centrales hidroeléctricas generan un gran impacto ambiental. Debido a la alteración del territorio de la fauna y flora, pues dificultan la migración de peces, la navegación fluvial y el transporte de elementos nutritivos aguas abajo (Santamarta, 2004).

#### 2.2.2.3. Energía Geotérmica

Es el calor que se encuentra contenido en el interior de la Tierra. Como consecuencia de este calentamiento, las aguas subterráneas pueden alcanzar temperaturas de ebullición capaces de calentar y accionar turbinas eléctricas (Gil, 2008). Según Méndez et al. (2011), la intensidad de calor se clasifica en recursos de baja entalpia (90-150°C), media entalpia (150-200°C) y alta entalpia (>200°C).

#### 2.2.2.4. Energía Mareomotriz

Llamada también energía marina o de los mares es generada por acción de las olas del mar, las mareas, la salinidad y la diferencia de temperaturas del océano. El constante movimiento de los océanos crea un almacén de energía cinética o energía en movimiento, aprovechable para generar electricidad en las viviendas, la industria y el transporte (Caminada, 2016).

#### 2.2.2.5. Biomasa

La biomasa es directamente producida por los residuos de vegetación y forestales, animales, industria agrícola y zonas urbanas. Los cuales pueden ser transformados mediante diferentes procesos en combustible gaseoso, líquido y



sólido. Si bien la biomasa es un recurso renovable, a diferencia de los demás recursos naturales, esta es una fuente que necesita de la quema para la generación de calor o energía. Entre ellos se encuentran la caña de azúcar, el almidón y aceites vegetales (Sonnino, 1994).

#### 2.2.2.6. Energía Eólica

Es la energía obtenida por la fuerza del viento, es decir, transforma esta fuerza cinética en mecánica y posteriormente en electricidad, mediante el movimiento de las aspas de la turbina eólica. Se presenta en las zonas terrestres y marinas, como parques o granjas que se encuentran integrados por un conjunto de aerogeneradores interconectados eléctricamente entre sí (Cueva, 2011).

#### 2.2.3. Antecedentes de la energía eólica en el mundo

##### 2.2.3.1. Diferencias entre la energía eólica terrestre y marina

Los parques eólicos terrestres presentan su cimentación sobre una superficie en tierra y la energía eléctrica es generada por los vientos en la misma zona. Mientras que los parques eólicos marinos se encuentran sobre una superficie marina y la energía es producida por los vientos del mar (Pérez-Collazo et al., 2015). En tal sentido, las turbinas eólicas marinas enfrentan un gran potencial de corrosión, ya que se encuentran expuestos al agua y las sales (Perveen et al., 2014). Asimismo, cabe señalar que algunos problemas sociales surgen con la presencia de los parques eólicos en la superficie terrestre. Debido al impacto visual y sonoro, a la alteración del hábitat de la fauna y flora, a la limitación del espacio en tierra y a las restricciones de ocupar áreas reservadas. No obstante, con la presencia de los parques eólicos marinos, gran parte de estos aspectos se agudizan (Zountouridou et al., 2015).

Por otro lado, se conoce que las turbinas eólicas marinas producen mayor energía eléctrica que las turbinas en tierra por MW instalado. Debido a la ubicación estratégica en la que se ubican, la cual brinda mejor continuidad y calidad de vientos (Enevoldsen & Valentine, 2016). Por ello, los tipos de cimentaciones que soportan un aerogenerador en el mar son más complejos, pues estos tienen que estar diseñados para una fuerza de viento mucho mayor que en la superficie terrestre y deben estar hechos con materiales que no afecten su durabilidad, es decir que no se desgasten con el paso del tiempo (Arshad & O'Kelly, 2013). Sin embargo, las turbinas marinas presentan un 20% más del costo que las terrestres, cuyo costo se ve compensado con un incremento en la productividad obtenido de los vientos en el mar (Colmenar-Santos, 2016).

El tamaño de la torre eólica y la potencia unitaria de la misma han ido en crecimiento con el pasar de los años (Wang et al., 2018). Es decir, el aumento de la potencia unitaria ha generado que el diámetro del rotor de la turbina se vea

incrementada para obtener una mayor producción de energía. A causa de ello, la altura de la misma también se ve afectada, ver Figura 1.

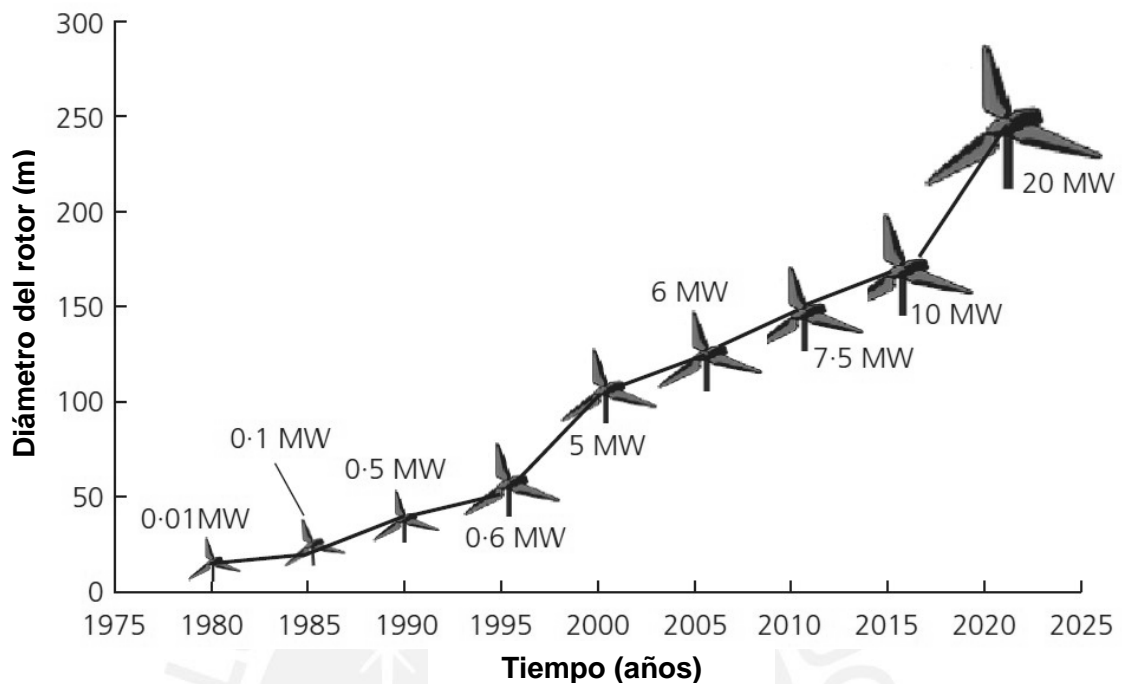


Figura 1: Crecimiento del rotor de las turbinas eólicas con el tiempo.  
Fuente: Arshad & O'Kelly (2013).

Otra diferencia que se presenta es la elección de la estructura de cimentación, pues las turbinas que se ubican en el mar padecen el constante contacto del mar, el cual genera oscilaciones y/o vibraciones en las mismas. Por tal motivo, la cimentación y subestructura a plantear en la zona marina debe comprender un análisis de fuerzas como el impacto de los barcos, las corrientes marinas, la erosión de la cimentación, el crecimiento del mar, la turbulencia del ambiente y de encendido, las cargas operacionales y accidentales (Arshad & O'Kelly, 2013).

Las cimentaciones que hoy en día existen para los aerogeneradores han sido modeladas y referenciadas en base al soporte que vienen usando las plataformas de extracción de petróleo y gas que se encuentran en el océano. Entre ellas la más empleada a nivel mundial es la plataforma con cables de tensión (TLP), la cual consiste en una plataforma flotante con cables de tensión en las profundidades de la superficie marina que restringe su movimiento vertical (API, 2017).

El sistema estructural de un aerogenerador está compuesto por un cimiento que penetra el suelo marino y una subestructura que se encuentra por encima del suelo marino. Ambos conforman el soporte estructural del aerogenerador.

La variación de profundidades conforme se va mar adentro es otro aspecto a considerar en la elección de una cimentación para un aerogenerador, pues cada tipo de soporte presenta características propias según el suelo de la superficie marina, la

profundidad del agua y las restricciones financieras (Arshad & O'Kelly, 2013). Entre los tipos de sistema estructural del aerogenerador (cimentación + subestructura) se encuentran los siguientes:

Por un lado, se encuentran los modelos para aguas poco profundas <sup>4</sup> como (a) la cimentación por gravedad, la cual consiste en la construcción de un bloque de concreto de gran peso, (b) la cimentación con monopilote que consiste en la penetración de un acero tubular de gran diámetro sobre suelo marino y (c) la cimentación con cubos de succión que consiste en un sistema innovador de bajo costo que se incrusta sobre el suelo marino (Ki-Yong Oh, et al., 2018).

Por otro lado, se encuentran los siguientes modelos para aguas profundas <sup>5</sup> como (d) la cimentación enrejada (jacket), la cual consiste en un armazón de barras de acero las cuales provienen del diseño de la extracción de gas y petróleo en el mar, (e) la cimentación con 3 pilotes, combinación de 3 pilotes que son penetrados en el suelo marino y convergen en una pieza de unión en la parte superior y (f) la cimentación trípode que consiste en una base trípode de barras tubulares de acero que soportan una pipeta de sección circular en el centro (Pérez-Collazo et al., 2015).

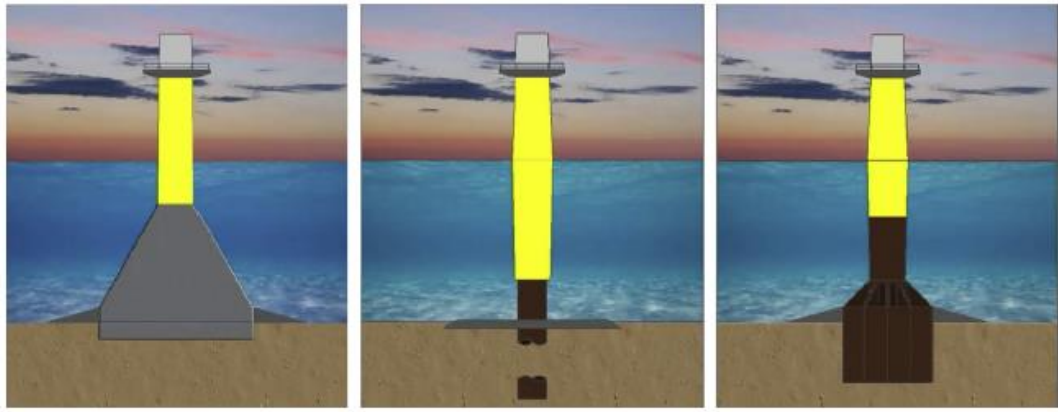
Por último, el mercado eólico ha diseñado los siguientes modelos para aguas de gran profundidad <sup>6</sup> como (g) la cimentación flotador, la cual consiste en un cilindro de acero flotante que soporta el peso de la turbina y para restringir su movimiento se sostiene de cables pretensados sobre el suelo marino, (h) la cimentación con plataforma y cables de tensión (TLP), plataforma sostenida por cables pretensados que disminuyen el movimiento del mar y (i) la cimentación con plataforma semi-sumergible, la cual consiste en columnas flotantes que brindan estabilidad a la estructura unidas una con otras mediante vigas de conexión (Zountouridou et al., 2015).

---

<sup>4</sup> **Aguas poco profundas:** Alturas de agua menores o iguales a los 30 metros.

<sup>5</sup> **Aguas profundas:** Alturas de agua entre los 20 y 80 metros.

<sup>6</sup> **Aguas de gran profundidad:** Alturas de agua superiores o iguales a los 80 metros.



(a)

(b)

(c)

Figura 2: (a) Cimentación por gravedad, (b) con monopilote y (c) con cubos de succión.  
Fuente: Pérez-Collazo et al. (2015).



(d)

(e)

(f)

Figura 3: (d) Cimentación enrejada, (e) de 3 pilotes y (f) trípode.  
Fuente: Pérez-Collazo et al. (2015).



(g)

(h)

(i)

Figura 4: (g) Cimentación flotador, (h) con plataforma y cables de tensión, y (i) semisumergible.  
Fuente: Pérez-Collazo et al. (2015).

### 2.2.3.2. Evolución de la energía eólica en el mundo

La energía eólica viene siendo implementada en muchos países de América Latina desde inicios del siglo XXI (ver Figura 5). Al año 2017, la energía eólica suministró más del 3% del consumo mundial de electricidad y se espera que para el 2020 se supere el 5% (Acciona, 2017). Los estudios y evaluaciones realizadas confirman que los recursos eólicos se encuentran presentes en casi todas las regiones y países, ya que la carencia de viento es tan poco probable que no puede considerarse como un factor limitante para el desarrollo global de la energía eólica (Global Wind Energy Council, 2016).

La potencia instalada<sup>7</sup> de energía eólica a nivel mundial presenta una tendencia de crecimiento importante en el periodo de los años 2001-2017. Empezó con una potencia de 6.50 GW al año 2001 y logró su pico más alto con 63.63 GW el año 2015 (ver Figura 5). Esto nos muestra la importancia que ha ido ganando este recurso renovable en la generación de electricidad alrededor del mundo (Zerrahn, 2017).

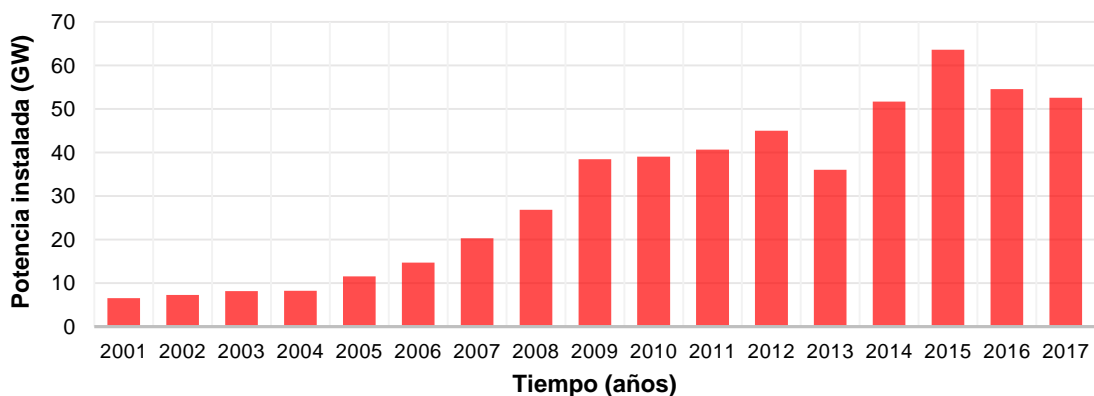


Figura 5: Potencia eólica anual instalada en el mundo en los años 2001-2017.  
Fuente: Adaptado de Global Wind Energy Council (2017).

Por otro lado, la energía eólica instalada acumulada en el mundo ha crecido un 78% en los últimos 10 años (2008-2017), hasta situarse con 53.96 GW al año 2017 (ver Figura 6). Entre los principales países que emplean al viento como fuente para la generación de energía eléctrica se encuentran Alemania, España, India, China y EE.UU, quienes presentan mayor producción eólica anual (GWEC, 2016).

---

<sup>7</sup> **Potencia o capacidad instalada:** es la capacidad total disponible de un sistema eléctrico, medida en Mega Watts (AEE, 2018).

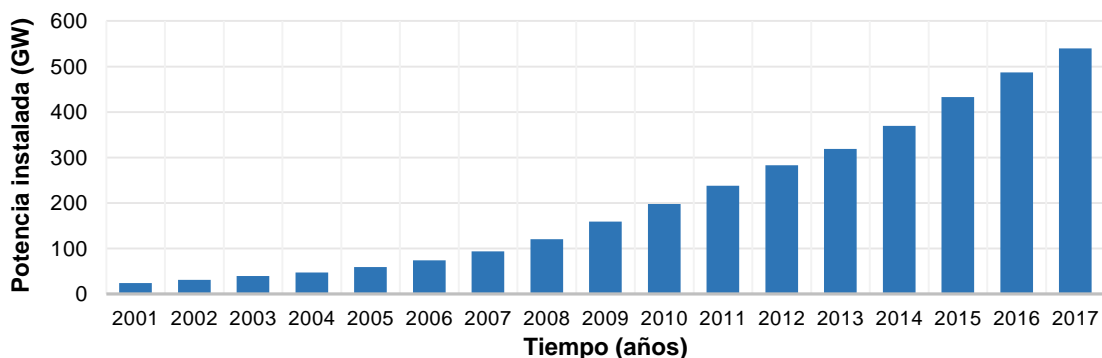


Figura 6: Potencia eólica acumulada en el mundo en los años 2001-2017  
Fuente: Adaptado de Global Wind Energy Council (2017).

El continente que mayor potencia aporta al mercado eólico es Asia, quien según las proyecciones continuará aumentando MW a su matriz energética (ver Figura 7). Del mismo modo, con una gran diferencia de MW, le siguen los pasos Europa, América del Norte y Latinoamérica. Sin embargo, las proyecciones respecto al crecimiento de capacidad eólica en el continente Africano y El Pacífico siguen siendo minúsculas a comparación del resto. Debido a la dependencia de combustibles fósiles que aún mantienen algunos países en estos continentes, en los cuales las energías renovables aparecen como una alternativa sostenible (Aliyu et al., 2017).

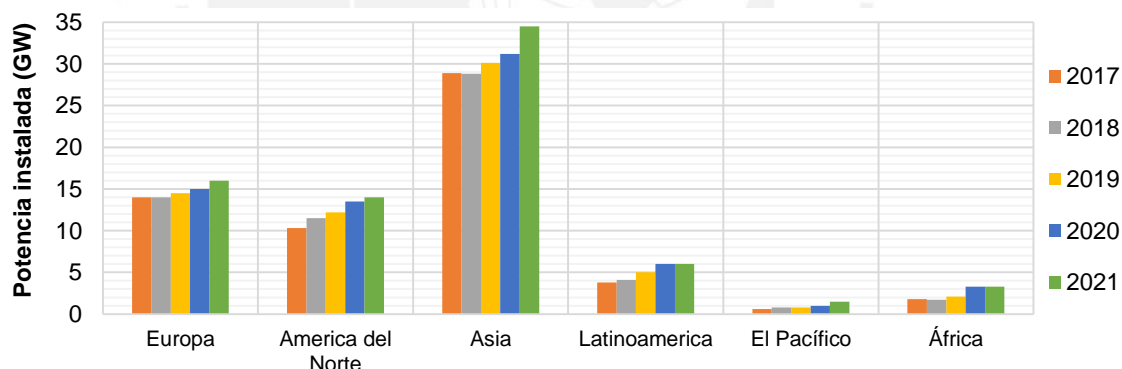


Figura 7: Mercado anual eólico por región 2017-2021.  
Fuente: Adaptado de Global Wind Energy Council (2016).

A pesar de que cada año son más los países que implementan esta fuente renovable a su matriz energética, las diferencias entre las regiones del mundo aún continúan siendo notorias. La potencia instalada acumulada en el mundo es de 539'581 MW al año 2017 (ver distribución en Figura 8). Asimismo, se aprecia que China es el país líder, con 188'232 MW de potencia instalada, en generación de energía eléctrica limpia con un recurso renovable como el viento. Paradójicamente, es quien presenta mayor contaminación en el aire por la emisión de GEI como el CO<sub>2</sub> generadas por las industrias (Zhang et al., 2017). También, se puede observar que el país que presenta mayor potencia instalada en América es Estados Unidos con

una potencia de 89'077 MW. Le siguen representando a Europa, Alemania y España con una potencia de 56'132 MW y 23'170 MW respectivamente.

Del mismo modo, cabe resaltar la importancia de Latinoamérica con Brasil, quien cuenta con 12'763 MW. Además, cuenta con abundantes recursos naturales para el desarrollo de energías renovables, las cuales representan el 42.7 % de la energía interna para la generación de electricidad. Por ello, ha conseguido llegar a la posición en la que se encuentra debido al desarrollo de estrategias que le han permitido diversificar su matriz energética y a las iniciativas que han tenido los incentivos por la disminución de carbono (Pereira et al., 2012).

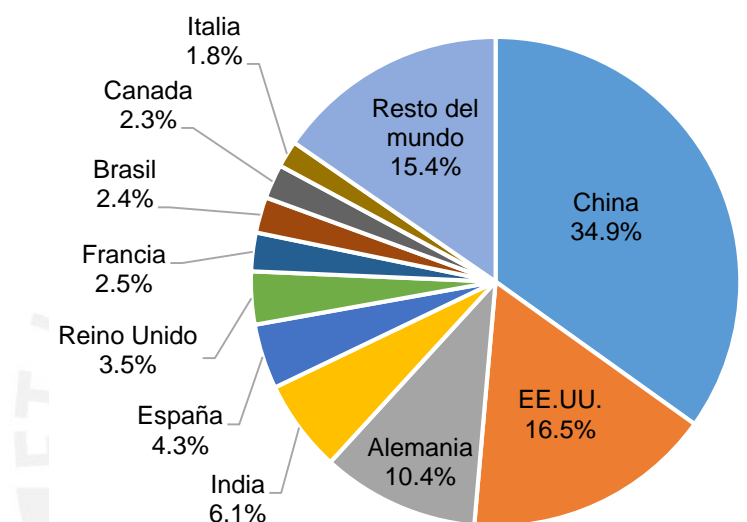


Figura 8: Potencia eólica instalada en el mundo.  
Fuente: Adaptado de Global Wind Energy Council (2017).

#### i. Europa

El continente europeo por su parte cuenta con una potencia eólica acumulada de 178'096 MW al año 2017 (ver distribución en Figura 9). Los europeos son los líderes en lo que respecta a energía eólica marina, ya que Dinamarca fue el primero en realizarlo en el año 1991 (Perveen et al., 2014). Al término del año 2016, la capacidad instalada de la energía eólica marina fue de 14'384 MW, de los cuales el 88% de ella se encuentra en las costas de Europa en aguas superficiales con profundidades menores a los 20 metros (Wang et al., 2018). El desarrollo de la tecnología que permite captar los vientos para poder generar electricidad ha ido creciendo y por su parte los proyectos eólicos marinos también. Debido a la situación actual de los países por reducir los GEI. Entre ellos se encuentran: Reino Unido, Dinamarca, Holanda, Suecia y Alemania (Esteban et al., 2011).



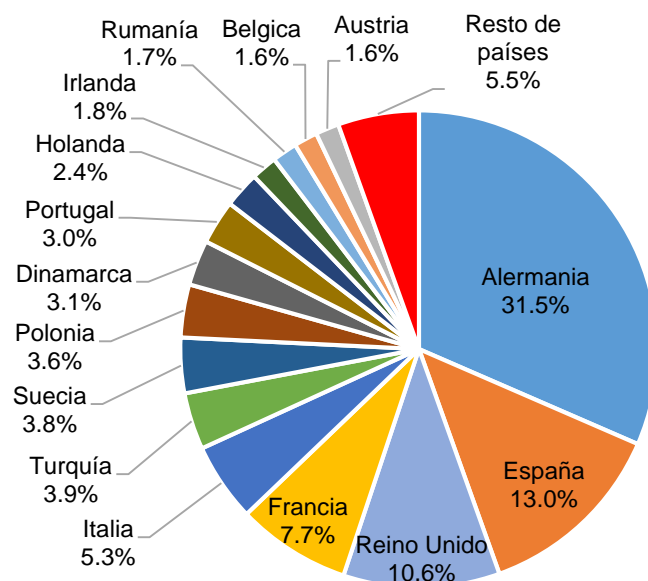


Figura 9: Distribución de potencia eólica instalada en Europa.  
Fuente: Adaptado de Global Wind Energy Council (2017).

## ii. Asia

El continente asiático cuenta con 228'542 MW de potencia eólica instalada al año 2017. Está representado por los países de China e India como los de mayor energía eólica en el mundo (ver Tabla 1). Por su parte, India también destaca por ser uno de los países fabricantes de turbinas eólicas y porque el Estado incentiva al sector energético mediante la supresión y reducción de impuestos (Global Wind Report, 2015). Por otro lado, Japón es uno de los países cuya fuente energética está basada en centrales nucleares. No obstante, se espera que después del desastre ocurrido con la central nuclear de Fukushima en el año 2011, se empiecen a adoptar otras alternativas de generación de energía eléctrica limpia como la energía eólica y entre otras fuentes renovables (Santamarta, 2011). Asimismo, el desarrollo de la energía eólica marina es una alternativa que visualiza este continente para aprovechar los vientos presentes mar adentro utilizando plataformas flotantes (Global Wind Energy Council, 2015). Al término del año 2016, la capacidad instalada de la energía eólica marina fue de 14'384 MW, de los cuales el 12% de ella se encontraba en las costas de China, Japón y Corea del Sur (Wang et al., 2018).

Tabla 1: Distribución de potencia eólica instalada en Asia.

País	Potencia instalada (MW)	Porcentaje (%)
China	188'232	82.4
India	32'848	14.4
Japón	3'400	1.5
Resto de países	4'062	1.8
<b>Total</b>	<b>228'542</b>	<b>100</b>

Fuente: Adaptado de Global Wind Energy Council (2017).



### iii. El Pacífico

El continente oceánico es el de menor territorio superficial en comparación a los demás y cuenta con 539'581 MW de potencia instalada al año 2017. Entre los países que destacan en la aplicación de la energía eólica se encuentran Australia y Nueva Zelanda (ver Tabla 2). Por un lado, la energía eólica en Australia, quien cuenta con 4'557 MW al año 2017, representa el 5% del consumo eléctrico nacional (Global Wind Report, 2015). Por su parte, Nueva Zelanda genera el 5.4% de electricidad en su matriz energética, la cual representa una potencia instalada de aproximadamente 623 MW (Walmsley et al., 2017).

Tabla 2: Distribución de potencia eólica instalada en El Pacífico.

País	Potencia instalada (MW)	Porcentaje (%)
Australia	4'557	87.8
Nueva Zelanda	623	12.0
Islas del Pacífico	13	0.3
<b>Total</b>	<b>539'581</b>	<b>100</b>

Fuente: Adaptado de Global Wind Energy Council (2017).

### iv. África

El continente Africano cuenta con 4'538 MW de potencia instalada al año 2017 (ver distribución en Figura 10). La falta de electricidad es una de las mayores determinantes de pobreza en la África Sub-Sahariana, conjunto de países que se encuentran al sur del desierto El Sahara. Pese a que la mayoría de estos países presentan gran potencial para la aplicación de energías renovables, estas no son aprovechadas e implementadas en gran medida. Debido a que los servicios básicos como electricidad entre otros no se encuentran descentralizados (Deichmann et al., 2011).

Sudáfrica, quien cuenta con 2'094 MW de potencia instalada, es uno de los países que cuenta con gran potencial eólico según el Atlas eólico del mismo país. Por ello, las fuentes renovables se presentan como una alternativa de rápida aplicación para la escasez eléctrica (Global Wind Report, 2015). Egipto es otro de los países que destaca en la aplicación de la energía eólica, pues presenta abundantes recursos para generar una cantidad considerable de energía eléctrica. Además, cuenta con un plan para generar un 20% de electricidad en base a las fuentes renovables de las cuales la fuente eólica contribuya en un 12% (Aliyu et al., 2017).

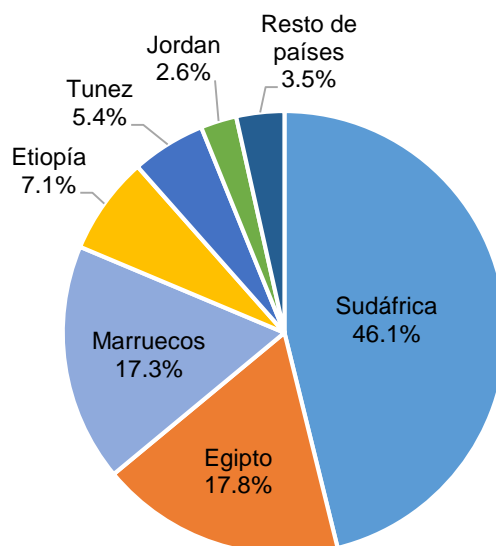


Figura 10: Distribución de potencia eólica instalada en África.  
Fuente: Adaptado de Global Wind Energy Council (2017).

v. América del Norte

Este continente cuenta con 105'321 MW de potencia eólica instalada al año 2017. Asimismo, se encuentra conformado por países como EE.UU, Canadá y México, de los cuales los 2 primeros presentan una potencia instalada considerable para ser considerados como los mejores a nivel mundial en la fuente eólica (GWEC, 2017). EE.UU ha representado un cambio significativo en la potencia instalada que aporta a su matriz energética, pues genera el 30% de la energía suministrada en base a la fuente eólica, respecto a 30 años atrás (Rand & Hoen, 2017). Del mismo modo, cabe destacar que Canadá es de los países cuyos proyectos eólicos son de propiedad local o municipal y cuentan con aceptación de las comunidades (Global Wind Report, 2015). Por otro lado, México, quien cuenta con una potencia instalada de 4'005 MW, presenta gran potencial eólico en sus zonas costeras y la energía eólica representa el 5.1% en su matriz energética en la que predomina el uso por los combustibles fósiles como el petróleo y carbón (Hernández-Escobedo et al., 2018).

Tabla 3: Distribución de potencia eólica instalada en América del Norte.

País	Potencia instalada (MW)	Porcentaje (%)
EE.UU	89'077	84.6
Canadá	12'239	11.6
México	4'005	3.8
<b>Total</b>	<b>105'321</b>	<b>100</b>

Fuente: Adaptado de Global Wind Energy Council (2017).

vi. Latinoamérica y El Caribe

Estas regiones cuentan con una potencia eólica instalada de 17'891 MW al año 2017 (ver distribución en Figura 11). De estas, el único país que se encuentra entre los 10 primeros a nivel mundial es Brasil quien cuenta con una potencia eólica instalada de 12'763 MW al año 2017 (GWEC, 2017). Por su parte, Chile, quien lidera la segunda posición cuenta con 1'540 MW de potencia instalada y presenta un potencial de vientos en toda su costa de 40'000 MW. Adicionalmente, es considerado como uno de los países más atractivos para invertir en energías renovables, debido a que es una de las principales economías del continente (Watts et al, 2016). Si bien el Perú cuenta con una potencia eólica instalada de 364 MW al año 2018, aún nos faltan políticas energéticas e inversiones que impulsen la aplicación de energías limpias y sostenibles (Osinergmin, 2017).

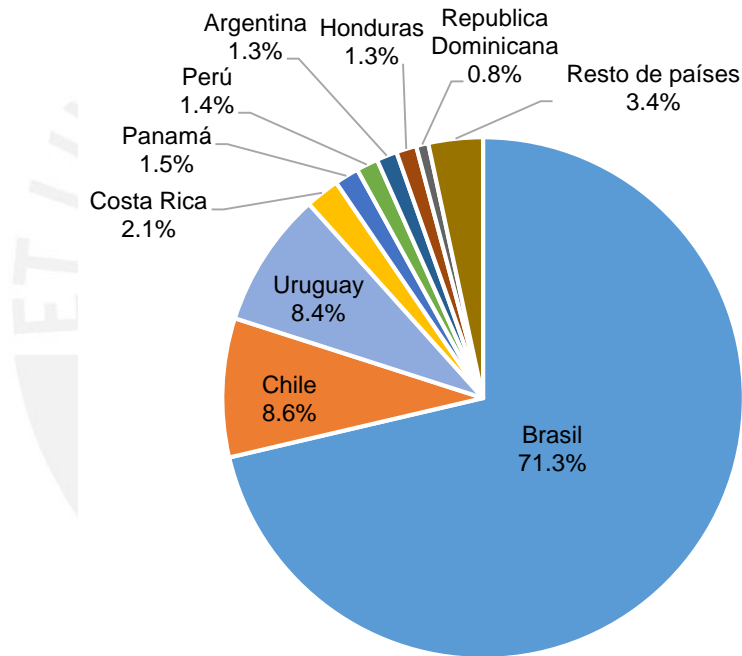


Figura 11: Distribución de potencia eólica instalada en Latinoamérica y El Caribe.  
Fuente: Adaptado de Global Wind Energy Council (2017).

## 2.3. Situación de la energía eléctrica en el Perú

### 2.3.1. Evolución de la energía eléctrica

Como se puede apreciar en el Anexo 8, las diversas centrales de energía eléctrica se encuentran ubicadas en su mayoría en la zona costa y sierra del Perú. Estas centrales, así como las líneas de transmisión y subestaciones se encuentran conectadas entre sí, permitiendo la transferencia de energía eléctrica entre las diversas fuentes de generación, las cuales en conjunto forman parte del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (COES, 2017).

La evolución de la energía eléctrica peruana para el periodo 1995-2016, nos muestra que las fuentes de mayor aporte al SEIN continúan siendo las fuentes térmicas e hidráulicas (ver Anexo 9). La demanda total de energía en el Perú es suministrada en su mayoría por hidroeléctricas y gas natural (ver Figura 12). De esta manera, se puede apreciar como la energía térmica presenta un crecimiento importante respecto a la hidráulica desde el año 2006, debido a la explotación de los lotes 56 y 88 (Grupo Propuesta Ciudadana, 2017).

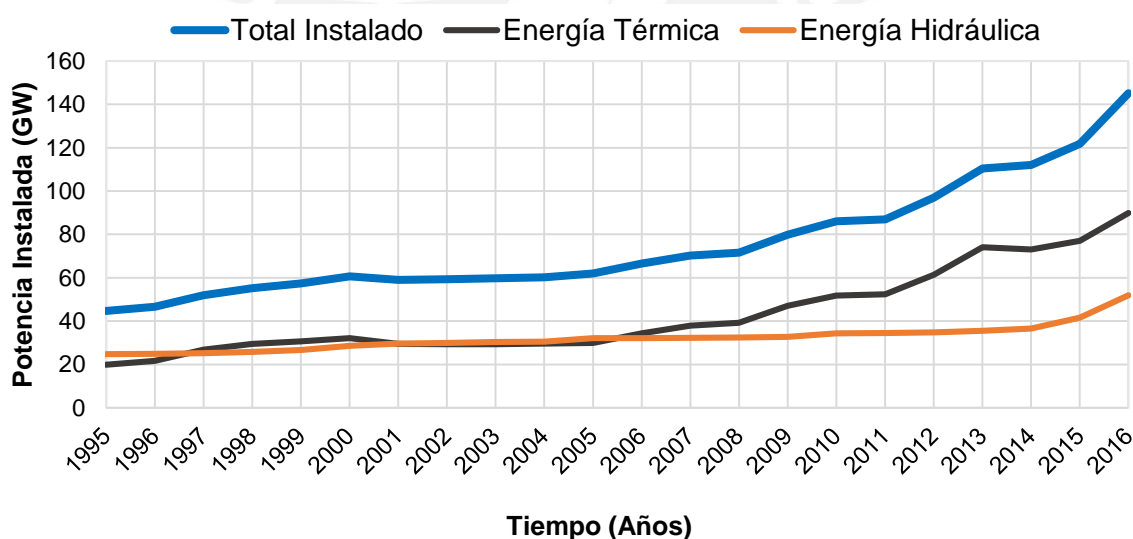


Figura 12: Evolución de la energía eléctrica, hidráulica y térmica en el Perú.  
Fuente: Adaptado del MINEM (2016).

Con respecto a las energías renovables como la solar y eólica, estas fuentes energéticas que emplean la energía del sol y el viento respectivamente, han tomado mucho más tiempo en ser implementadas con mayor confianza en el sector energético peruano. La energía solar empezó con una potencia instalada de 80 MW al año 2012 y al año 2018 cuenta con 280 MW. Mientras que la energía eólica tuvo un comienzo poco prometedor, pues en el periodo de los años 1996-2013, pasó de 0.25 a 0.70 MW (MINEM, 2016). Sin embargo, al año 2018 cuenta con 364 MW de potencia instalada (ver Figura 13).

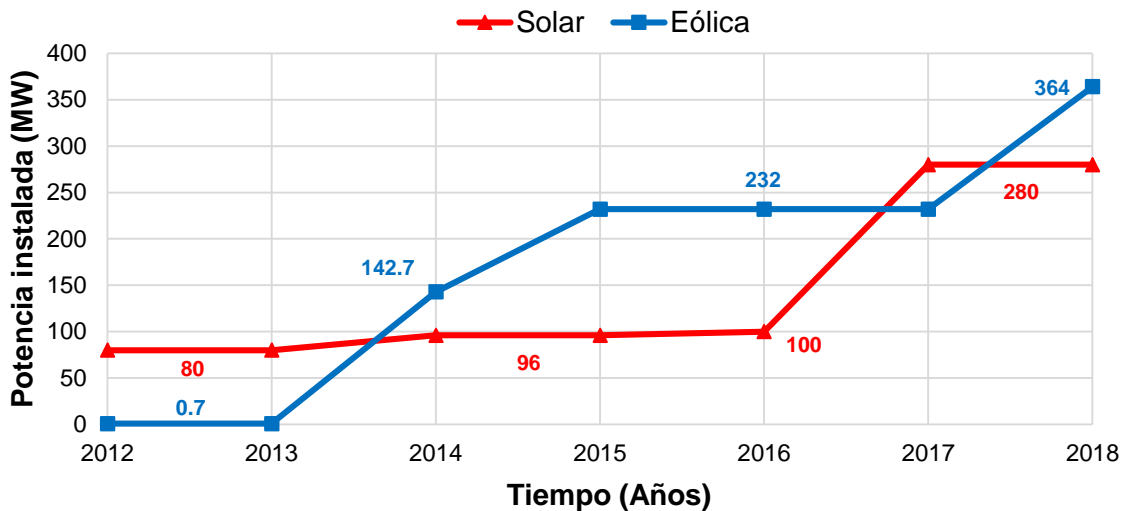


Figura 13: Evolución de la energía eólica y solar en el Perú.  
Fuente: Adaptado del MINEM (2016).

Al primer semestre del año 2018, la potencia total instalada en todo el Perú es de 14'821 MW. Además, se conoce que el 60.2% de la potencia instalada a nivel nacional está conformada por unidades de generación térmica, 35.5% por centrales hidráulicas y el 4.3% por energías renovables como la solar y eólica (ver Figura 14).

La energía térmica presenta una potencia instalada de 8'988 MW y es la que mayor participación tiene en el sector eléctrico. Debido a que se abastece con gas natural, petróleo y derivados, y biomasa. Por su parte, la energía hidráulica cuenta con una potencia instalada de 5'189 MW (MINEM, 2016). No obstante, a diferencia del anterior, este tipo de energía es renovable, pues utiliza la caída del agua de los ríos como recurso para generar electricidad. Por último, las de menor participación son las fuentes solares y eólicas con una potencia instalada de 280 MW y 364 MW al año 2018, respectivamente (Osinermin, 2017).

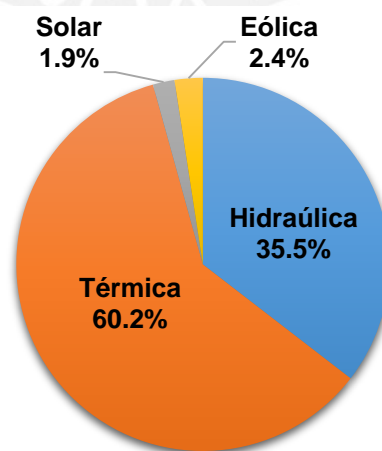


Figura 14: Participación de las fuentes energéticas según su potencia instalada.  
Fuente: Adaptado de MINEM (2017).

Por otro lado, la producción de energía eléctrica esperada en todo el Perú al año 2018 es de 52'638 GWh (MINEM, 2017). Adicionalmente, se conoce que el 49.8% de la producción energética a nivel nacional está conformada por unidades de generación térmica, mientras que el 45.9% por centrales hidráulicas y el 4.2% por energías renovables como la solar y eólica (ver Figura 15).

Asimismo, se espera que la energía térmica tenga una producción de 26'223 GWh y continúe liderando la lista de producción de energía eléctrica peruana. Sin embargo, no presenta mucha diferencia respecto a la fuente hidráulica, pues se espera una producción de 24'172 GWh, quien es más eficiente que la energía térmica con menor potencia instalada (MINEM, 2016). Por último, las de menor participación son las fuentes solares y eólicas, de las cuales se espera una producción de 656 GWh y 1'587 GWh, respectivamente al año 2018 (Osinergmin, 2017).

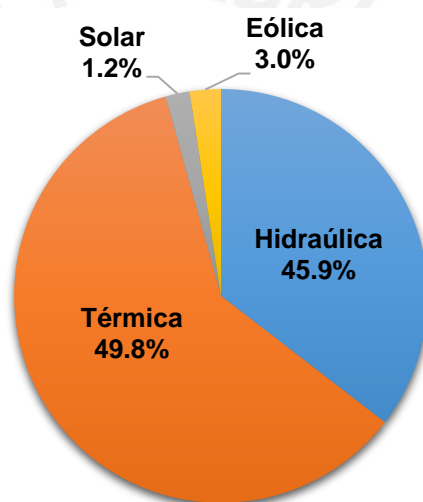


Figura 15: Participación de las fuentes energéticas según la producción.  
Fuente: Adaptado de MINEM (2017).

Cabe señalar que al año 2016, se generaron 51'700 GWh y se consumieron 45'532 GWh en todo el Perú. Es decir, hubo pérdidas considerables de energía por una cantidad de 6'167 GWh (11.9%), debido al transporte y distribución de energía eléctrica desde su generación en las centrales térmicas, hidráulicas, eólicas y solares (MINEM, 2016). Como se puede apreciar en la Figura 16, el subsector de mayor consumo fue el Residencial, Comercial y Público con 18'039 GWh, seguido por el Minero Metalúrgico con 14'672 GWh, Industrial con 11'382 GWh, Agropecuario y Agroindustrial con 997GWh, Pesquería con 254 GWh y Transporte con 46 GWh, según el Balance Nacional de Energía al año 2016. Cabe señalar que este último subsector reporta el consumo de la Línea 1 del Metro de Lima (MINEM, 2016).

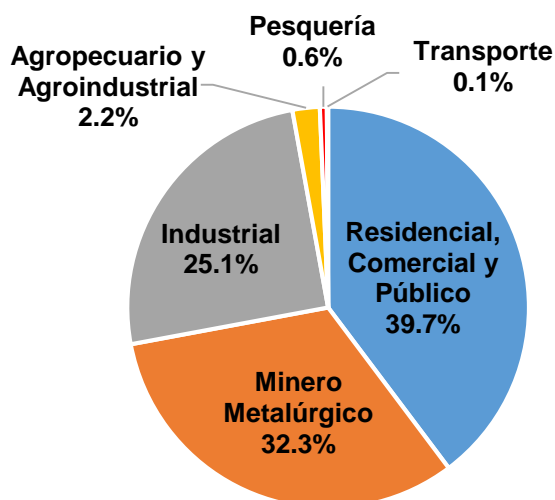


Figura 16: Distribución de energía eléctrica por subsectores.  
Fuente: Adaptado de MINEM (2016).

### 2.3.2. Escenarios de mitigación del cambio climático

Desde el año 2012 a la fecha, El Estado peruano lidera, conjuntamente con representantes del sector privado y la sociedad civil, el proyecto PlanCC<sup>8</sup> en el cual en su fase 1 generó evidencia cualitativa y cuantitativa sobre los posibles escenarios de mitigación del cambio climático en el Perú para 6 sectores como agricultura, energía, forestal (USCUSS), procesos industriales, transporte y residuos (Osinergmin, 2016). A continuación, se analizarán los posibles escenarios planteados en el proyecto: Escenario todo sigue igual (BAU), Escenario sostenible, Escenario rápido, Escenario ahorro y Escenario requerido por la ciencia (RBS), ver Figura 17. Asimismo, los impactos económicos, sociales y ambientales que se generarían en el Perú hacia el año 2050 según determinado escenario (PlanCC, 2014).

En el Escenario BAU, el Perú tendría una población de 40.1 millones y emitiría 8 ton CO<sub>2</sub> eq. per cápita al año 2050, lo cual representaría un 40% más de las emisiones per cápita del año 2010. Del mismo modo, el PBI per cápita presentaría un crecimiento importante, quintuplicándose (miles de MM soles) entre los años 2010-2050. Otro aspecto a considerar de continuar en este escenario es que las emisiones de GEI en el mundo sobrepasarían las 94'500 millones ton CO<sub>2</sub> eq. en el año 2050. Es decir, se sobrepasarían los 2°C de temperatura del planeta, generando una crisis climática del cual como país seríamos altamente vulnerable.

---

<sup>8</sup> **PlanCC:** Es un proyecto que tiene como objetivo principal contribuir a la transición hacia un escenario bajo en emisiones mediante la incorporación del enfoque de cambio climático en la planificación del desarrollo del país (Osinergmin, 2016).



En el Escenario sostenible, el Perú no solo aumentaría su nivel de PBI per cápita de 74.8 a 75.5 miles de soles al año 2050, sino también que podría reducir sus emisiones per cápita al año a 4.3 ton CO<sub>2</sub> eq (valor aproximado que representa la mitad del Escenario BAU). Además, nuestro país tendría mayor participación de las fuentes renovables como la hidroeléctrica con una participación del 37 % al año 2050. Otro aspecto a considerar es que en este escenario los hogares tendrían mayores ingresos a partir del año 2022, lo cual estará reflejado en un ascendente nivel de consumo en comparación al Escenario BAU.

Por otro lado, el Escenario rápido y el Escenario ahorro presentan la misma tendencia de crecimiento que el Escenario todo sigue igual (BAU). Solo que el primero busca medidas de eficiencia energética que serían fáciles de adoptar por el sector privado, tal como la implementación de las energías renovables. Debido al abaratamiento de costos y al avance de tecnologías que ayudarían a su aplicación en el Perú. Mientras que el segundo escenario busca medidas que generen un ahorro neto o un impacto positivo que ayuden al desarrollo del país. De la misma manera, se implementarían las fuentes renovables. Pese a que presenten un alto costo inicial, pues resultarían en un ahorro en comparación con costos de los combustibles fósiles.

Por último, se encuentra el Escenario requerido por la ciencia (RBS), el cual es un caso muy improbable que se pueda suscitar, ya que todos los países deberían reducir sus emisiones de manera proporcional. Sin embargo, se presenta como un escenario idóneo en el cual las emisiones llegan a un valor de 60 millones ton CO<sub>2</sub> eq. al año 2050.

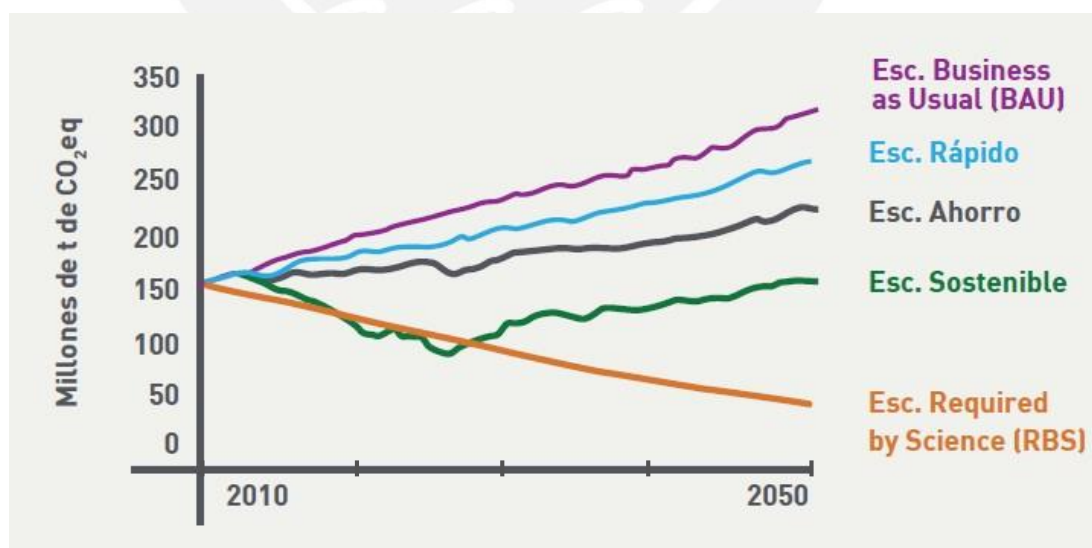


Figura 17: Escenarios de mitigación del cambio climático en el Perú al 2050.  
Fuente: PlanCC (2014).



Por ello, es importante que nuestro país se oriente por un escenario de mitigación como el Escenario sostenible si queremos formar parte de la OCDE, debido a que esta organización considera como parte de su proceso de admisión las evaluaciones de desempeño ambiental relativas al cambio climático tales como políticas de mitigación, eficiencia energética, energías renovables, entre otros.

#### 2.3.2.1. Inventario de emisiones de GEI en el sector energía

El inventario de emisiones de gases de efecto invernadero del sector energía incluye el consumo de los distintos tipos de combustibles fósiles. En otras palabras, se evalúa el ciclo de vida de ellos, desde la obtención de los combustibles primarios, la fabricación de combustibles secundarios y el consumo en los diversos sectores económicos del país tales como residencial, comercial y público; minero metalúrgico; industrial; transporte; agropecuario y agroindustrial; y pesquero (MINAM, 2016).

Este sector involucra a las emisiones estacionarias (quema de combustibles y emisiones fugitivas) y móviles (quema de combustibles en los medios de transporte aéreo, marítimo y terrestre). Sin embargo, las primeras serán materia de análisis en la presente investigación, pues evalúan el ciclo de vida de los combustibles fósiles en los diferentes sectores económicos del país.

Las emisiones estacionarias se agrupan en 2 categorías que involucran la quema de combustibles y las emisiones fugitivas. El primero consiste en el empleo de los combustibles fósiles para actividades de generación de energía eléctrica, mientras que la segunda es generada en la obtención de los combustibles primarios (petróleo, gas natural y carbón mineral) y la fabricación de combustibles secundarios como gasolina, GLP, diésel, GNV, entre otros (MINAM, 2016).

De la actualización del inventario al año 2000, se obtuvo que las emisiones de GEI representaron un total de 120 millones de ton CO<sub>2</sub> eq y en el sector energía representó 16.5 millones de ton CO<sub>2</sub> eq. No obstante, al año 2009, se estimó un total de emisiones de GEI de 138 millones de ton CO<sub>2</sub> eq y de 24.1 millones de ton CO<sub>2</sub> eq para el sector de energía. En otras palabras, hubo un incremento del 3.7% equivalente a 7.6 millones de ton CO<sub>2</sub> eq (PlanCC, 2016).

Del mismo modo, al año 2012, las emisiones de GEI representaron un total de 171 millones de ton CO<sub>2</sub> eq y el sector energía representó 26.8 millones de ton CO<sub>2</sub> eq. Si bien el porcentaje del sector disminuyó respecto al año 2009, se produjo un aumento de emisiones equivalente a 2.7 millones de ton CO<sub>2</sub> eq (MINAM, 2016).

Como se aprecia en la Figura 18, el sector energía presenta un incremento de emisiones de un 3.7% entre los años 2000-2009, el cual podría deberse a la exploración y explotación de yacimientos de hidrocarburos a nivel mundial. Mientras que entre los años 2009-2012, hubo una reducción de emisiones de 1.9% que

podrían deberse a la implementación de las energías renovables como la eólica y la solar que permiten aprovechar los recursos naturales directamente de la naturaleza. Además, como se observa en la Tabla 4, el subsector eléctrico presentó emisiones de 8.7 millones de ton CO<sub>2</sub> eq debido a la quema de combustibles y emisiones fugitivas (MINAM, 2016).

Tabla 4: Total de emisiones de GEI en el sector energía y eléctrico.

Año	Emisiones en millones de ton CO <sub>2</sub> eq.		
	Total	Sector Energía	Sector Eléctrico
2000*	120	16.5	-
2009*	138	24.1	-
2012**	171	26.8	8.7

Fuente: MINAM\*\* (2016) y PlanCC\* (2016).

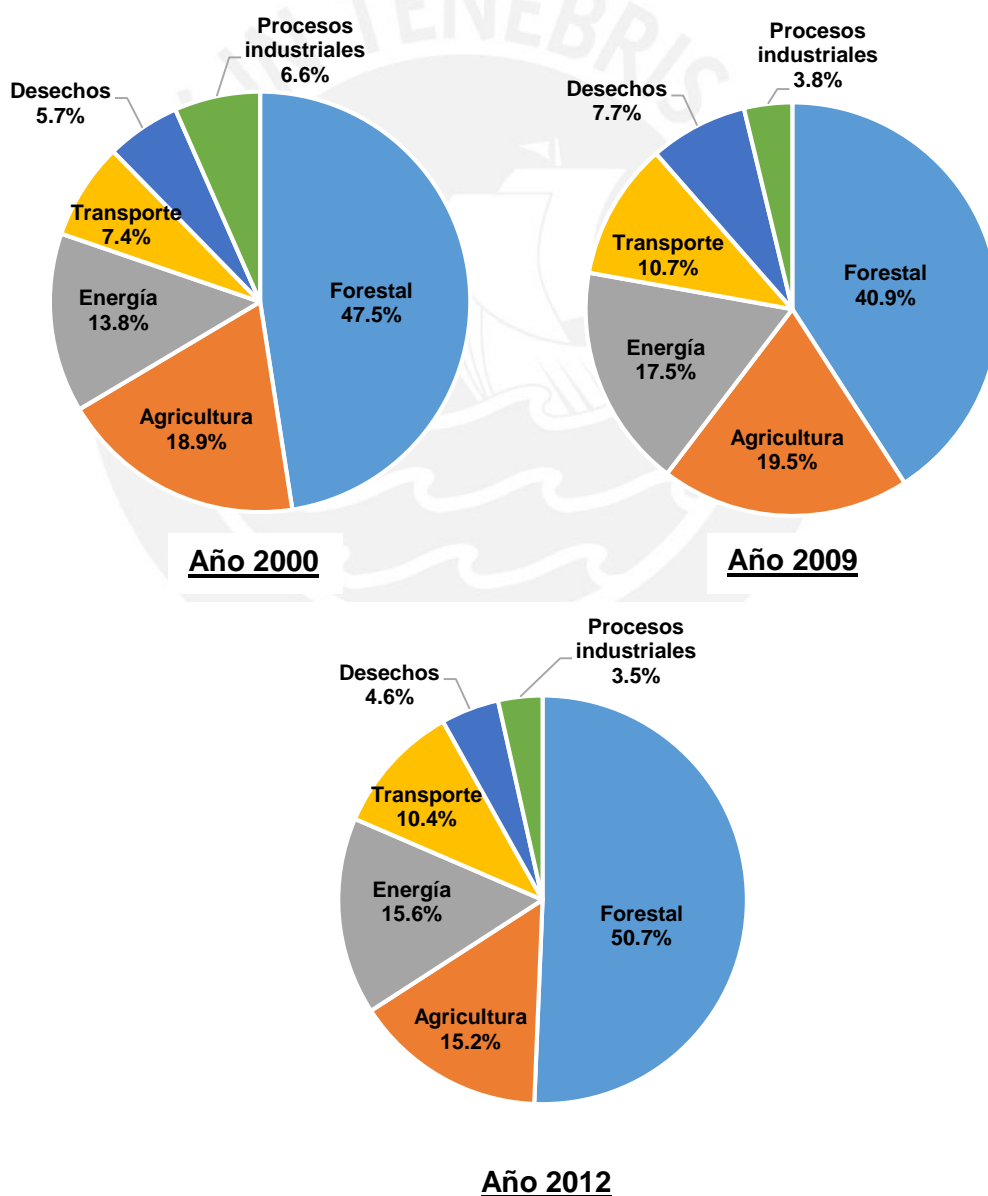


Figura 18: Inventario de emisiones de GEI por sectores en el Perú.  
Fuente: Adaptado de PlanCC (2016) y MINAM (2016).

### 2.3.3. Recursos Energéticos Renovables

El Perú posee diversas fuentes energéticas y dentro de ellas destacan los Recursos Energéticos Renovables (RER) tales como la fuente hidráulica (potencia instalada menor a 20 MW), solar y eólica, quienes vienen siendo promovidos por el Estado peruano en el Decreto Legislativo N° 1002 (Congreso de la República, 2008).

Asimismo, contamos con un alto potencial de recursos hidráulicos que deben ser aprovechados, ya que contamos con diversas cuencas al interior de todo el territorio peruano. De la misma manera, la costa peruana y gran parte de las zonas rurales adyacentes a la Cordillera de los Andes cuentan con un potencial eólico favorable para la generación de proyectos eólicos a mayor y menor escala respectivamente. Adicionalmente, hay regiones en la costa sur que cuentan con potencial calorífico de los cuales se puede aprovechar la luminosidad y el calor del sol para la generación de energía eléctrica (Atlas Eólico del Perú, 2016).

Por ello, el Estado peruano conjuntamente con las empresas privadas han desarrollado e implementado en diversas partes del país tecnologías de generación de energía eléctrica como centrales hidroeléctricas, eólicas y solares.

#### 2.3.3.1. Centrales hidroeléctricas

Son instalaciones que permiten aprovechar las masas de agua en movimiento que transcurren por los ríos para luego ser transformadas en energía eléctrica con el uso de turbinas-alternadores. A continuación, se presentan algunas ventajas de poseer una central hidroeléctrica (Osinergmin, 2017):

- No necesitan de combustibles para su funcionamiento y son fuentes limpias.
- Los embalses de las centrales muchas veces tienen otras utilidades tales como regadío, protección contra inundaciones o para suministrar agua a las poblaciones cercanas.
- Presentan costos de explotación y mantenimiento bajos.
- Las turbinas hidráulicas son de accesible control y tienen costos de mantenimiento bajos.

Para evaluar el potencial hidroeléctrico en el Perú, se realizaron los siguientes estudios (ver Tabla 5): Consorcio Alemán Lahmeyer – Salzgitter (1979), Halcrow (2011) y US Geological Survey (2014).

El primer estudio reveló un potencial teórico de 206'378 MW en las vertientes del Pacífico, Atlántico y Titicaca, el cual consideró aspectos como la disponibilidad del agua y las diferencias de cotas en el flujo del agua. Sin embargo, luego de evaluar las limitaciones técnicas y económicas mediante un análisis de factibilidad, se obtuvo un potencial técnico de 58'937 MW. Del mismo modo, se evaluaron los estudios Halcrow, el cual tuvo como premisa el desarrollo de proyectos hidroeléctricos de

pequeña y mediana escala (1-100 MW) y USGS, quien empleó información satelital y tecnologías actuales de desarrollo de proyectos hidroeléctricos (MINEM, 2016).

Tabla 5: Estimación del potencial hidroeléctrico en el Perú (MW).

	Estudio		
	Consortio Alemán	Halcrow	USGS
<b>Vertiente</b>	<b>Potencial Teórico (MW)</b>		
Pacífico	29'527	28'878	28'717
Atlántico	176'287	139'117	183'543
Titicaca	564	1'168	566
<b>Total</b>	<b>206'378</b>	<b>169'163</b>	<b>212'826</b>
<b>Vertiente</b>	<b>Potencial Técnico (MW)</b>		
Pacífico	-	8'575	16'255
Atlántico	-	57'179	118'822
Titicaca	-	87	300
<b>Total</b>	<b>58'937</b>	<b>65'841</b>	<b>135'377</b>

Fuente: Adaptado de MINEM (2017).

Al primer semestre del año 2018, se cuenta con 86 centrales hidroeléctricas disponibles a nivel nacional con una capacidad total de 5'294 MW. Según el COES (2018), entre las más importantes se encuentran la C.H. de Machupicchu (Cusco), C.H. Gallito Ciego (Cajamarca) y C.H. Mantaro (Huancavelica).

#### 2.3.3.2. Centrales solares

La energía del sol es captada a través de paneles fotovoltaicos de los cuales se obtiene la energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico. Es decir convierte la luz solar en electricidad. Estos paneles pueden ser fijos o móviles (Osinermin, 2017).

Como se aprecia en la Tabla 6, las zonas de mayor potencial solar se encuentran en la costa sur (Arequipa, Moquegua y Tacna), en donde ya se han desarrollado importantes proyectos en lo que va del año 2018.

Tabla 6: Potencial solar en el Perú.

Lugar	Promedio Anual (KWh/m2)
Costa sur	6.0 – 6.5
Costa centro	5.5 – 6.0
Sierra (superior a los 2'500 m.s.n.m)	5.5 – 6.0
Selva sur	5.0 – 5.5
Selva norte	4.5 – 5.0

Fuente: Adaptado de MINEM (2011).

A continuación, se muestran las 6 centrales solares disponibles al año 2018 y la empresa correspondiente de la operación y mantenimiento, ver Tabla 7. Como se puede apreciar, la zona sur del Perú presenta gran potencial calorífico para el desarrollo de esta fuente energética que debe ser aprovechada por las empresas privadas en asociación con el Estado.

Tabla 7: Centrales solares en el Perú.

Central solar	Empresa	Ubicación
Moquegua FV	Moquegua FV S.A.C.	Mariscal Nieto, Moquegua
Panamericana Solar	Panamericana Solar SAC.	Mariscal Nieto, Moquegua
Rubí	Enel Perú	Mariscal Nieto, Moquegua
Majes Solar 20T	GTS Majes S.A.C	Caylloma, Arequipa
Repartición 20T	GTS Repartición S.A.C.	Caylloma, Arequipa
Tacna Solar	Tacna Solar S.A.C.	Tacna, Tacna

Fuente: Adaptado del Osinergmin-COES (2017).

Al primer semestre del año 2018, la energía fotovoltaica suma un total de 280 MW de potencia instalada, siendo la central solar Rubí la más grande del Perú. Debido a que cuenta con más de medio millón de paneles solares que cubren el desierto de Moquegua. Asimismo, esta fuente renovable presenta una producción anual de 440 GWh, equivalente al consumo de energía eléctrica en más de 350 mil hogares, lo cual evitaría la emisión de 209 mil toneladas de CO<sub>2</sub>. Cabe señalar que este proyecto tuvo una inversión estimada de US\$ 170 millones (Enel, 2018).

La Tabla 8 nos muestra la potencia instalada, la energía anual ofertada y el tipo de módulo de cada central solar presente en el Perú.

Tabla 8: Potencia instalada y producción anual de las centrales solares.

Central solar	Pot. Instalada (MW)	Energía anual ofertada (MWh)	Módulos
Moquegua FV	16	43'000	Móviles
Panamericana Solar	20	50'676	Móviles
Rubí *	180	440'000	Móviles
Majes Solar 20T	20	37'630	Fijos
Repartición 20T	22	37'440	Fijos
Tacna Solar	22	47'196	Móviles

\*La central solar Rubí entró en operación a inicios del año 2018 (Enel, 2018).

Fuente: Adaptado de Osinergmin (2017) y Enel (2018).

### 2.3.3.3. Centrales eólicas

Se encuentran ubicadas en zonas estratégicas para su potencial aprovechamiento y emplean los vientos como recurso fundamental. Cabe señalar que se requiere que los vientos presenten condiciones de intensidad y regularidad con velocidades promedio entre 5 y 12 m/s (Posso, 2002). De esta manera, se genera energía eléctrica mediante un recurso abundante, renovable y limpio que contribuye a la disminución de los gases de efecto invernadero (Osinergmin, 2017).

Como se puede apreciar en la Tabla 9, las zonas con mayor potencial eólico y que pueden ser aprovechados por la energía eólica son las regiones de Ica, Lambayeque y Piura con una potencia estimada de 2'280 MW, 7'017 MW y 7'098

MW, respectivamente. Se dice que existe un potencial eólico aprovechable en el lugar, cuando se presentan condiciones favorables para la construcción de un parque eólico. Es decir, no hay interferencias de por medio, como zonas arqueológicas, parques nacionales, reservas naturales y protegidas, que permitan excluir al espacio en cuestión (MINEM, 2016).

Tabla 9: Estimación del potencial eólico en el Perú.

Región	Potencial eólico aprovechable (MW)	Potencial eólico excluido (MW)	Potencial eólico total (MW)
Amazonas	129	288	417
Áncash	708	108	816
Arequipa	1'020	156	1'176
Cajamarca	891	282	1'173
Ica	2'280	3'015	5'295
La Libertad	921	264	1'185
Lambayeque	7'017	2'097	9'114
Lima	429	189	618
Piura	7'098	1'503	8'601
<b>Total</b>	<b>20'493</b>	<b>7'902</b>	<b>28'395</b>

Fuente: Adaptado de MINEM (2016).

A continuación, se muestran las 5 centrales eólicas disponibles al año 2018 a nivel nacional, la empresa correspondiente de la operación y mantenimiento, y la ubicación correspondiente, ver Tabla 10.

Tabla 10: Centrales eólicas en el Perú.

Parque eólico	Empresa	Ubicación
Marcona	P.E. Marcona S.R.L.	Marcona, Ica
Wayra	Enel Perú	Marcona, Ica
Tres Hermanas	P.E. Tres Hermanas S.A.C.	Nazca, Ica
Talara	Energía Eólica S.A.	Pariñas, Piura
Cupisnique	Energía Eólica S.A.	Pacasmayo, La Libertad

Fuente: Adaptado del Osinergmin-COES (2017).

Al primer semestre del año 2018, se cuenta con 5 parques eólicos en 3 departamentos de la costa peruana: Marcona, Tres Hermanas y Wayra (Ica), Cupisnique (La Libertad) y Talara (Piura) con una potencia instalada en conjunto de 364 MW, ver Tabla 11. Por ello, se plantea como opciones estas 3 ubicaciones para que se desarrolle el emplazamiento de la energía eólica marina y esta pueda unirse a la matriz ya existente. Además, desde el año 2016 se encuentran en adjudicación 2 proyectos eólicos entre ellos Huambos y Duna en la región Cajamarca (Atlas Eólico del Perú, 2016).

Tabla 11: Parques eólicos en operación y adjudicación en el Perú.

Parque eólico	Pot. instalada (MW)	Energía anual ofertada (MWh)	Hogares beneficiados por año
Marcona	32	148'378	30'000
Tres Hermanas	97	415'760	90'000
Wayra*	134	600'000	480'000
Cupisnique	80	302'952	80'000
Talara	30	119'673	30'000
Huambos	18	81'000	-
Duna	18	84'600	-

\*El parque eólico Wayra entró en operación el primer semestre del año 2018 (Enel, 2017).

Fuente: Adaptado de MINEM (2016) y Enel (2017).

Cabe resaltar que Wayra es el parque eólico más grande del Perú, pues cuenta con 134 MW de potencia instalada conformado por 42 aerogeneradores de 3.20 MW de potencia unitaria. Además, la potencia que se espera generar con esta fuente renovable es de 600 GWh/año, equivalente al abastecimiento de energía eléctrica a más de 480'000 hogares, lo cual evitaría la emisión de 288 mil toneladas de CO<sub>2</sub> eq. en la atmósfera por año (Enel, 2017).

Por otro lado, los parques eólicos Huambos y Duna, que se ubicarán en la región de Cajamarca, serán los primeros equipos que se instalarán en la zona sierra del Perú. Por ello, el impacto que generará esta fuente energética abrirá paso a futuros proyectos en las regiones por donde pasa la Cordillera de los Andes. Debido a las grandes masas de aire que circulan por sus montañas (MINEM, 2016).



## **CAPÍTULO 3. MARCO LEGAL DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVABLES EN EL PERÚ**

A continuación, se desarrolla el marco legal respecto a la aplicación de los recursos energéticos renovables (RER) en territorio peruano. Asimismo, se desarrollan las normativas sobre la intervención en zonas marino costeras para conocer los detalles de la implementación de la energía eólica marina en la costa peruana.

### **3.1. Normativas de implementación de recursos energéticos renovables**

#### **3.1.1. Promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables**

El Decreto Legislativo N° 1002-2008-EM busca fomentar el aprovechamiento de los RER (solar, geotérmica, eólica, mareomotriz, biomasa e hidroeléctricas < 20 MW) y la diversificación de la matriz energética. Optando por políticas que mejoren la calidad de vida de la población y del medio ambiente. Asimismo, se busca el desarrollo sostenible de la industria energética y mantener en reserva las fuentes que en un futuro podrían ser escasas. Además de ello, busca incentivar el desarrollo de investigaciones científicas e innovaciones tecnológicas basadas en el aprovechamiento de las energías renovables.

#### **3.1.2. Reglamento de la generación de electricidad con energías renovables**

El Decreto Supremo N° 050-2008-EM busca entablar relaciones por parte del Estado con las empresas privadas que se encuentran dispuestas a invertir en el rubro de la electrificación y lo que plantea esta normativa es dar a conocer los requerimientos y procesos necesarios a seguir para la obtención de una plaza en lo que se refiere a la aplicación de las energías renovables. Estos procesos son similares como cualquier otra modalidad de contratación con el Estado.

#### **3.1.3. Ley orgánica para el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales**

La Ley N° 26821-1997-EM busca promover el desarrollo de las fuentes renovables y regular el aprovechamiento sostenible. Del mismo modo, define los recursos naturales que pueden ser aprovechados por el hombre. Por ello, las empresas privadas que deseen apostar por la aplicación de estas fuentes alternativas para la generación de electricidad necesitan el apoyo del Estado mediante legislaciones que permitan aprovechar el potencial de los recursos naturales presentes en gran parte de nuestro territorio.



### 3.2. Normativa de intervención en zonas marino costeras y áreas naturales

“El Perú posee más de 2'900 kilómetros de costa y un dominio marítimo que se extiende hasta las 200 millas en el Pacífico Sur, cuya superficie –incluida el área marítima reclamada ante la Corte Internacional de Justicia de La Haya- es de 855'783 km<sup>2</sup>” (Garfias, 2010). Por tal motivo, estos espacios deben ser aprovechados y protegidos mediante regulaciones que permitan un desarrollo sostenible de los recursos que poseemos. A continuación, se presentan algunas de ellas.

#### 3.2.1. Lineamientos para el manejo integrado de las zonas marino costeras

La Resolución Ministerial N° 189-2015-MINAM muestra que el interés por el aprovechamiento de los océanos está en curva ascendente debido a que se conoce que los hidrocarburos se encuentran en zonas marinas ricas en plancton. Por ello, la actividad exploratoria no deja de cesar por la búsqueda de reservas de gran riqueza que se encuentra en el fondo y debajo de los océanos. Por otro lado, la investigación, el desarrollo y la innovación de las energías renovables merecen también un grado de interés para la generación de electricidad. Puesto que según el Atlas Eólico del Perú (2016), el mayor potencial eólico se encuentra en nuestro litoral.

#### 3.2.2. Ley de Áreas Naturales Protegidas

La Ley N° 26834-1997-CR busca promover la protección de las áreas marinas y terrestres que se ven amenazadas por el hombre y no permitan un adecuado desarrollo de la fauna y flora en las respectivas zonas. Ante esta situación, el Estado peruano ha designado a las instituciones y los organismos encargados de cumplir con estos lineamientos previos. Es decir, el proyecto eólico marino debe contemplar un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) en el cual se expliquen las estrategias de manejo ambiental (planes de seguimiento, control y contingencia) como medidas de prevención en el área de influencia del proyecto (SPDA, 2010). Por ello, el planteamiento de un emplazamiento marino debe respetar las consideraciones del entorno sin afectar el ecosistema presente.

## CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA

### 4.1. Selección del emplazamiento

Para definir el emplazamiento de estudio, se emplearán los mapas eólicos a nivel nacional y por región presentes en el Atlas Eólico del Perú. De tal manera que podamos localizar las regiones y/o provincias con mayor potencial de vientos. Para ello, se requiere que las velocidades de viento promedio estén entre los 5 y 12 m/s para ser aprovechados por la fuente eólica (Posso, 2002). A continuación, se presenta el mapa eólico a nivel nacional (ver Figura 19), en el cual se muestran las intensidades de viento a una altura promedio de aerogenerador de 100 m.

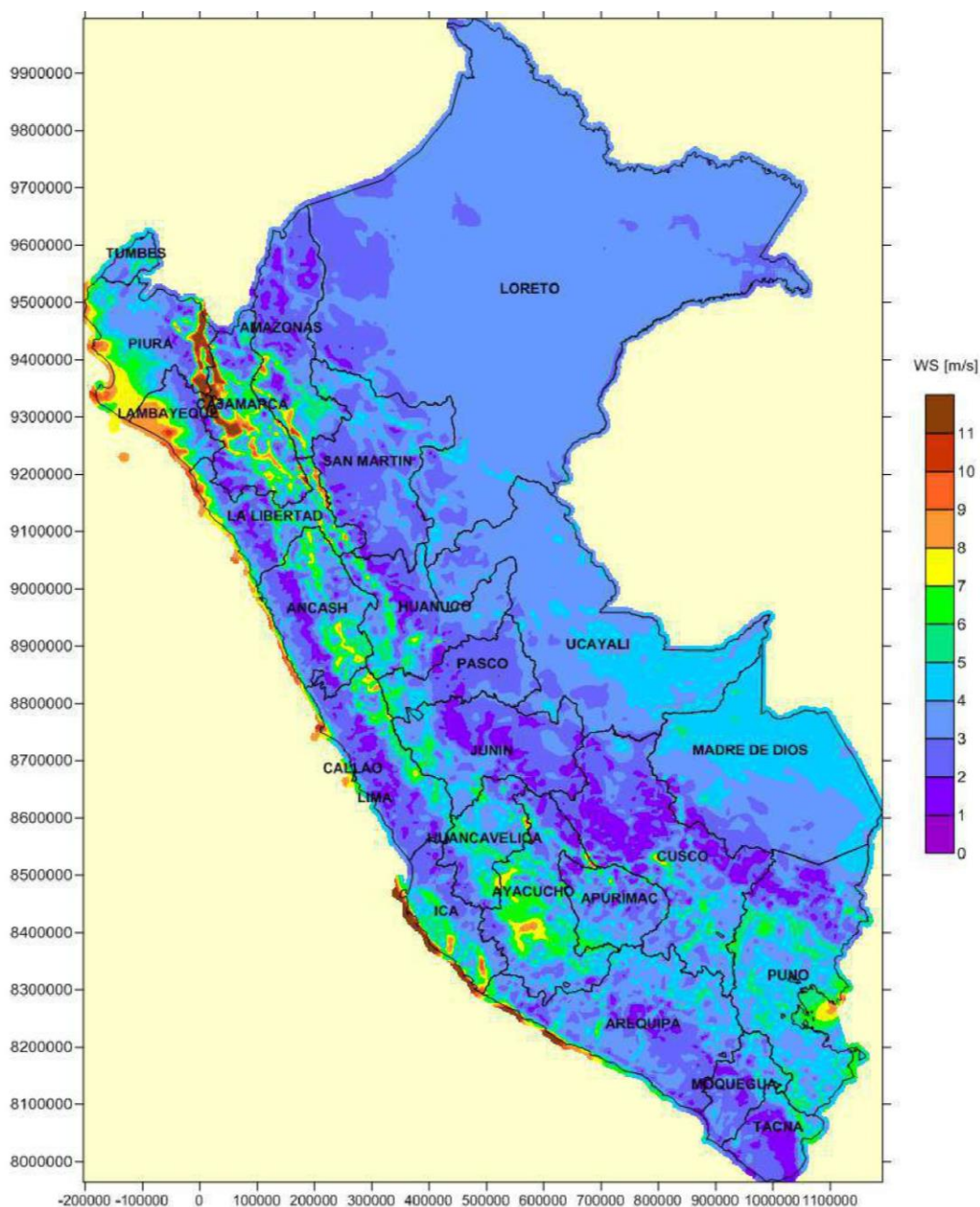


Figura 19: Mapa Eólico Nacional Anual a una altura de 100 m.  
Fuente: Atlas Eólico del Perú (2016).

Del mapa eólico anterior, se puede apreciar que hay potencial eólico en la costa peruana, sobre todo las zonas costeras de las regiones de Piura, Lambayeque, La Libertad, Ancash, Ica y Arequipa. Estas presentan vientos favorables entre los 6 y 12 m/s para el desarrollo de la energía eólica, sea esta terrestre o marina. Del mismo modo, se puede observar que por el paso de la Cordillera de los Andes hay presencia de vientos de menor intensidad con velocidades promedio entre los 6 y 9 m/s en la que destaca la región de Cajamarca, quien presenta un parque eólico en adjudicación y futura ejecución (Osinergmin, 2017).

Para mayor detalle de la variación del viento según la altura de estudio en las regiones del Perú, se adjuntan los mapas eólicos a nivel nacional (ver Anexo 1). Adicionalmente, el Atlas Eólico del Perú (2016) ha identificado las zonas preferentes para el desarrollo de futuros proyectos eólicos en el Capítulo 4.2. Por ello, se plantean los siguientes criterios para la ubicación de un parque eólico:

- Distribución de frecuencia de viento favorable.
- Pendiente del terreno menor o igual a 20%.
- Altitud de emplazamiento inferior a 3500 m.s.n.m.
- Cercanía a las vías de acceso transitables.
- Cercanía a los centros poblados, a las líneas y subestaciones de media y alta tensión existentes.
- Parques eólicos existentes.
- Estar fuera de zonas arqueológicas, parques nacionales, reservas naturales, zonas históricas, áreas naturales protegidas, zonas recreacionales, etc.

Cabe señalar que el criterio de la pendiente del terreno queda fuera del alcance de la presente investigación, pues se necesita de estudios del terreno en el emplazamiento marino. Asimismo, debido a que la ubicación del proyecto eólico se plantea sobre mar peruano, la altitud de la misma es inferior a los 3500 m.s.n.m.

Por otro lado, la evaluación de la cercanía a las vías de acceso transitables, centros poblados, líneas y subestaciones eléctricas será determinada mediante la aplicación Web-GIS (2016). Además, se empleará la búsqueda por referenciación mediante Google Earth y Google Maps (2018). De esta manera, se conocerán los posibles impactos sociales y económicos que se pueden presentar por la construcción y operación de un parque eólico en la región.

Otro de los criterios a evaluar es la ubicación de los parques eólicos existentes, pues nos permitiría reducir costos de instalación según la cercanía al emplazamiento marino planteado. En tal sentido, las regiones que cumplen con este criterio son Ica, Piura y La Libertad.

Después de conocer las regiones que cumplen con los criterios mencionados anteriormente, se debe identificar la zona costera de estas que cuentan con potencial de vientos favorables. Para ello, se revisarán los mapas eólicos por región presentes en el Atlas Eólico del Perú (2016) los cuales nos ayudarán a dirigir el proyecto a una zona en particular.

Sin embargo, se debe tener en consideración que las posibles zonas costeras seleccionadas, no deben ser áreas protegidas por alguna institución gubernamental o no gubernamental según corresponda. Por ello, se activará el comando de la tabla de contenido: zonas de exclusión ambiental y arqueológica. De tal manera que podamos visualizar las áreas protegidas, las cuales también se encuentran en los mapas del Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP).

Luego de haber seleccionado las zonas costeras que cumplen con los criterios de ubicación, se deben realizar los estudios correspondientes in situ. Es decir, realizar las evaluaciones meteorológicas correspondientes (temperatura, humedad, intensidad de vientos, etc.) que permitan conocer las características de la zona. Además, se debe realizar el estudio de la topografía submarina (medición de la profundidad del suelo marino) para plantear la cimentación del aerogenerador según corresponda (González-Minguez & Muñoz-Gutiérrez, 2014).

Finalmente, se debe realizar un análisis económico y financiero de todo lo que involucraría la construcción, operación y mantenimiento de la central eólica. Adicionalmente, se deben evaluar y reportar los impactos ambientales generados durante el ciclo de vida de la energía eólica, tal como la fabricación de las turbinas eólicas, el transporte marino y/o terrestre de los componentes de las turbinas al emplazamiento marino, entre otros.

#### 4.1.1. Planteamiento 1: Zona costera de la región Ica

La zona costera de la región Ica comprende las provincias de Chincha, Pisco, Nazca e Ica. En primer lugar, se revisará el mapa eólico de la región (ver Anexo 2) y se evaluarán los criterios de localización de un parque eólico mencionados anteriormente para seleccionar el posible emplazamiento en estas provincias.

De acuerdo con el mapa eólico de la región Ica (Anexo 2), se aprecia que la provincia de Chincha no presenta gran potencial de vientos cerca a la costa (velocidad promedio de vientos en la zona inferior a los 5 m/s). De esta manera, si se desea plantear el proyecto en esta provincia, se debería entrar varios kilómetros mar adentro, lo cual podría encarecer el desarrollo del proyecto. Por lo tanto, este emplazamiento quedaría fuera del estudio. Pese a que cerca al proyecto se

encuentran localidades cercanas como Sunampe, Tambo de Mora, Chincha Alta y Baja, entre otros (Google Earth, 2018).

Por otro lado, la zona costera de la provincia de Pisco presenta gran potencial eólico con velocidades promedio entre los 3 y 9 m/s según el mapa eólico de la región Ica. Sin embargo, como es de esperarse los vientos más intensos se encuentran algunos km. mar adentro y gran parte del litoral costero se encuentra dentro del margen de la Reserva Nacional de Paracas (ver Figura 20). Esta comprende una extensión de 335'000 hectáreas donde el 35% pertenece a tierra firme y el 65% a aguas marinas (SERNANP, 2017). En síntesis, plantear el proyecto en esta provincia no es conveniente por la magnitud del espacio protegido. Además de ello, las localidades se encuentran muy alejadas de la zona con alto potencial eólico (Google Earth, 2018).



Figura 20: Zona de Reserva Nacional de Paracas en Pisco.  
Fuente: Google Maps – SERNANP (2018).

De la misma manera, la zona costera de la provincia de Nazca presenta gran potencial eólico de acuerdo con el mapa eólico de la región Ica y se observa que hay una intensidad de viento con velocidades promedio entre los 5 y 10 m/s. No obstante, gran parte del litoral costero se ubica dentro del margen de la Reserva Nacional de San Fernando (ver Figura 21). La cual comprende una extensión de 154'716 ha concentrada por una diversidad marina y marino-costera, tales como lobos marinos, pingüinos, nutrias y cetáceos (SERNANP, 2017). Del mismo modo, se encuentra la zona Reservada Punta San Juan en un margen del litoral costero, la cual concentra gran parte de superficie terrestre aproximadamente 54 ha (ver Figura 22). Además, presenta una gran fauna silvestre como son los pingüinos de Humbolt, lobos marinos y aves guaneras (MINAM, 2017).



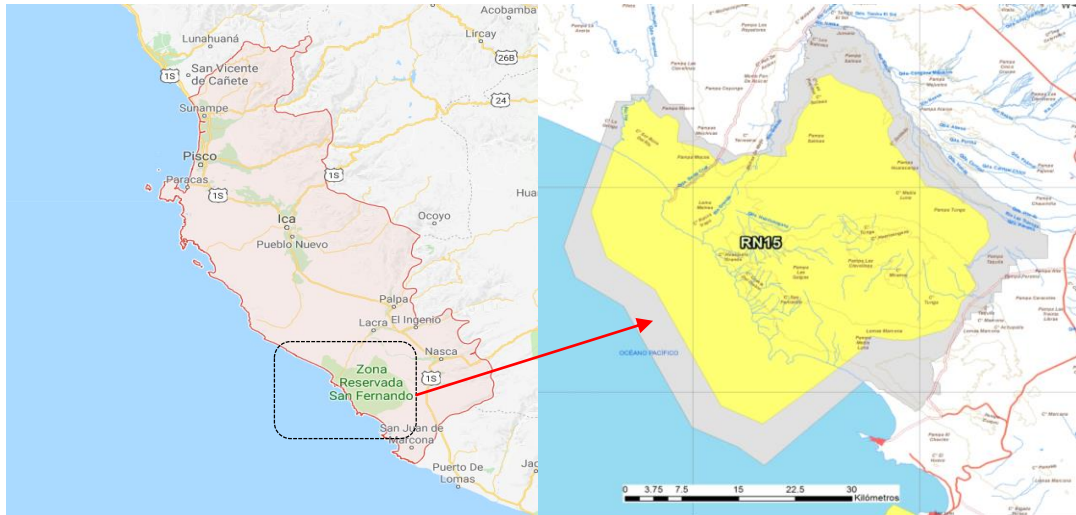


Figura 21: Reserva Nacional de San Fernando en Nazca.  
Fuente: Google Maps – SERNANP (2018).

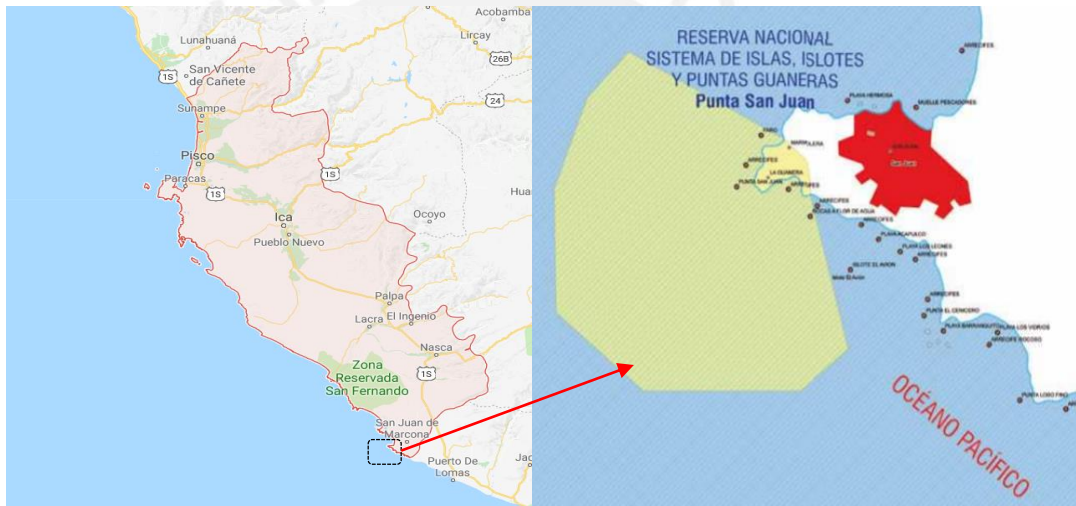


Figura 22: Zona reservada Punta San Juan.  
Fuente: Google Maps – MINAM (2017).

Por último, otro espacio a considerar es la zona costera de la provincia de Ica, quien a diferencia de los emplazamientos anteriores no presenta en su litoral zonas protegidas en su superficie terrestre ni marina. Asimismo, presenta intensidades de viento entre los 3 y 9 m/s. Por ello, esta zona costera se presenta como el primer emplazamiento a evaluar para el desarrollo de la investigación. No obstante, se deben evaluar todos los criterios de ubicación de un parque eólico antes de descartar algún emplazamiento.

#### 4.1.2. Planteamiento 2: Zona costera de la región Piura

La zona costera de la región Piura comprende las provincias de Talara, Paita y Sechura. Del mismo modo, se analizará el mapa eólico de intensidad de vientos de la región (ver Anexo 4) y se evaluarán los criterios de localización de un parque eólico mencionados anteriormente para la ubicación del posible emplazamiento sobre mar peruano.

Las zona costera de las provincias de Talara y Paita presenta vientos entre los 5 y 7 m/s que pueden ser aprovechados por la energía eólica. Asimismo, ambos emplazamientos no presentan en su litoral zonas protegidas en superficie terrestre ni marina. En tal sentido, estos litorales se proyectan como posibles emplazamientos para el desarrollo de la energía eólica. No obstante, los grandes vientos se encuentran en un radio de 3 a 6 km. de distancia medidos desde la costa.

Por otro lado, la zona costera de la provincia de Sechura presenta vientos favorables con intensidades entre los 5 y 9 m/s. A diferencia del emplazamiento anterior, se encuentra la zona Reservada de Illescas, en gran parte del litoral costero, la cual comprende una extensión de 37'453 ha correspondiente a superficie terrestre. Este espacio es un área rica en fauna y flora, además, de poseer una gran belleza paisajística (SERNANP, 2017).

Para el desarrollo de la siguiente investigación se evaluará la zona costera de la provincia de Sechura, pues el área restringida solo lo está en la superficie terrestre y no en el espacio marino. Por ello, priorizando el espacio con mayor intensidad de vientos, se evaluará el potencial que presenta la zona en cuestión.

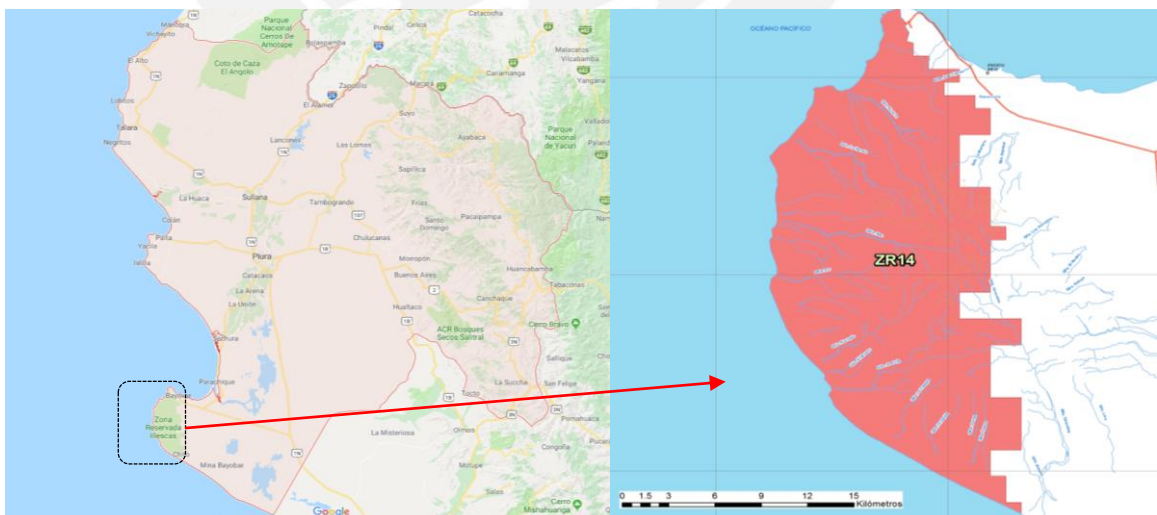


Figura 23: Reserva Nacional de Illescas.  
Fuente: Google Maps – SERNANP (2018).

#### 4.1.3. Planteamiento 3: Zona costera de la región La Libertad

La zona costera de la región La Libertad comprende las provincias de Chepén, Pacasmayo, Ascope, Trujillo y Virú. De la misma manera, se analizará el mapa eólico de intensidad de vientos de la región (ver Anexo 6) y se evaluarán los criterios de localización de un parque eólico mencionados anteriormente para la ubicación del posible emplazamiento sobre mar peruano.

La zona costera de Chepén presenta potencial eólico con velocidad promedio del viento entre los 5 y 7 m/s que pueden ser captadas a orillas del mar. Sin embargo, localidades como Santa Rosa, Pacanga, Pacagilla Chepén y Guadalupe se encuentran alejados en un radio de 10 a 20 km de la orilla del mar (Google Earth, 2018).

La zona costera de Pacasmayo presenta potencial eólico con intensidades de viento superior a los 6 m/s. Asimismo, presenta una gran concentración de localidades cerca a las orillas del mar como El Milagro, Pacasmayo y Cruce del Milagro (Google Earth, 2018), quienes podrían ser beneficiadas empleando como fuente energética la eólica marina.

La zona costera de Ascope presenta potencial eólico con velocidad promedio del viento entre los 5 y 7 m/s que pueden ser captadas a orillas del mar. No obstante, las únicas localidades cercanas al emplazamiento marino son Santiago de Cao y los puertos de Chicama y Malabrigo. Mientras que localidades como Cartavio, Ascope, Mollocupe, Chocope, Paján, Urb. Miguel Grau (Etapas I, II y III), entre otros se encuentran ubicados más al centro de la provincia y alejados de las orilla del mar (Google Earth, 2018).

Del mismo modo, las zonas costeras de Trujillo y Virú presentan intensidad de vientos entre los 4 y 6 m/s y también podrían ser útiles para el desarrollo de la fuente eólica ingresando entre 2 y 5 km desde las orilla.

Finalmente, la zona costera que se perfila como posible emplazamiento es la provincia de Pacasmayo, pues todo el litoral costero de esta región no presenta restricciones de espacios que puedan afectar el posible emplazamiento del proyecto eólico en el mar. Además, es quien presenta mayor intensidad de vientos que las demás provincias y presenta una cantidad de localidades próximas al emplazamiento.



## 4.2. Ubicación del emplazamiento planteado

La ubicación de la zona marina planteada puede ser localizada en la aplicación Web-GIS mediante coordenadas de latitud (S) y longitud (W) o coordenadas X e Y con el respectivo huso. También, se puede seleccionar directamente con un clic en la zona a evaluar <sup>9</sup> y luego se pueden corroborar los datos de entrada mencionados anteriormente. Para nuestro análisis, se realizó la ubicación de las zonas marinas mediante la 2da. opción y observando el cuadro de información.

Cabe mencionar que esta aplicación ha sido realizada mediante el modelo numérico WRF (Sistema de pronóstico e investigación del clima) el cual tomó como referencia una serie de datos meteorológicos presentes en territorio peruano, entre ellas la intensidad de viento (Atlas Eólico del Perú, 2016). A continuación, se presenta un cuadro de información con las características estimadas por la aplicación. Entre ellas, la distancia de las localidades y subestaciones eléctricas cercanas al emplazamiento, velocidad del viento, producción eólica anual estimada, entre otras (ver Figura 24).

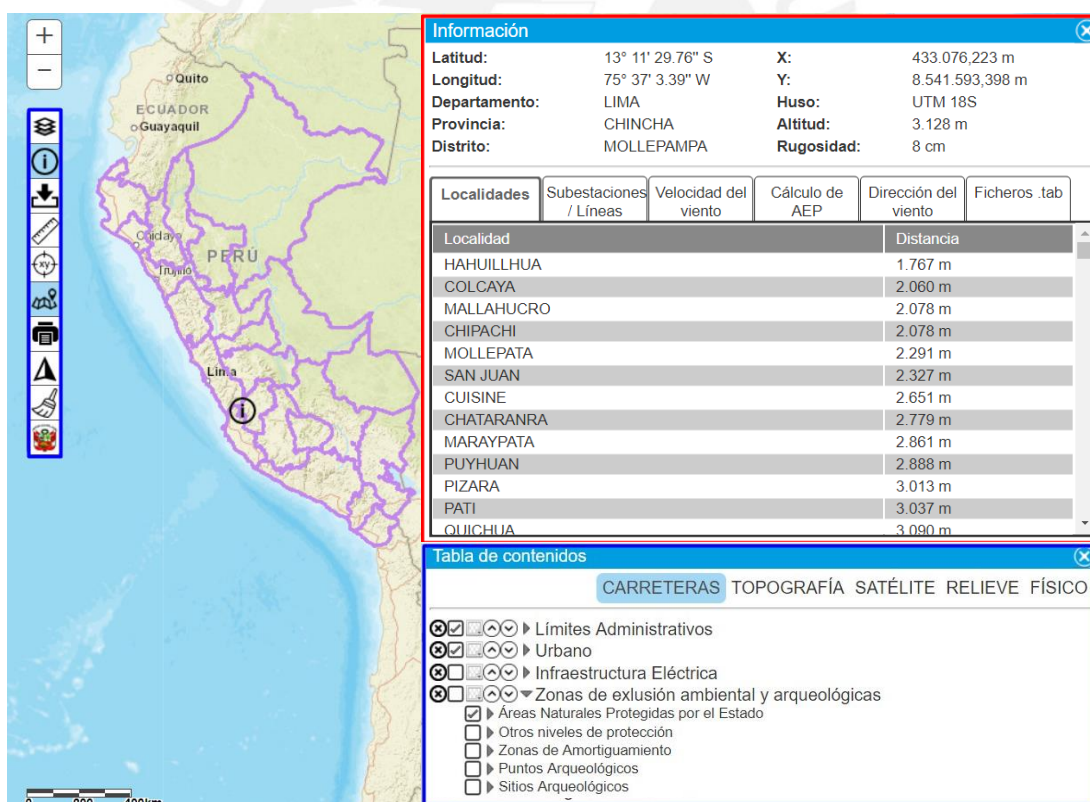


Figura 24: Plataforma de la aplicación Web-GIS.  
Fuente: Aplicación Web-GIS (2016).

<sup>9</sup> Ubicación de la zona a extraer información.

#### 4.2.1. Zona marina de la provincia de Nazca

La ubicación del emplazamiento marino se encuentra en la región Ica, provincia de Nazca, distrito de Marcona. Se ubica a unos 4.5 km de la orilla de la costa y a unos 10 km de la ciudad más próxima. Esta provincia presenta como vías de acceso el tramo 1 de la carretera Interoceánica IIRSA Sur, la Panamericana Sur y la carretera San Nicolás. Del mismo modo, presenta como pista de aterrizaje el Aeropuerto Naval Marcona (Google Maps, 2018). Adicionalmente, cabe mencionar que el emplazamiento marino seleccionado se encuentra fuera de la Zona Reservada Punta San Juan San Juan y la Zona Reservada San Fernando (ver Figura 25).

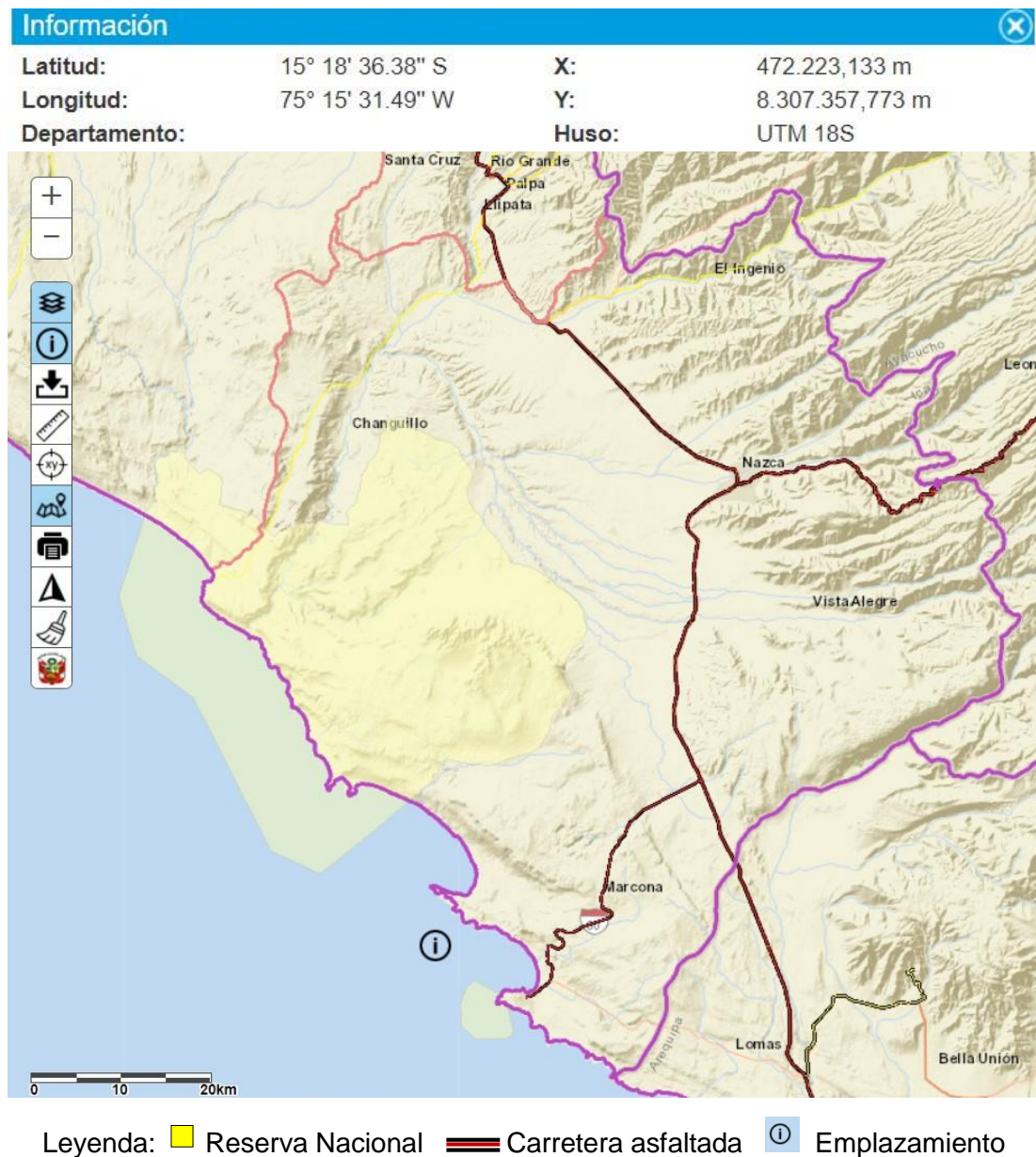


Figura 25: Ubicación del emplazamiento marino en Nazca.  
Fuente: Aplicación Web-GIS (2016).

Las localidades más próximas a este emplazamiento se ubican en el distrito de San Juan de Marcona. Entre ellas se encuentran el siguiente conjunto de ciudades: San Juan Bautista, Víctor Raúl, Las Islas, Los Girasoles, Zona San Pedro y Cerro Porteño (ver Figura 26). Asimismo, se encuentran las subestaciones eléctricas El Hierro, San Nicolás, Marcona y Poroma. Así como los parques eólicos Marcona y Tres Hermanas (ver Anexo 8).



*Figura 26: Vista satelital del emplazamiento marino en Nazca.  
Fuente: Google Earth (2018).*

De esta manera, la zona marina de la provincia de Nazca se perfila como una opción para el desarrollo de la energía eólica marina, pues cuenta con las vías de acceso para el transporte de los equipos y la infraestructura por la vía marítima, aérea y terrestre. Además, presenta una serie de subestaciones eléctricas en la cual se puede reunir la energía eléctrica generada por las turbinas eólicas y posteriormente ser enviada al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN).

Si bien el emplazamiento marino se encuentra a 10 km de la ciudad más próxima, se deben evaluar los impactos sociales y económicos que pueden ocasionar la construcción y operación de un parque eólico marino en la zona. Es decir, realizar estudios previos que nos permitan conocer la reacción de la población respecto al proyecto (presente en el EIA) y los beneficios económicos para la región (generación de nuevos empleos, generación de turismo, etc.).



#### 4.2.2. Zona marina de la provincia de Talara

La ubicación del emplazamiento marino se encuentra en la región Piura, provincia de Talara, distrito de Pariñas. Se ubica a unos 3.20 km de la orilla más próxima de la costa y a unos 4 km de la ciudad más próxima. Esta provincia presenta como vías de acceso la carretera Panamericana Norte. Del mismo modo, presenta como pista de aterrizaje el Aeropuerto Internacional Capitán FAP Montes Arias (Google Maps, 2018). También, cabe mencionar que el emplazamiento marino seleccionado se encuentra fuera de cualquier área protegida (ver Figura 27).

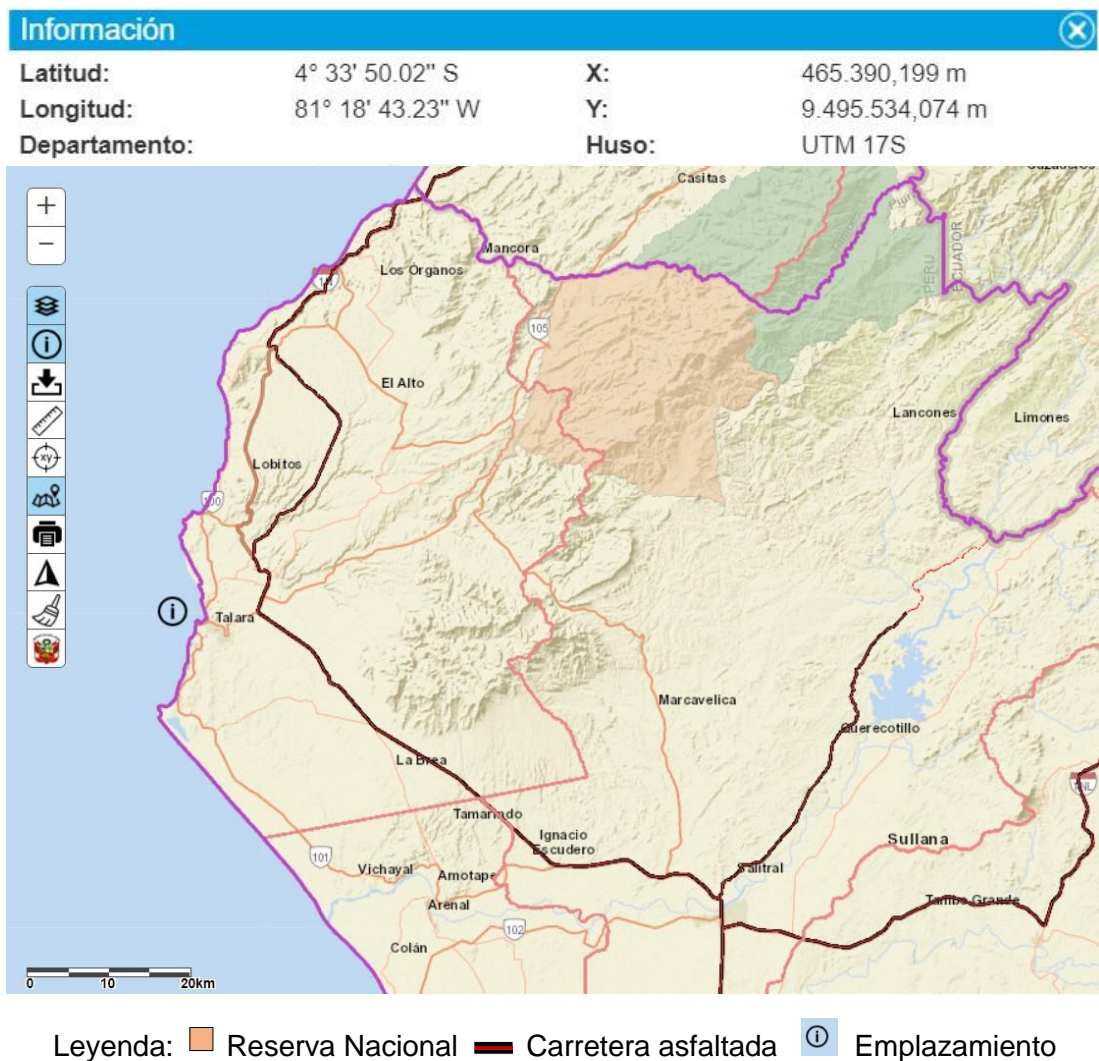


Figura 27: Ubicación del emplazamiento marino en Piura.  
Fuente: Aplicación Web-GIS (2016).

Las localidades más próximas a este emplazamiento se ubican en el distrito de Pariñas. Entre ellas se encuentran el siguiente conjunto de ciudades: Punta Arenas, Villa Petrex, Urb. Sudamerica, Urb. Popular, Villa Talara y Villa FAP Talara (ver Figura 28). Asimismo, se encuentran las subestaciones eléctricas Talara, Pariñas y Campana. Así como el parque eólico Talara (ver Anexo 8).

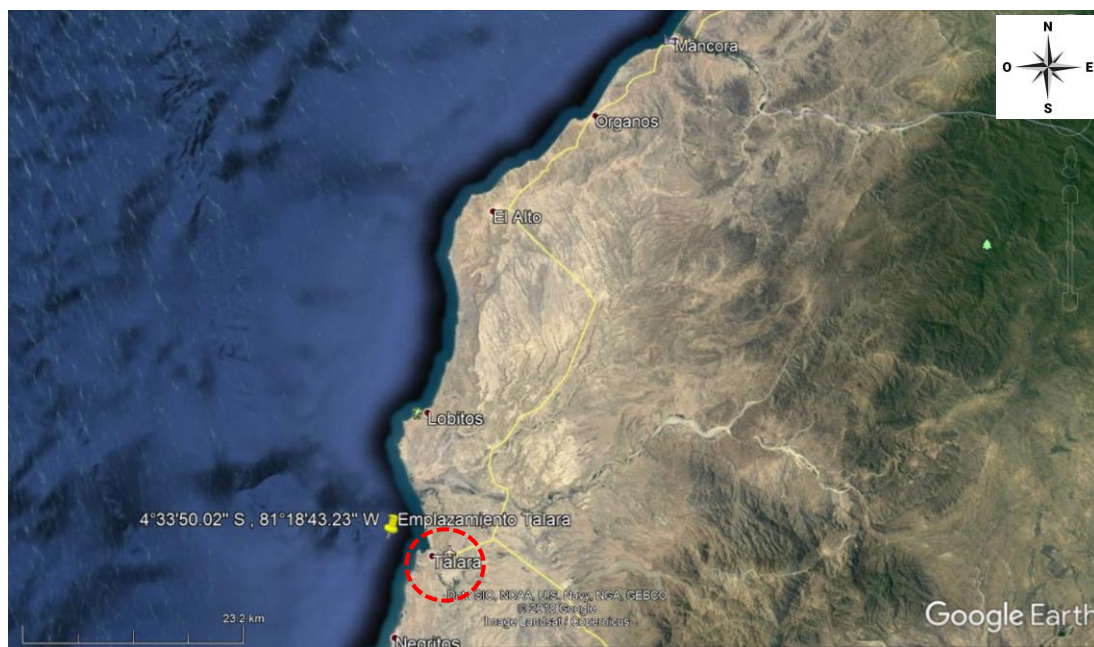


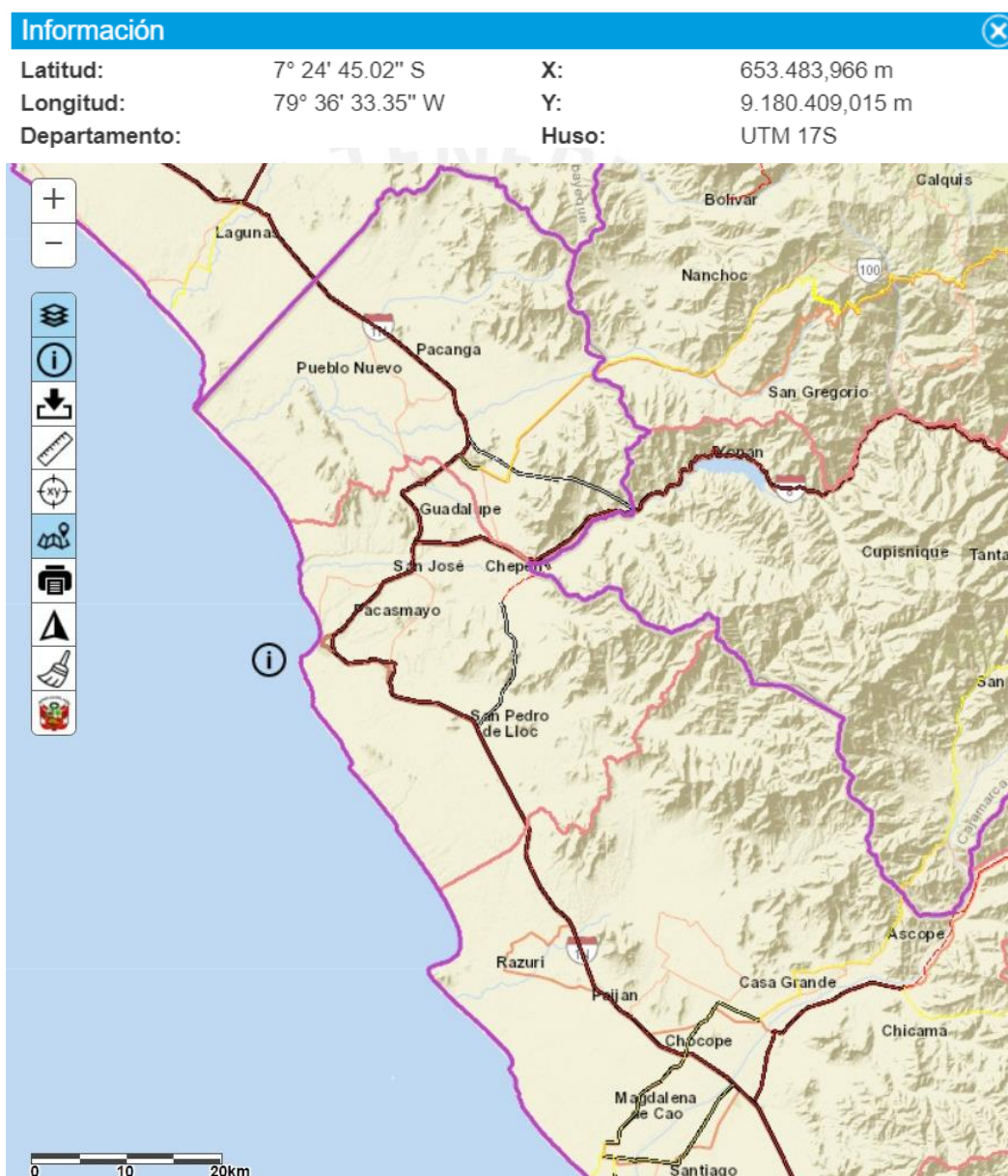
Figura 28: Vista satelital del emplazamiento marino en Talara.  
Fuente: Google Earth (2018).

De esta manera, la zona marina de la provincia de Talara se perfila como una opción para el desarrollo de la energía eólica marina, pues cuenta con las vías de acceso para el transporte de los equipos y la infraestructura por la vía marítima, aérea y terrestre. Además, presenta una serie de subestaciones eléctricas en la cual se puede reunir la energía eléctrica generada por las turbinas eólicas y posteriormente ser enviada al SEIN.

Si bien el emplazamiento marino se encuentra a 4 km de la ciudad más próxima, se deben evaluar los impactos sociales y económicos que pueden ocasionar la construcción y operación de un parque eólico marino en la zona. En otras palabras, realizar estudios previos que nos permitan conocer la reacción de la población respecto al proyecto (descritos en el EIA) y los beneficios económicos para la región (generación de nuevos empleos, generación de turismo, etc.).

#### 4.2.3. Zona marina de la provincia de Pacasmayo

La ubicación del emplazamiento marino se encuentra en la región La Libertad, provincia de Pacasmayo, Distrito de Pacasmayo. Se ubica a unos 2.2 km de la orilla de la costa y a unos 3.5 km de la ciudad más próxima. Esta provincia presenta como vía de acceso la Panamericana Norte. Asimismo, presenta como pista de aterrizaje el Aeropuerto Pacasmayo (Google Maps, 2018). Adicionalmente, cabe mencionar que el emplazamiento marino seleccionado se encuentra fuera de cualquier área protegida (ver Figura 29).



Leyenda: Carretera asfaltada Emplazamiento

Figura 29: Ubicación del emplazamiento marino en La Libertad.  
Fuente: Aplicación Web-GIS (2016).



Las localidades más próximas a este emplazamiento se ubican en el distrito de Pacasmayo. Entre ellas se encuentran el siguiente conjunto de ciudades: Urb. Andrés Razuri y Cruce del Milagro (ver Figura 30). Adicionalmente, se encuentran las subestaciones eléctricas Cupisnique, Guadalupe y Cemento Norte Pacasmayo. Así como el parque eólico Cupisnique (ver Anexo 8).



Figura 30: Vista satelital del emplazamiento marino en Pacasmayo.  
Fuente: Google Earth (2018).

De esta manera, la zona marina de la provincia de Nazca se perfila como una opción para el desarrollo de la energía eólica marina, pues cuenta con las vías de acceso para el transporte de los equipos y la infraestructura por la vía marítima, aérea y terrestre. Además, presenta una serie de subestaciones eléctricas en la cual se puede reunir la energía eléctrica generada por las turbinas eólicas y posteriormente ser enviada al SEIN.

Si bien el emplazamiento marino se encuentra a 3.5 km de la ciudad más próxima, se deben evaluar los impactos sociales y económicos que pueden ocasionar la construcción y operación de un parque eólico marino en la zona. Es decir, realizar estudios previos que nos permitan conocer la reacción de la población respecto al proyecto (presente en el EIA) y los beneficios económicos para la región (generación de nuevos empleos, generación de turismo, etc.).

## CAPÍTULO 5. ANÁLISIS Y RESULTADOS DE CASOS PLANTEADOS

### 5.1. Análisis del potencial eólico

La Tabla 12 nos muestra la distribución de aerogeneradores en los parques eólicos terrestres construidos en el Perú, ubicados en las regiones de Ica, Piura y La Libertad. Asimismo, se puede observar la potencia instalada total que compone cada parque eólico. Finalmente, nos muestra la producción eólica generada por el conjunto de aerogeneradores en un año de operación.

Tabla 12: Distribución de energía en los parques eólicos del Perú.

Parque eólico	N° de turbinas	Potencia Instalada (MW)	Producción eólica anual (MWh)
Talara	17	30	119'673
Marcona	11	32	148'378
Cupisnique	45	80	302'952
Tres Hermanas	33	90	415'760
Wayra	42	134	600'000

Fuente: Adaptado del Osinergmin (2016).

Por otro lado, antes de determinar la distribución de energía en los emplazamientos propuestos para el desarrollo de la energía eólica. Se procede a analizar la información obtenida de la intensidad de vientos presente en las provincias de Ica, Talara y Pacasmayo a alturas de cálculo de 10, 25, 50, 75, 100, 125 y 150 metros (valores que serán obtenidos mediante la aplicación Web-GIS). Es decir, conforme aumente la altura de cálculo, se espera que la intensidad de vientos sea mayor en el emplazamiento.

Como se puede apreciar en la Figura 31, la zona marina de la provincia de Nazca presenta intensidad de vientos superiores a los otros 2 casos planteados. Por ejemplo, a una altura de cálculo de 100 m. en las provincias de Talara y Pacasmayo, se obtuvo una velocidad media del viento de 9 m/s y 10 m/s respectivamente. Mientras que en la provincia de Nazca, se obtuvo una velocidad media del viento de 12.8 m/s. En otras palabras, el emplazamiento ubicado en la provincia de Nazca presenta vientos más favorables para el desarrollo de la energía eólica.



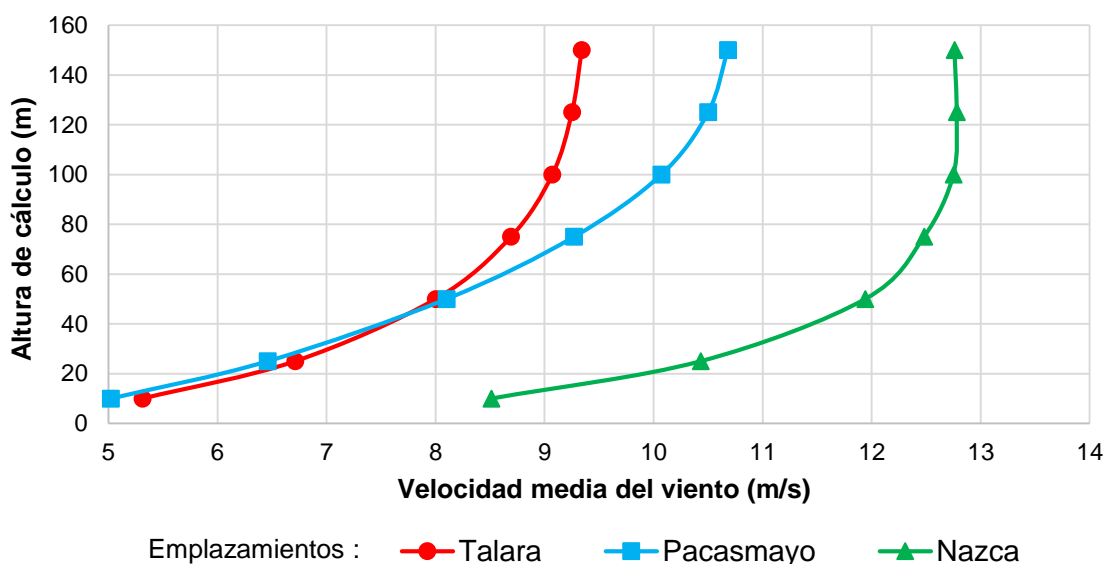


Figura 31: Gráfico de velocidades según el emplazamiento.  
Fuente: Adaptado de la aplicación Web-GIS (2016).

La producción eólica anual (PEA) estimada mediante la aplicación Web-GIS nos servirá como valor unitario para replicar por la cantidad de aerogeneradores que se desean plantear en el emplazamiento marino con la finalidad de abastecer de energía eléctrica limpia a los hogares peruanos. En otras palabras, se obtendrá la energía ofertada en un año de operación (MWh) que se podría brindar mediante la energía eólica marina.

De esta manera, la información obtenida es en base a un aerogenerador de 3 MW de potencia ubicado a 100 metros de altura de la superficie. Tal como se aprecia en la Tabla 13, el emplazamiento que mayor producción eólica estimada presentó fue el espacio de marino de la provincia de Nazca con 22.74 GWh/año, seguida por la provincia de Pacasmayo con 17.75 GWh/año y Talara con 15.74 GWh/año.

Tabla 13: Producción eólica esperada para una turbina según emplazamiento.

Emplazamientos marinos (Provincias)	Producción eólica estimada para una turbina	
	(MWh/año)	(GWh/año)
Talara	15'744	15.74
Pacasmayo	17'747	17.75
Nazca	22'735	22.74

Fuente: Adaptado de la aplicación Web-GIS (2016).

Del mismo modo, la producción eólica estimada para el parque eólico marino en un año dependerá de la cantidad de turbinas y la producción eólica anual estimada para una turbina. A continuación, se presenta el cálculo para una cantidad de 6, 7 y 8 aerogeneradores, pues para estas cantidades se logra una producción estimada superior al parque eólico Talara que cuenta con 119'673 MWh/año (ver Tabla 14).

Tabla 14: Distribución de energía en parques eólicos marinos planteados.

Provincia	N° de turbinas	Potencia Instalada (MW)	Producción eólica estimada (MWh/año)
Nazca	6	18	136'410
Pacasmayo	7	21	124'229
Talara	8	24	125'952

Fuente: Elaboración propia.

## 5.2. Comparativo de inversión entre un parque eólico terrestre y marino

Cabe señalar que la comparación de costos de inversión total presentados para los parques eólicos solo considera los costos de inversión tangible tales como costos de la turbina eólica, de conexión, de construcción entre otros (ver Tabla 15). Es decir, un costo parcial que presenta diferencias importantes de sus componentes que deben ser evaluadas al seleccionar un proyecto eólico en tierra o en el mar. Adicionalmente, se aprecia que a partir del capital inicial de inversión (CII) y la potencia instalada del parque eólico, medido en kilowatts (kW), se obtendrán los costos de la turbina eólica, costos de conexión, costos de construcción entre otros costos como porcentajes del capital inicial de inversión.

Tabla 15: Características de inversión según el tipo de proyecto eólico.

Descripción	Unidad	P.E. terrestre	P.E. marino
Capital inicial de inversión (CII)	US\$/kW	1'700-2'450	3'300-5'000
Costo de turbina eólica <sup>10</sup>	% (CII)	65-84	30-50
Costo de conexión <sup>11</sup>	% (CII)	9-14	15-30
Costo de construcción <sup>12</sup>	% (CII)	4-16	15-25
Otros costos <sup>13</sup>	% (CII)	4-10	8-30

Fuente: Adaptado de Arshad & O'Kelly (2013).

Por otro lado, se puede apreciar notoriamente que el capital inicial de inversión es más elevado en un proyecto eólico marino a diferencia de uno en tierra. Debido a la complejidad de trabajar en el mar por la profundidad de la misma; las distancias de cableado y conexión; y al transporte de materiales y equipos al emplazamiento marino. No obstante, el retorno de energía generada mar adentro es mucho mayor que la producida en tierra (Arshad & O'Kelly, 2013).

De la misma manera, como contraparte se puede apreciar que los costos de una turbina eólica en el mar son menores que los de una turbina en tierra. Debido a que

<sup>10</sup> **Costo de turbina eólica:** incluye fabricación, transporte e instalación.

<sup>11</sup> **Costo de conexión:** incluye tendido eléctrico y subestaciones.

<sup>12</sup> **Costo de construcción:** incluye el tipo de cimentación, transporte e instalación.

<sup>13</sup> **Otros costos:** licencias, sistemas de monitoreo, estudios de ingeniería, consultoría y supervisión.

los vientos en las zonas marinas son más fuertes y estables. Por ello, las torres son de menor altura a comparación de las que se ubican en tierra (Zountouridou et al., 2015).

Para la elaboración de los siguientes resultados, se consideró el criterio de análisis de inversión máximo a los P.E. Talara y Cupisnique, debido a que estos cuentan con turbinas eólicas de la misma potencia unitaria en su totalidad. Mientras que los P.E. Marcona y Tres Hermanas fueron analizados según el criterio de análisis de inversión promedio, pues ambos cuentan con turbinas de diferente potencia unitaria (ver Tabla 16 y Tabla 17).

Tabla 16: Análisis de inversión de los P.E. terrestres ejecutados.

Descripción	Criterio de análisis de inversión			
	Máximo	Promedio	Máximo	Promedio
Parque eólico	Talara	Marcona	Cupisnique	Tres Hermanas
Costo de turbinas eólicas (US\$)	61.74 MM	49.47 MM	164.64 MM	139.13 MM
Costo de conexión (US\$)	10.29 MM	7.64 MM	27.44 MM	21.47 MM
Costo de construcción (US\$)	11.76 MM	6.64 MM	31.36 MM	18.68 MM
Otros costos (US\$)	7.35 MM	4.65 MM	19.6 MM	13.07 MM
Monto total estimado (US\$)	91.14 MM	68.39 MM	243.04 MM	192.35 MM
N° de turbinas eólicas	17	11	45	33
Monto por turbina eólica (US\$)	5.36 MM	6.22 MM	5.40 MM	5.83 MM

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17: Comparación de monto total estimado para los P.E. ejecutados.

Parque eólico	Pot. Instalada (MW)	Monto total estimado de inversión (US\$)	
		Osinergmin (2016)	Arshad & O'Kelly (2013)
Talara	30	101.00 MM	91.14 MM
Marcona	32	61.10 MM	68.39 MM
Cupisnique	80	242.00 MM	243.04 MM
Tres Hermanas	90	185.70 MM	192.35 MM
<b>Promedio</b>	<b>58</b>	<b>147.45 MM</b>	<b>147.61 MM</b>

Fuente: Elaboración propia.

De la misma manera, se estimó el costo total de inversión para un parque eólico marino según el criterio de análisis de inversión máximo, debido a la complejidad de trabajo que involucra cada componente del proyecto como el transporte de materiales y las turbinas, el tendido eléctrico y la construcción e instalación de la cimentación (Arshad & O'Kelly, 2013). Bajo ese criterio se realizó el análisis comparativo de costos de inversión total de los parques eólicos marinos a plantearse en el mar peruano (ver Tabla 19).

Tabla 18: Análisis de inversión de los P.E. marinos planteados.

Descripción	Criterio de análisis de inversión		
	Promedio		
Emplazamiento marino (provincia)	Nazca	Pacasmayo	Talara
Costo de turbinas eólicas (US\$)	45 MM	52.5 MM	60 MM
Costo de conexión (US\$)	27 MM	31.5 MM	36 MM
Costo de construcción (US\$)	22.5 MM	26.25 MM	30 MM
Otros costos (US\$)	27 MM	31.5 MM	36 MM
Monto total estimado (US\$)	121.5 MM	141.75 MM	162 MM
N° de turbinas eólicas	6	7	8
Monto total por turbina eólica (US\$)	20.25 MM		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19: Comparación del monto total estimado según el N° de turbinas.

Provincia	Pot. Instalada (MW)	Monto total estimado de inversión (US\$) Fuente: Arshad & O'Kelly (2013)
Nazca	18	121.50 MM
Pacasmayo	21	141.75 MM
Talara	24	162.00 MM

Fuente: Elaboración propia.

### 5.3. Análisis de impacto ambiental en las fuentes de energía eléctrica

El Perú forma parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático desde 1992 y debe informar las acciones que viene adoptando o prevé adoptar para la contribución global en la mitigación de los GEI. Entre ellas presente el sector energía. Por ello, el Estado peruano conjuntamente con las autoridades e instituciones encargadas han desarrollado la Contribución Prevista y Determinada a Nivel Nacional, la cual permitirá (MINAM, 2018):

- Fortalecer el posicionamiento del Perú en las negociaciones.
- Mantener nuestra competitividad cumpliendo con los nuevos requisitos del mercado: compradores, financistas, OCDE, etc.
- Mantener el crecimiento económico, con menores emisiones de carbono.
- Canalizar esfuerzos y financiamiento para desarrollar oportunidades de negocio.
- Obtener los beneficios sociales, económicos y ambientales de las oportunidades de negocio con componentes de mitigación de GEI.
- Desarrollar objetivos de largo plazo de carácter multisectorial que dan estabilidad a inversionistas locales y extranjeros.

Nuestro país es considerado como uno de bajas emisiones per cápita y totales con un porcentaje de participación mundial de 0.3% sobre el total de emisiones GEI. Sin embargo, se encuentra entre los países más vulnerables ante los efectos del cambio climático tales como sequías, lluvias excepcionales, inundaciones, heladas

entre otros. Por tal motivo, el desarrollo de la Contribución Nacional contempla una reducción de emisiones GEI de 30% del Escenario BAU proyectadas para el año 2030 equivalente a 175 millones de ton CO<sub>2</sub> eq. (MINAM, 2015).

El análisis ambiental para un escenario global se realizará en base a estudios previos hallados en la literatura que apoyarán a contrastar las emisiones generadas en el sector eléctrico peruano. Estos indicadores nos permitirán estimar las emisiones generadas durante el ciclo de vida de la fuente energética en un año de operación (ver Tabla 20). Es decir, evaluar los impactos ambientales de los productos desde la cuna hasta la tumba a través de un ciclo de vida completo que abarca su producción, procesamiento, transporte y operación (Pehnt, 2006). Para ello, se considerará como unidad funcional 1 MWh de producción eléctrica.

Tabla 20: Huella de carbono según fuente energética.

Fuente energética	Unidad de producción	kg. CO <sub>2</sub> eq.		
		Mínimo	Promedio	Máximo
Central eólica	1 MWh	9	12	15
Central hidroeléctrica		15	28	40
Central nuclear		15	33	50
Central fotovoltaica		50	75	100
Gas Natural		400	450	500
Petróleo		780	840	900
Carbón		900	1'050	1'200

Fuente: Adaptado de Kaldellis & Apostolou (2017).

De la misma manera, el análisis de impacto ambiental en el Perú, se realizará con ayuda del programa SimaPro 8.3, el cual nos permitirá analizar el ciclo de vida de las fuentes energéticas presentes en la industria peruana y poder compararlo con los valores encontrados en la literatura (ver Anexo 12). Entre ellos países de Europa cuyos valores se encuentran entre los 500 kg. CO<sub>2</sub> eq./MWh (ver Tabla 21).

Tabla 21: Huella de carbono del mix eléctrico peruano y a nivel mundial.

Fuentes energéticas	Unidad de producción	kg. CO <sub>2</sub> eq.	
		SimaPro 8.3. (2015)	Casals et al. (2016)
Biomasa	1 MWh	309	500
Energía fotovoltaica			
Energía eólica			
Central Hidroeléctrica			
Carbón			
Petróleo			
Gas natural			

Fuente: SimaPro 8.3 (2015) y Casals et al. (2016).

Por otro lado, mediante estudios previos encontrados en la literatura, se va a cuantificar la huella de carbono<sup>14</sup> presente en los parques eólicos terrestres ya ejecutados y los parques eólicos marinos a plantearse en la costa peruana (ver Tabla 23 y Tabla 24).

Tabla 22: Huella de carbono según el parque eólico a evaluar.

Parque eólico	Unidad de producción	kg CO <sub>2</sub> eq.
Marino	1 MWh	15.60
Terrestre		9.00

Fuente: Adaptado de Kaldellis & Apostolou (2017).

Por lo tanto, la huella de carbono de los parques eólicos ejecutados en el Perú se obtuvo como producto de la producción eólica anual en MWh y la cantidad de kg CO<sub>2</sub> eq. (ver Tabla 23). De esta se puede observar que en total se alcanzaría una huella de carbono estimada de 14'281 ton CO<sub>2</sub> eq. correspondiente al procesamiento y producción de los componentes de las turbinas eólicas, así como al transporte de los mismos.

Tabla 23: Huella de carbono de los parques eólicos terrestres en el Perú.

Parque eólico	Producción eólica (MWh/año)	Huella de carbono (ton CO <sub>2</sub> eq.)
Talara	119'673	1'077
Marcona	148'378	1'335
Cupisnique	302'952	2'727
Tres Hermanas	415'760	3'742
Wayra	600'000	5'400
<b>Total</b>	<b>1'586'763</b>	<b>14'281</b>

Fuente: Elaboración Propia.

De la misma manera, se puede apreciar la huella de carbono que se produciría si se plantease un parque eólico marino en los emplazamientos marinos de la provincia de Pacasmayo, Talara y Nazca, ver Tabla 24.

Tabla 24: Emisión de CO<sub>2</sub> eq según fuente energética y emplazamiento marino.

Emplazamiento (Provincia)	Producción eólica (MWh/año)	Huella de carbono (ton CO <sub>2</sub> eq.)
Pacasmayo	124'229	1'938
Talara	125'952	1'965
Nazca	136'410	2,128
<b>Total</b>	<b>386'591</b>	<b>6'031</b>

Fuente: Elaboración propia.

<sup>14</sup> **Huella de carbono:** Es la cantidad total de CO<sub>2</sub> y otros gases GEI emitidos durante el ciclo de vida del producto, es decir, desde que se extrae la materia prima del mismo hasta el término de su función (Baldwin, 2006).



Para analizar la emisión de CO<sub>2</sub> eq. que se evitaría generar por parte de los combustibles fósiles y sus derivados se presenta la Tabla 25, que nos muestra los factores de emisión en el sector eléctrico peruano mediante 3 fuentes convencionales como el gas natural, diésel y residuales, y carbón. En otras palabras, conociendo la producción de energía en un año de operación, se podrá calcular la cantidad de CO<sub>2</sub> eq. que se podría evitar si se utilizara una fuente energética renovable en vez de una fuente no renovable.

Tabla 25: Factor de emisión de CO<sub>2</sub> eq. para el sector eléctrico peruano.

Fuente energética	Unidad de producción	ton CO <sub>2</sub> eq.
Gas natural	1 MWh	0.430
Diésel y residuales		0.818
Carbón		0.955

Fuente: Osinergmin (2014).

A continuación, se muestran las emisiones de carbono que se han evitado producir por el empleo de las energías renovables en la matriz energética peruana. Adicionalmente, se observa que en conjunto estas energías renovables ayudan a disminuir las emisiones de GEI en la producción de electricidad. El aporte de producción de energía estimada en un año de operación para la fuente eólica fue de 1'586.76 GWh, mientras que para la fuente solar fue de 655.94 GWh al año 2018 (Osinergmin, 2017). Con estos valores, se determinó la emisión de CO<sub>2</sub> eq. por tipo de energía renovable y según la fuente energética en evaluación (ver Tabla 26).

Tabla 26: Emisión de CO<sub>2</sub> eq según la producción de energía eólica y solar.

Fuente energética	Emisión de CO <sub>2</sub> eq. por año (toneladas)		
	Energía eólica	Energía solar	Energías renovables
Gas natural	682'308	282'055	964'363
Diésel y residuales	1'297'972	536'561	1'834'533
Carbón	1'515'359	626'425	2'141'783

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera en la Tabla 27, con los valores obtenidos en la tabla anterior, se ha calculado la reducción de emisiones de carbono para el sector eléctrico y para el total de emisiones de GEI según el inventario de emisiones de GEI al año 2012, cuyo estimado fue de 171 millones de ton CO<sub>2</sub> eq (ver Figura 18).

Tabla 27: Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> eq en el sector eléctrico peruano.

Fuente energética	Sector Eléctrico	Total GEI
Gas natural	3.6 %	0.6 %
Diésel y residuales	6.8 %	1.1 %
Carbón	8.0 %	1.3 %

Fuente: Elaboración propia.

## **CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **6.1. Evaluación de la producción eólica**

La producción de energía estimada para los 3 emplazamientos marinos fue obtenida mediante la aplicación Web-GIS. Asimismo, se esperaba que la provincia de Ica tuviese mayor producción eólica que los otros 2 emplazamientos ubicados en mar peruano. Debido a que previamente se evaluaron las regiones con mayor intensidad de vientos a 100 m. de altura en el mapa nacional de potencial eólico anual (ver Anexo 1). Cabe señalar que la producción eólica estimada por la aplicación es calculada para una turbina eólica genérica de 3 MW de potencia unitaria a una altura de 100 m.

Como se puede apreciar en la Tabla 12 y Tabla 14, la producción eléctrica en el emplazamiento marino de la provincia de Pacasmayo es superior al parque eólico Talara ubicado en la superficie terrestre. Pese a contar con un menor número de turbinas eólicas y potencia instalada. En otras palabras, se genera mayor producción de electricidad con un menor número de turbinas, debido a la gran intensidad de vientos presentes en el espacio marino (Zountouridou et al., 2015).

De los parques eólicos marinos a plantearse sobre mar peruano, se observa que la provincia de Nazca presenta 136'410 MWh de generación eléctrica en un año de operación con un menor número de aerogeneradores. Es decir, esta es superior en comparación con la producción de energía estimada en los emplazamientos marinos de las provincias de Talara y Pacasmayo quienes presentan un mayor número de turbinas en su emplazamiento, pero menor producción eólica (ver Tabla 14).

### **6.2. Evaluación de la inversión total estimada en los parques eólicos**

Como se puede apreciar en la Tabla 17, los montos estimados de inversión presentados por Osinergmin (2016) son valores conservadores y referenciales, pues estos no indican el desagregado del monto total de inversión. Sin embargo, existe una cercanía comparándolos con los montos propuestos por la literatura, basados como porcentajes del capital inicial de inversión y la potencia instalada del parque eólico.

Por otro lado, se estimó que el monto total de inversión representado por torre eólica en un parque eólico terrestre varía entre US\$ 5.36 y 6.22 MM. En tal sentido, lo más conveniente es proyectar menor cantidad de aerogeneradores en el emplazamiento, pero con mayor potencia unitaria instalada que permita obtener mayor producción de energía (Wang et al., 2018). Debido a que el costo de las turbinas eólicas en un emplazamiento marino (30-50 %) y terrestre (65-84 %)



representa un alto porcentaje del capital de inversión, el cual incrementaría el costo de inversión total del proyecto.

Además, con apoyo de la literatura, se realizaron las estimaciones de inversión total para los parques eólicos marinos a plantearse en las provincias de Ica, Talara y Pacasmayo. De este análisis se obtuvo que es conveniente apostar por un emplazamiento marino con gran intensidad de vientos. De tal modo que nos permita reducir el número de turbinas eólicas y, por ende, el monto total de la inversión (ver Tabla 19).

### 6.3. Evaluación de la huella de carbono en las fuentes de energía eléctrica

El mix eléctrico peruano presenta una gran diferencia con respecto al mix eléctrico europeo encontrado en la literatura. Es decir, la huella de carbono en el sector eléctrico peruano es más sostenible que la de los casos evaluados en países de Europa. Por ello, cabe señalar que la huella de carbono en el mix eléctrico peruano alcanza un valor de 309 kg. CO<sub>2</sub> eq/MWh (SimaPro 8.3, 2015). Mientras que el mix eléctrico europeo alcanza un valor promedio de 290 kg. CO<sub>2</sub> eq/MWh, pero individualmente alcanza valores de hasta 500 kg. CO<sub>2</sub> eq/MWh (Casals et al., 2016).

La huella de carbono para una misma fuente de generación eléctrica como la eólica presenta variaciones según las condiciones del emplazamiento en que se ubican las turbinas eólicas, sean estas en una superficie terrestre o marina. Debido a que existe un cambio en el transporte, la instalación, el diseño de la cimentación y las conexiones eléctricas (Kaldellis & Apostolou, 2017).

La huella de carbono estimada entre un parque eólico terrestre y marino con similar producción eólica, nos da como resultado que el emplazamiento marino presenta mayor huella de carbono. Debido a las diferencias que se presentan en el análisis del ciclo de vida de cada parque eólico, principalmente en el transporte de los materiales al espacio marino.

Por otro lado, las emisiones de GEI que no se emiten a la atmósfera gracias a la utilización de las fuentes renovables como la eólica y solar, nos permiten contribuir en la mitigación del calentamiento global. Por ello, empleando el inventario de GEI al año 2012, se obtuvo una reducción de emisiones entre 3.6 y 8 % en el sector eléctrico, mientras que una reducción total de emisiones entre 0.6 y 1.3 %.

## **CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS**

### **7.1. Conclusiones**

Las legislaciones peruanas, respecto a los recursos energéticos renovables (RER), fomentan la generación de energía eléctrica limpia y apuestan por el desarrollo de la diversificación de la industria energética peruana. En tal sentido, estas regulaciones deben ser revisadas y mejoradas periódicamente por los especialistas de tal manera que incentiven a las empresas privadas a seguir apostando por el desarrollo de energía eléctrica con cero emisiones de carbono al medio ambiente.

La aplicación de la energía eólica marina implica la intervención de un espacio marino. Por ello, también existen legislaciones que se encargan de proteger el desarrollo de la fauna y flora que se vea amenazado por el hombre. Por tal motivo, lo más conveniente es plantear un emplazamiento marino que se encuentre fuera de la zona protegida por el Estado peruano o alguna entidad no gubernamental.

El espacio marino seleccionado como caso de estudio en la región Ica (Nazca), Piura (Talara) y La Libertad (Pacasmayo) cumple con los criterios referidos en el Capítulo 4.2 del Atlas Eólico del Perú, pues presentan como factor predominante velocidades de viento de gran intensidad en todo su litoral según los mapas eólicos presentes en el Atlas.

La producción de energía eléctrica estimada en un año de operación fue de 15.74, 17.75 y 22.74 GWh para la zona marina de Talara, Pacasmayo y Nazca, respectivamente. Del cual se aprecia que el emplazamiento de estudio con mayor potencial de vientos se encuentra en la región Ica. No obstante, esta región es la que presenta gran extensión de área marina protegida por el Estado como la Reserva de Paracas (Pisco) y la Reserva de San Fernando (Nazca).

La construcción del parque eólico terrestre Talara representó una inversión aproximada de US\$ 101 millones. Mientras que la construcción de un parque eólico marino en la región Ica representaría un monto aproximado de US\$ 121 millones. Sin embargo, la construcción del parque eólico marino sería más rentable y productivo, pues en comparación con uno en tierra presenta mayor producción de energía al año con un menor número de turbinas eólicas.

Según se aprecia en la Tabla 20, las fuentes renovables presentan un menor impacto en su ciclo de vida, pues durante la operación de estas fuentes para la generación de electricidad no se emiten gases de efecto invernadero al medio ambiente. En comparación con las fuentes convencionales de generación de energía que producen emisiones de GEI desde la extracción de la materia prima hasta su operación.

## 7.2. Comentarios

Pese a que la presente investigación da a conocer el potencial eólico que presentan las zonas costeras de las regiones de Ica, Piura y La Libertad; no se descarta que se puedan desarrollar proyectos eólicos a menor o mayor escala en las zonas rurales de Cajamarca, Ancash, Ayacucho y en general en las provincias adyacentes al paso de la Cordillera de los Andes por la gran intensidad de vientos (ver Anexo 1).

Las energías renovables presentan menor huella de carbono que las energías convencionales como el gas natural, el petróleo y el carbón. Sobre todo, la energía eólica es quien muestra menor emisión de carbono durante su ciclo de vida (ver Tabla 20), el cual involucra la extracción de la materia prima, el procesamiento, el transporte, la operación, el mantenimiento, el desmantelamiento y el reciclaje (Yang et al., 2018).

Pese a que la huella de carbono en un parque eólico marino (15.6 kg CO<sub>2</sub>/MWh) es superior comparado con un parque eólico terrestre (9.0 kg CO<sub>2</sub>/MWh), esto se puede ver compensado al obtener mayor producción anual eólica dentro del espacio marino. Es decir, existe mayor intensidad de vientos mar adentro que en la costa, lo cual significaría mayor producción de energía eléctrica limpia.

Es conveniente económicamente que los parques eólicos terrestres o marinos a plantearse en la costa peruana, cuenten con un menor número de turbinas, pero de mayor potencia unitaria. Tal es el caso del P.E. Talara que cuenta con 30 MW de potencia instalada (17 turbinas de 1.8 MW) y presentó una inversión estimada de US\$ 101 millones. Mientras que el P.E. Marcona cuenta con 2 MW de potencia instalada más y 6 turbinas eólicas menos, y presentó una inversión aproximada de US\$ 40 millones menos. La misma situación ocurre con el P.E. Cupisnique y Tres Hermanas.

Los aerogeneradores actuales generan menor ruido y no perturban la vida de las aves y pobladores cercanos a estos debido a que son menos ruidosos y giran a menor velocidad (Posso, 2002). Por ende, no se deben crear ideas negativas al respecto de esta fuente renovable la cual busca mitigar el uso de los combustibles fósiles y sus efectos dañinos para el planeta.

La elección de la cimentación depende de la profundidad del fondo marino. No obstante, una opción es plantearlas lo más cercanas a las orillas, de tal manera que los costos por cimentación se puedan reducir en alguna medida. Teniendo en consideración los impactos que este puede generar en la calidad de vida del ecosistema marino y de la población más próxima al emplazamiento.

La energía eléctrica generada por las fuentes renovables como la eólica y la solar es recaudada en las subestaciones eléctricas más cercanas para luego ser insertadas al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), finalmente esta es distribuida a los hogares peruanos. Es decir, el costo de implementación y operación lo asumimos todos los peruanos y no la región en la que se ubica la fuente eólica.

La etapa de construcción y operación del parque eólico marino podría generar algunos efectos como colisión, perturbación y alteración del hábitat en las aves (Laranjeiro et al., 2018). De la misma manera, podría suceder con las especies marinas que podrían migrar de un espacio marino a otro debido a la etapa de construcción. Por ello, se deben tener en consideración estos y otros aspectos de tal manera que se afecte en lo menor posible la vida de la fauna en la zona.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acciona (2017). Energía eólica ¿Cuánta energía se crea a partir del viento en todo el mundo? Consulta: 19 de noviembre de 2017. Obtenido de: <https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-eolica/?gclid=EAlalQobChMloayA7ezJ1wIVWrbACh0Soww8EAAYASAAEgJRQPBwE>
- Amell-Arrieta, A., Agudelo-Santamaría, J., & Cadavid, F. (2016). El gas natural: ¿nuevo vector energético? *Revista Facultad de Ingeniería*, (25), 36-48.
- American Petroleum Institute (API, 2017). Offshore Access to oil and gas natural resources. Safety and technology. Producing offshore, Part1. Consulta: 07 de noviembre de 2017. Obtenido de: [http://www.api.org/oil-and-natural-gas-overview/exploration-and-production/offshore/~/\\_media/Files/Oil-and-Natural-Gas/Offshore/OffshoreAccess-primer-highres.pdf](http://www.api.org/oil-and-natural-gas-overview/exploration-and-production/offshore/~/_media/Files/Oil-and-Natural-Gas/Offshore/OffshoreAccess-primer-highres.pdf)
- Aliyu, A. K., Modu, B., & Tan, C. W. (2017). A review of renewable energy development in Africa: A focus in South Africa, Egypt and Nigeria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 81, January 2018, Pages 2502-2518.
- Antonio Colmenar-Santos, Javier Perera-Perez, David Borge-Diez, Carlos dePalacio Rodríguez (2016). Offshore wind energy: A review of the current status, challenges and future development in Spain, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 64, October 2016, Pages 1-18.
- Arshad, M. & O'Kelly, B (2013). Offshore wind-turbine structures: a review. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Energy*, 166(4), Pages 139-152.

- Asociación Empresarial Eólica (AEE, 2011). La eólica en el mundo. Consulta: 02 de julio de 2017. Obtenido de: <https://www.aeeolica.org/es/sobre-la-eolica/la-eolica-en-el-mundo/>
- Atlas Eólico del Perú (2016). Consulta: 14 de marzo de 2017. Obtenido de: <http://deltavolt.pe/atlas/eolico>
- Bailey, Helen & Brookes, Kate & Thompson, Paul. (2014). Assessing Environmental Impacts of Offshore Wind Farms: Lessons Learned and Recommendations for the Future. *Aquatic biosystems*, 10(1), 8.
- Baldwin, S. (2006). Carbon footprint of electricity generation. London: Parliamentary Office of Science and Technology, 268.
- Balsalobre-Lorente, D., Shahbaz, M., Roubaud, D., & Farhani, S. (2018). How economic growth, renewable electricity and natural resources contribute to CO<sub>2</sub> emissions? *Energy Policy*, 113, 356-367.
- Caminada R. (2016). Energías Renovables: el Desarrollo de la Energía Eólica en el Perú. Universidad de San Martín de Porres, Facultad de Derecho.
- Casals, L. C., Martínez-Laserna, E., García, B. A., & Nieto, N. (2016). Sustainability analysis of the electric vehicle use in Europe for CO<sub>2</sub> emissions reduction. *Journal of cleaner production*, 127, 425-437.
- COES (2018). Mapa del SEIN. Sistema Eléctrico Interconectado Nacional. Consulta: 14 de julio de 2017. Obtenido de: <http://www.coes.org.pe/Portal/Operacion/CaractSEIN/MapaSEIN>
- Congreso de la República (1997). Ley N° 26821-1997-EM. Ley orgánica para el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales. Lima, 26 de junio. Consulta: 07 de setiembre de 2017. Obtenido de: <http://www.minam.gob.pe/disposiciones/ley-n-26821/>
- Congreso de la República (1997). Ley N° 26834-1997-CR. Ley de Áreas Naturales Protegidas. Consulta: 15 de octubre de 2017. Obtenido de: <http://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-areas-naturales-protegidas>
- Congreso de la República (2008). Decreto Legislativo N°1002-2008-EM. Promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables. Lima, 01 de mayo. Consulta: 06 de setiembre de 2017. Obtenido de: <http://www2.osinerg.gob.pe/MarcoLegal/docrev/D.%20Leg.%201002-CONCORDADO.pdf>
- Congreso de la República (2008). Decreto Supremo N°050-2008-EM. Reglamento de la generación de electricidad con energías renovables. Lima, 01 de octubre. Consulta: 06 de setiembre de 2017. Obtenido de: <http://suelosolar.com/IMAGES/SuelosolarDECRETOSUPREMO.pdf>

- Cueva, G. V. (2011). Recursos Energéticos Renovables: aproximaciones conceptuales y determinación de su necesidad de implementación en el Perú. *Revista de Derecho Administrativo*, (12), 97-106.
- Dahai Zhang, Jiaqi Wang, Yonggang Lin, Yulin Si, Can Huang, Jing Yang, Bin Huang, Wei Li (2017). Present situation and future prospect of renewable energy in China, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 76, September 2017, Pages 865-871.
- Deichmann, U., Meisner, C., Murray, S., & Wheeler, D. (2011). The economics of renewable energy expansion in rural Sub-Saharan Africa. *Energy Policy*, 39(1), 215-227.
- Enel (2017). Enel construye el parque eólico más grande del Perú. Consulta: 09 de setiembre de 2017. Obtenido de: <https://www.enel.pe/es/prensa/press/d201709-enel-construye-el-parque-eolico-ms-grande-del-per.html>
- Enel (2018). Rubí: energía solar para una nueva era. Consulta: 03 de julio de 2018. Obtenido de: <https://www.enel.pe/es/prensa/press/d201803-enel-inaugura-la-planta-solar-mas-grande-del-peru.html>
- Enevoldsen, P., & Valentine, S. V. (2016). Do onshore and offshore wind farm development patterns differ? *Energy for Sustainable Development*, 35, 41-51.
- Esteban, M. D., Díez, J. J., López, J. S., & Negro, V. (2011). Why offshore wind energy? *Renewable Energy*, 36(2), 444-450.
- Excelmes, H., & Yuvalena, I. (2011). Análisis del marco normativo nacional e internacional para el manejo integrado de las zonas marino costeras. Consulta: 07 de setiembre de 2017. Obtenido de: <http://consultorias.minam.gob.pe/cons/handle/minam/152>
- Fernandini, S., Mariño, S. & Motta, S. (2007). Propuesta estratégica para el desarrollo de la energía eólica en el Perú. Centro de Negocios de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Fundación Integra (2016). Molinos de viento. Un patrimonio de Cine. Consulta: 14 de agosto de 2017. Obtenido de: <https://www.youtube.com/watch?v=TnG5e1Sa93E>
- Furlan, C., & Mortarino, C. (2017). Forecasting the impact of renewable energies in competition with non-renewable sources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1879-1886.

- García-Carmona, A., & Criado, A. M. (2008). Enfoque CTS en la enseñanza de la Energía Nuclear: análisis de su tratamiento. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 26(1), 107-124.
- Garfias, L. A. (2010). Perú, país marítimo. Pontificia Universidad Católica del Perú. CENTRUM. Consulta: 11 de setiembre de 2017. Obtenido de: [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/8B3C17E2FE336FF905257B4400745BE8/\\$FILE/14\\_PERU\\_PA%C3%8DS\\_MARITIMO.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/8B3C17E2FE336FF905257B4400745BE8/$FILE/14_PERU_PA%C3%8DS_MARITIMO.pdf)
- Gas Natural Fenosa (2017). Compromiso y sostenibilidad. Centrales de ciclo combinado. Consulta: 12 de febrero de 2018. Obtenido de: <https://www.gasnaturalfenosa.es/es/somos+energia/compromiso+y+sostenibilidad/cambio+climatico/energias+responsables/1297101993224/ciclos+combinados.html>
- Geng, L., Liu, T., Zhou, K., & Yang, G. (2018). Can power affect environmental risk attitude toward nuclear energy? *Energy Policy*, 113, 87-93.
- Gil García, G. (2008). Energías del siglo XXI: de las energías fósiles a las alternativas (No. 620.9). e-libro, Corp.
- Global Wind Energy Council (2015). Global Wind Report 2015. Consulta: 15 de agosto de 2017. Obtenido de: <http://www.gwec.net/publications/global-wind-report-2/>
- Global Wind Energy Council (2016). Offshore Wind. Obtenido de: <http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2017/05/Global-Offshore-2016-and-Beyond.pdf>
- Global Wind Energy Council (2017). Global Wind Statistics 2017. Consulta: 02 de agosto de 2018. Obtenido de: [http://gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC\\_PRstats2017\\_EN-003\\_FINAL.pdf](http://gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC_PRstats2017_EN-003_FINAL.pdf)
- González-Mingueza, C., & Muñoz-Gutiérrez, F. (2014). RETRACTED: Wind prediction using Weather Research Forecasting model (WRF): A case study in Peru.
- Grupo Propuesta Ciudadana (2017). Camisea ¿Para quién es el gas? Entre el consumo interno y la exportación. Consulta: 18 de octubre de 2018.
- Hernández-Escobedo, Q., Manzano-Agugliaro, F., & Zapata-Sierra, A. (2010). The wind power of Mexico. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9), 2830-2840.
- Hernández-Escobedo, Q., Perea-Moreno, A. J., & Manzano-Agugliaro, F. (2018). Wind energy research in Mexico. *Renewable Energy*, 123, 719-729.



- IPCC (2011). Fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático. Grupo intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Consulta: 09 de Julio de 2018. Obtenido de: [https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/srren\\_report\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/srren_report_es.pdf)
- Kaldellis, J. K., & Apostolou, D. (2017). Life cycle energy and carbon footprint of offshore wind energy. Comparison with onshore counterpart. *Renewable Energy*, 108, 72-84.
- Ki-Yong Oh, Woochul Nam, Moo Sung Ryu, Ji-Young Kim, Bogdan I. Epureanu (2018) A review of foundations of offshore wind energy convertors: Current status and future perspectives, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 88, 16-36.
- Laranjeiro, T., May, R., & Verones, F. (2018). Impacts of onshore wind energy production on birds and bats: recommendations for future life cycle impact assessment developments. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 1-17.
- Méndez, C. A. O., Armenta, M. F., & Silva, G. R. (2011). Potencial geotérmico de la República Mexicana. *Geotermia*, 50.
- Merino, L. (2003). Las energías renovables. España: fundación de la energía de la comunidad de Madrid. Consulta: 09 de julio de 2018. Obtenido de: <http://media1.webgarden.es/files/media1:4befe784280d2.pdf.upl/E.renovables.pdf>
- MINAM (2015). Resolución Ministerial N° 189. Lineamientos para el manejo integrado de las zonas marino costeras. Ministerio del Ambiente. Consulta: 06 de setiembre de 2017. Obtenido de: <http://legislacionnp.org.pe/lineamientos-para-el-manejo-integrado-de-las-zonas-marino-costeras/>
- MINAM (2015). Contribución Nacional del Perú- iNDC: agenda para un desarrollo climáticamente responsable. Ministerio del Ambiente. Consulta: 02 de abril de 2018. Obtenido de: <http://www.minam.gob.pe/cambioclimatico/wp-content/uploads/sites/11/2015/12/LA-CONTRIBUCI%C3%93N-NACIONAL-DEL-PER%C3%9A1.pdf>
- MINAM (2016). Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2012. Infocarbono: Plataforma sobre Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Consulta: 23 de julio de 2018. Obtenido de: <http://infocarbono.minam.gob.pe/>
- MINAM (2017). Punta San Juan: reserva marina, reserva de vida. Servicio Nacional de Áreas Protegidas por el Estado. Ministerio del Ambiente. Consulta: 28 de febrero de 2018. Obtenido de:



[http://old.sernanp.gob.pe/sernanp/archivos/imagenes/2015/banners/mirada/brochure\\_puntasanjuan.pdf](http://old.sernanp.gob.pe/sernanp/archivos/imagenes/2015/banners/mirada/brochure_puntasanjuan.pdf)

MINAM (2018). Las contribuciones nacionales en el Perú. ¿Por qué el Perú debe presentar su Contribución Nacional? Consulta: 02 de abril de 2018. Obtenido de: <http://www.minam.gob.pe/indcs/las-contribuciones-nacionales-en-el-peru/>

MINEM (2011). Potencial de las energías renovables en el Perú. Consulta: 08 de agosto de 2018. Obtenido de: <http://www.osinerg.gob.pe/newweb/uploads/Publico/SeminarioIntEFERP/Miércoles%205.10.2011/3.%20Potencial%20de%20Energías%20Renovables%20DGE-%20Roberto%20Tamayo.pdf>

MINEM (2016). Anuario Ejecutivo de Electricidad 2016. Consulta: 06 de agosto de 2018. Obtenido de: [http://www.minem.gob.pe/\\_publicacion.php?idSector=6&idPublicacion=5](http://www.minem.gob.pe/_publicacion.php?idSector=6&idPublicacion=5)

MINEM (2016). Balance Nacional de Energía 2016. Consulta: 07 de agosto de 2018. Obtenido de: [http://www.minem.gob.pe/\\_publicacion.php?idSector=12&idPublicacion=570](http://www.minem.gob.pe/_publicacion.php?idSector=12&idPublicacion=570)

MINEM (2016). Capítulo 1: Balance y principales indicadores eléctricos 2016. Dirección General de Electricidad Consulta: 17 de febrero de 2018. Obtenido de: <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/Capitulo%201%20Balance%20e%20Indicadores%202016.pdf>

MINEM (2016). Capítulo 2: Estadística Eléctrica por regiones. Dirección General de Electricidad. Consulta: 23 de noviembre de 2017. Obtenido de: <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/Capitulo%202%20Estadística%20por%20Regiones%202016%20corregido.pdf>

MINEM (2016). Capítulo 3: Generación de energía eléctrica. Dirección General de Electricidad. Consulta: 17 de febrero de 2018. Obtenido de: <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/Capitulo%203%20Generación%20eléctrica%202016.pdf>

MINEM (2016). Capítulo 10: Evoluciones en el subsector eléctrico. Dirección General de Electricidad. Consulta: 17 de febrero de 2018. Obtenido de: <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/Capitulo%2010%20Evoluciones%202016.pdf>

- MINEM (2017). MINEN culminó estudios sobre potencial hidroeléctrico y eólico en el país. Consulta: 10 de mayo de 2017. Obtenido de: [http://www.minem.gob.pe/\\_detallenoticia.php?idSector=6&idTitular=7751](http://www.minem.gob.pe/_detallenoticia.php?idSector=6&idTitular=7751)
- MINEM (2017). Dirección General de Hidrocarburos. Informe Plan de Desarrollo de los Recursos de Hidrocarburos 2017-2021. Consulta: 29 de agosto de 2017. Obtenido de: [http://www.minem.gob.pe/\\_publicacion.php?idSector=5&idPublicacion=556](http://www.minem.gob.pe/_publicacion.php?idSector=5&idPublicacion=556)
- Moreno Diaz, A. H. y Moreno Begazo M. A. (2017). Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta de energía eólica en Paracas (trabajo de investigación para optar el título profesional de Ingeniero Industrial). Universidad de Lima.
- ONU (2014). ¿Qué es la COP? Consulta: 20 de febrero de 2018. Obtenido de: <http://onu.org.pe/cop-20/que-es-la-cop-20/>
- ONU (2018). Objetivos de Desarrollo Sostenible (Objetivo 7). Consulta: 16 de febrero de 2018. Obtenido de: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>
- Osinergmin (2014). La industria del gas natural en el Perú. A diez años del proyecto Camisea. Consulta: 30 de agosto de 2017. Obtenido de: [http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/Institucional/Estudios\\_Economicos/Libros/Libro-Industria-Gas-Natural-Peru-10anios-Camisea.pdf](http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Libro-Industria-Gas-Natural-Peru-10anios-Camisea.pdf)
- Osinergmin (2016). La industria de la electricidad en el Perú: 25 años de aportes al crecimiento económico del país. Consulta: 21 de noviembre de 2017. Obtenido de: [http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/Institucional/Estudios\\_Economicos/Libros/Osinergmin-Industria-Electricidad-Peru-25anios.pdf](http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Industria-Electricidad-Peru-25anios.pdf)
- Osinergmin (2017). División de Supervisión de Electricidad. Supervisión de contratos de proyectos de generación y transmisión de energía eléctrica en operación. Consulta: 27 de agosto de 2017. Obtenido de: <http://www.osinergmin.gob.pe/empresas/electricidad/proyectos/publicaciones>
- Osinergmin (2017). Información Institucional. Nosotros: ¿Quiénes somos? Consulta: 28 de agosto de 2017. Obtenido de: [http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/institucional/acerca\\_osinergmin/quienes\\_somos](http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/institucional/acerca_osinergmin/quienes_somos)

- Pehnt, M. (2006). Dynamic life cycle assessment (LCA) of renewable energy technologies. *Renewable energy*, 31 (1), 55-71.
- Pereira, M. G., Camacho, C. F., Freitas, M. A. V., & Da Silva, N. F. (2012). The renewable energy market in Brazil: Current status and potential. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), 3786-3802.
- Pérez-Collazo, C., Greaves, D., & Iglesias, G. (2015). A review of combined wave and offshore wind energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 141-153.
- Perveen, R., Kishor, N., & Mohanty, S. R. (2014). Off-shore wind farm development: present status and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 780-792.
- Posso, F. (2002). Energía y ambiente: pasado, presente y futuro. Parte dos: sistema energético basado en energías alternativas. *Geoenseñanza*, 7(1-2), 54-73.
- PlanCC (2014). Escenarios de mitigación del cambio climático en el Perú al 2050: construyendo un desarrollo bajo en emisiones. Reporte final fase 1 (documento técnico). Consulta: 10 de julio de 2018.
- PlanCC (2016). Actualización del Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de Perú al año 2009. Principales resultados de la fase 1. Consulta: 10 de julio de 2018.
- PNUD (2018). ¿Cuál es la función del PNUD? Consulta: 16 de febrero de 2018. Obtenido de: <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>
- Puig, J. (2006). La energía no conoce fronteras. *Energías Renovables*. Pp. 32-37. Consulta: 02 de julio de 2017. Obtenido de: [http://www.wwindea.org/home/images/stories/publications/er46\\_elica\\_mundo.pdf](http://www.wwindea.org/home/images/stories/publications/er46_elica_mundo.pdf)
- Rand, J., & Hoen, B. (2017). Thirty years of North American wind energy acceptance research: What have we learned? *Energy Research & Social Science*, 29, 135-148.
- Santamarta, J. (2004). Las Energías Renovables son el Futuro. Consulta: 21 mayo de 2017. Obtenido de: <http://www.nodo50.org/worldwatch/ww/pdf/Renovables.pdf>
- Santamarta, J. (2011). Revista Eólica y del vehículo eléctrico. Asia se convirtió en el punto focal de la energía eólica en 2010. Consulta: 02 de julio de 2017. Obtenido de: <https://www.evwind.com/2011/04/11/asia-se-convirtio-en-el-punto-focal-de-la-energia-eolica-en-2010-por-jose-santamarta/>

- SERNANP (2017). Reserva Nacional de Paracas. Nuestras Áreas Naturales Protegidas. Consulta: 18 de mayo de 2017. Obtenido de: <http://www.sernanp.gob.pe/de-paracas>
- SERNANP (2017). Reserva Nacional de San Fernando. Nuestras Áreas Naturales Protegidas. Consulta: 27 de mayo de 2017. Obtenido de: <http://www.sernanp.gob.pe/san-fernando>
- SERNANP (2017). Zona Reservada de Illescas. Nuestras Áreas Naturales Protegidas. Consulta: 01 de junio de 2017. Obtenido de: <http://www.sernanp.gob.pe/illescas>
- SgROI, F., Donia, E., & Alesi, D. R. (2018). Renewable energies, business models and local growth. *Land Use Policy*, 72, 110-115.
- SimaPro 8.3. (2015). Proyecto PNUMA. Consulta: 02 de noviembre de 2017.
- Sonnino, A. (1994). Agricultural biomass production is an energy option for the future. *Renewable Energy*, 5 (5-8), 857-865.
- SPDA (2010). Manual de Legislación Ambiental. Sociedad Peruana de Derecho Ambiental. Volumen 2. Consulta: 24 de octubre de 2018. Obtenido de: <https://spda.org.pe/wpfb-file/pioner-02-pdf/>
- Wang, X., Zeng, X., Li, J., Yang, X., & Wang, H. (2018). A review on recent advancements of substructures for offshore wind turbines. *Energy Conversion and Management*, 158, 103-119.
- Walmsley, T. G., Walmsley, M. R., & Atkins, M. J. (2017). Energy Return on energy and carbon investment of wind energy farms: A case study of New Zealand. *Journal of Cleaner Production*, 167, 885-895.
- Watts, D., Oses, N., & Pérez, R. (2016). Assessment of wind energy potential in Chile: A project-based regional wind supply function approach. *Renewable Energy*, 96, 738-755.
- Winkler, H. (2005). Renewable energy policy in South Africa: policy options for renewable electricity. *Energy Policy*, 33(1), 27-38.
- WWEA (2015). New record in worldwide wind installations. Consulta: 02 de julio de 2017. Obtenido de: <http://www.wwindea.org/new-record-in-worldwide-wind-installations/>
- Yang, J., Chang, Y., Zhang, L., Hao, Y., Yan, Q., & Wang, C. (2018). The life-cycle energy and environmental emissions of a typical offshore wind farm in China. *Journal of Cleaner Production*, 180, 316-324.
- Zerrahn, A. (2017). Wind power and externalities. *Ecological Economics*, 141, 245-260.

Zountouridou, E. I., Kiokes, G. C., Chakalis, S., Georgilakis, P. S., & Hatzargyriou, N. D. (2015). Offshore floating wind parks in the deep waters of Mediterranean Sea. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 433-448.



## ÍNDICE

<b>ANEXOS .....</b>	<b>1</b>
<b>ANEXO 1.</b>	
MAPA NACIONAL DE POTENCIAL EÓLICO ANUAL A DIFERENTES ALTURAS .	<b>2</b>
<b>ANEXO 2.</b>	
MAPA EÓLICO DE LA REGIÓN ICA A 80 M.....	<b>8</b>
<b>ANEXO 3.</b>	
MAPA DE VIENTO MEDIO ESTACIONAL, REGIÓN ICA.....	<b>10</b>
<b>ANEXO 4.</b>	
MAPA EÓLICO DE LA REGIÓN PIURA A 80 M.....	<b>12</b>
<b>ANEXO 5.</b>	
MAPA DE VIENTO MEDIO ESTACIONAL, REGIÓN PIURA.....	<b>14</b>
<b>ANEXO 6.</b>	
MAPA EÓLICO DE LA REGIÓN LA LIBERTAD A 80 M.....	<b>16</b>
<b>ANEXO 7.</b>	
MAPA DE VIENTO MEDIO ESTACIONAL, REGIÓN LA LIBERTAD.....	<b>18</b>
<b>ANEXO 8.</b>	
MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE CENTRALES DE ENERGÍA EN EL PERÚ .....	<b>20</b>
<b>ANEXO 9.</b>	
POTENCIA INSTALADA POR TIPO DE ENERGÍA EN EL PERÚ ENTRE 1995- 2018. ....	<b>22</b>
<b>ANEXO 10.</b>	
CARACTERÍSTICAS DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA POR REGIONES EN EL PERÚ. ....	<b>24</b>
<b>ANEXO 11.</b>	
CARACTERÍSTICAS DEL SECTOR ENERGÉTICO A NIVEL NACIONAL Y MUNDIAL. ....	<b>26</b>
<b>ANEXO 12.</b>	
MIX ELÉCTRICO DE PAÍSES EUROPEOS .....	<b>28</b>

**ANEXOS**

---



**ANEXO 1.**

---

**MAPA NACIONAL DE POTENCIAL EÓLICO ANUAL A  
DIFERENTES ALTURAS**



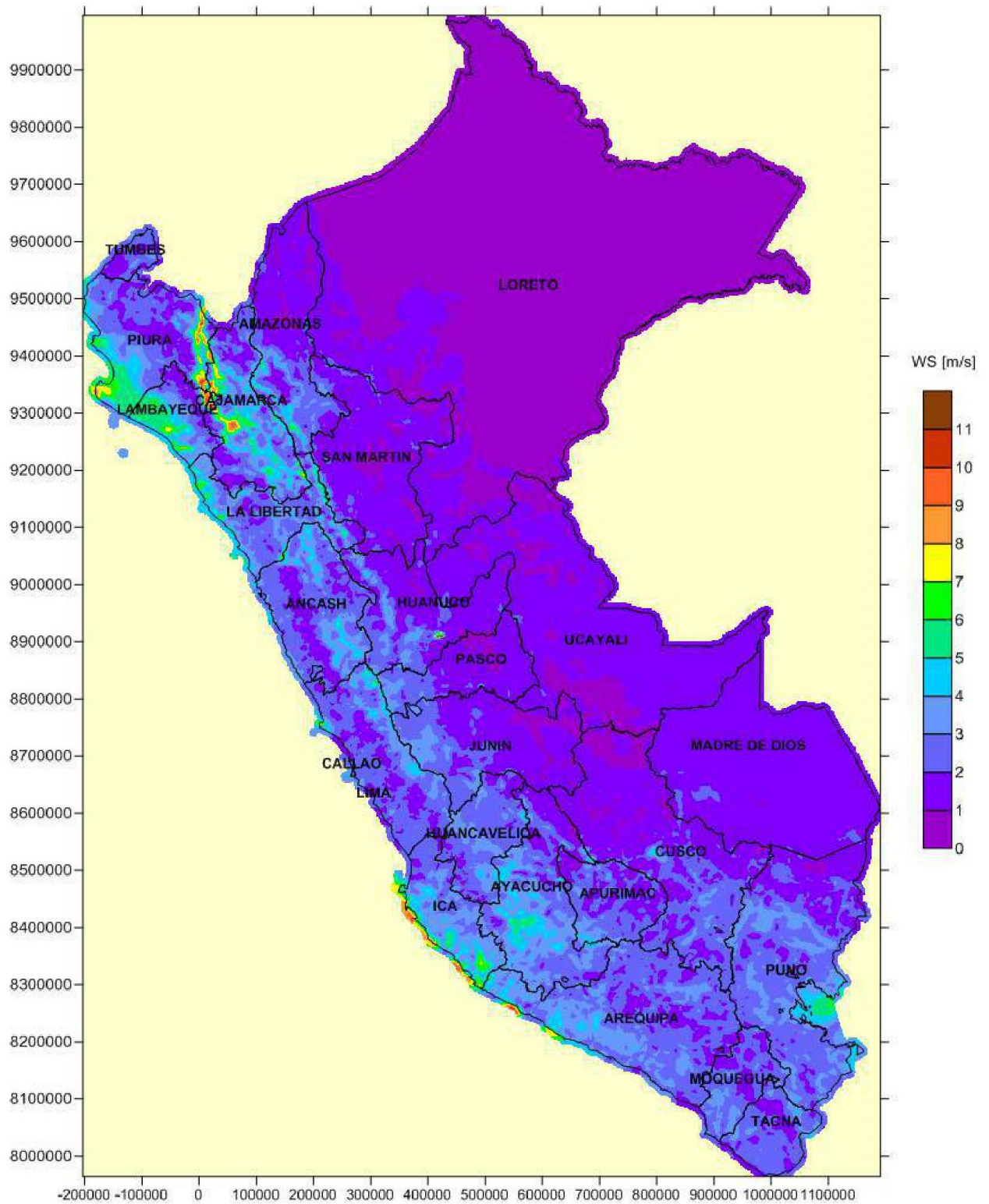


Figura 1: Velocidad media anual del viento a 10 m.  
Fuente: Atlas Eólico del Perú (2016).

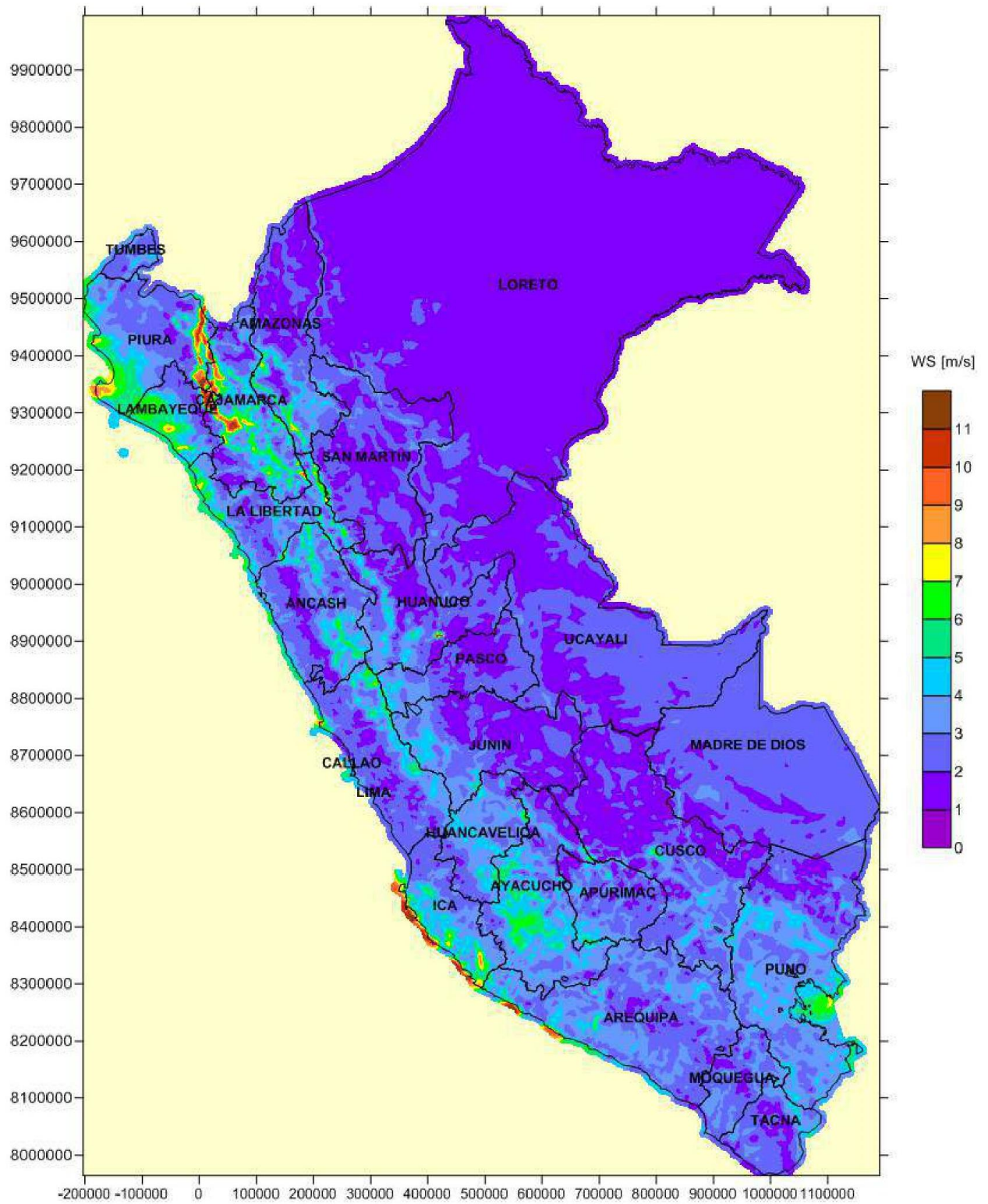


Figura 2: Velocidad media anual del viento a 25 m.  
Fuente: Atlas Eólico del Perú (2016).



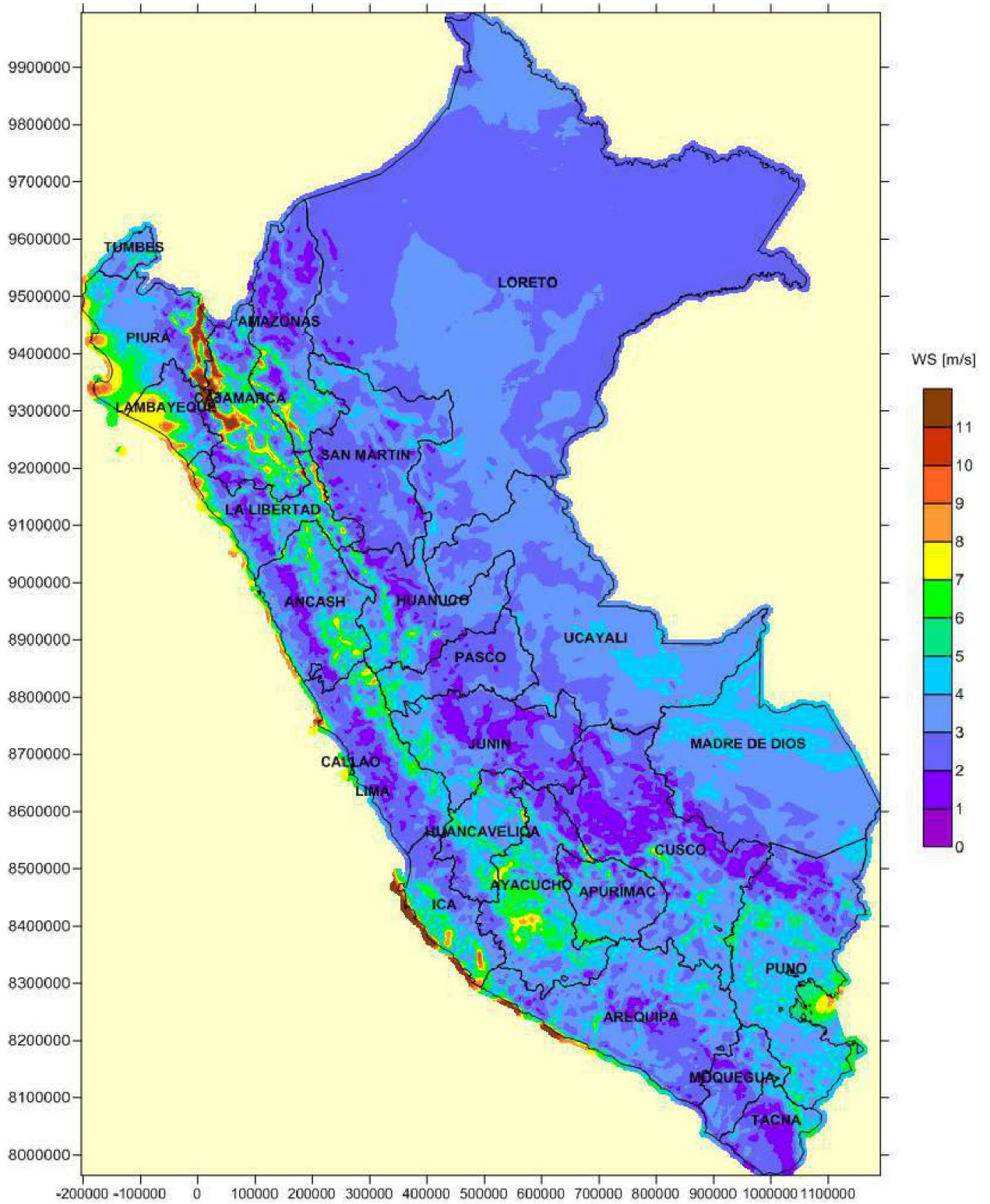


Figura 3: Velocidad media anual del viento a 75 m.  
Fuente: Atlas Eólico del Perú (2016).

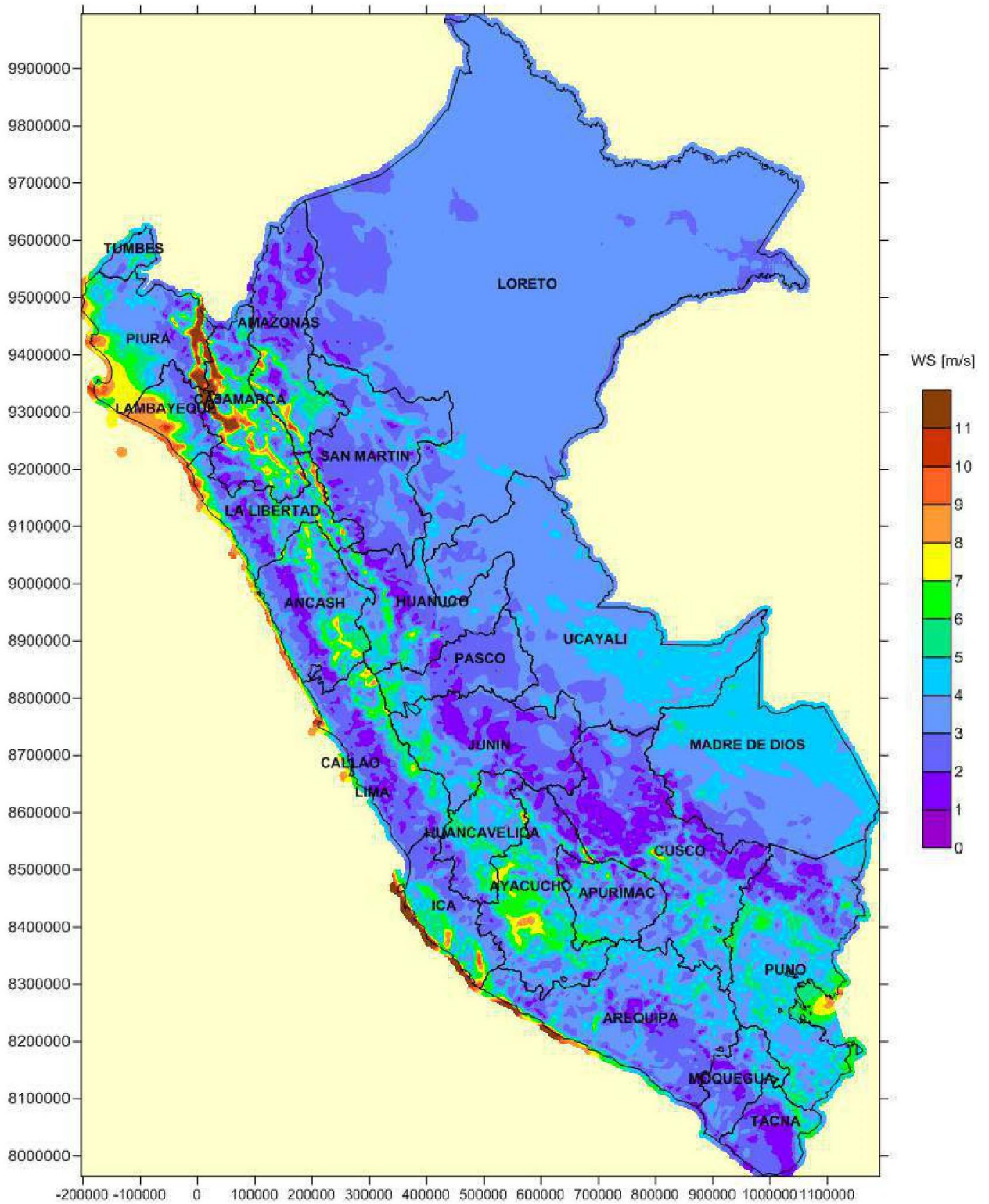


Figura 4: Velocidad media anual del viento a 100 m.  
Fuente: Atlas Eólico del Perú (2016).



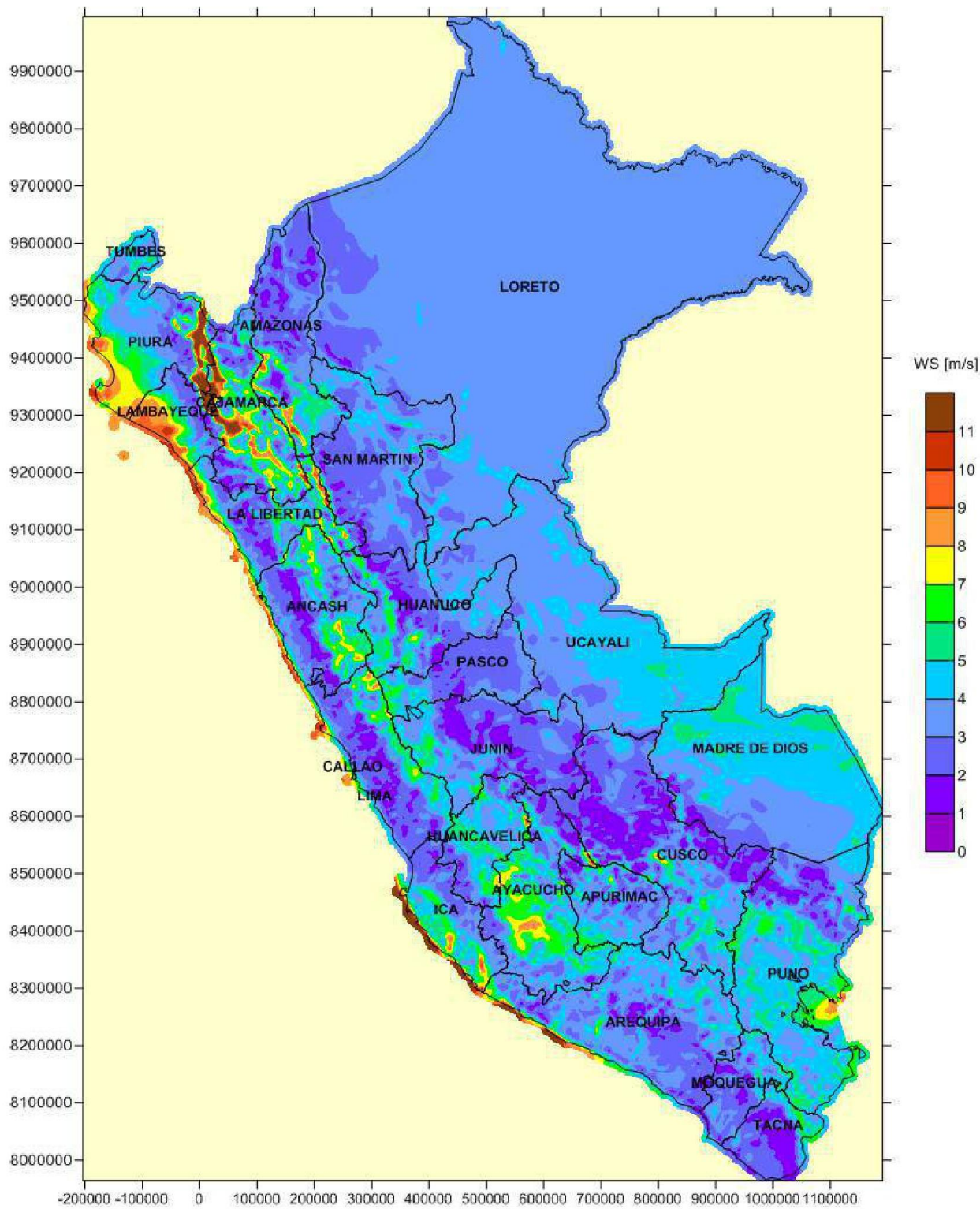
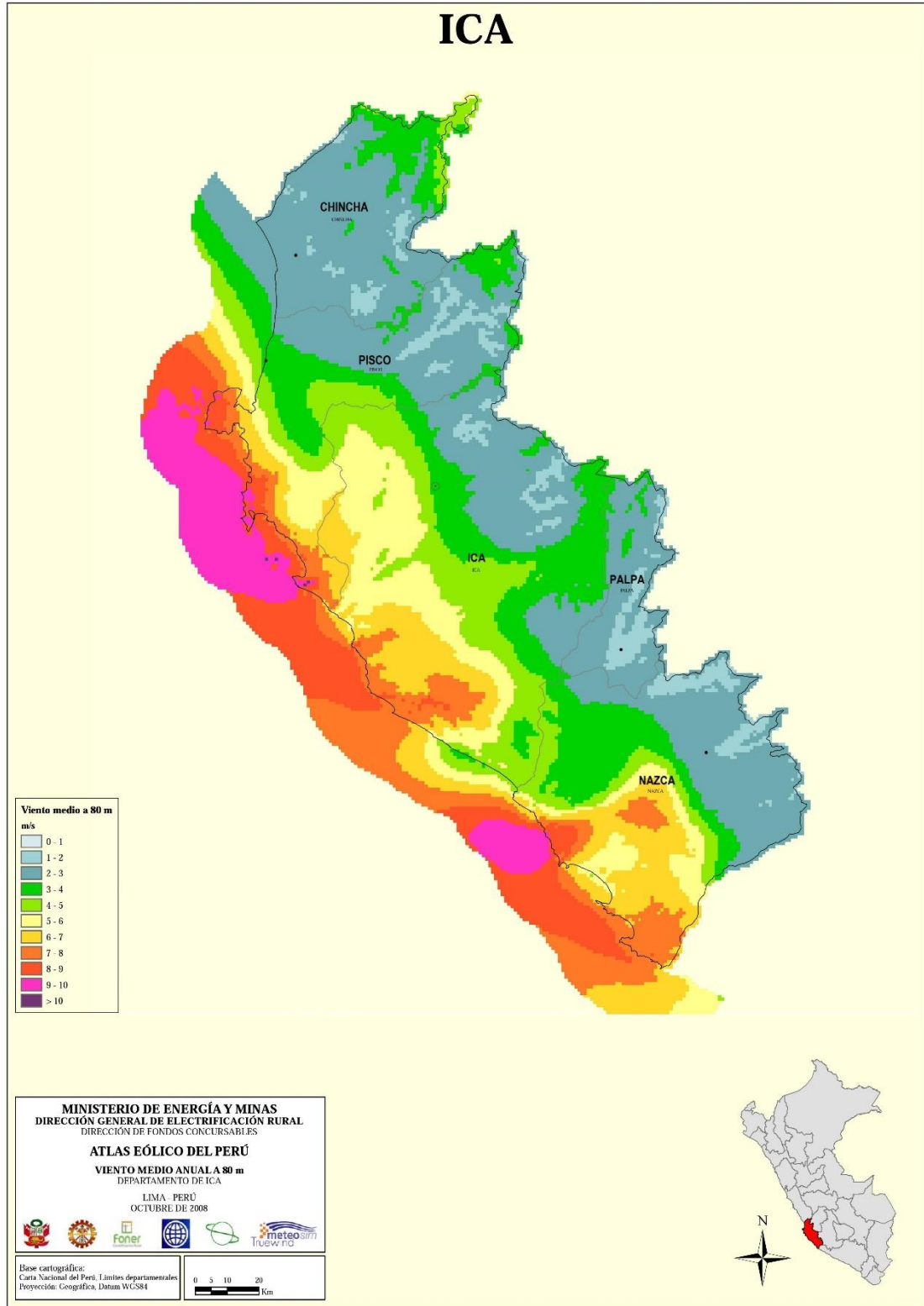


Figura 5: Velocidad media anua del viento a 150 m.  
Fuente: Atlas Eólico del Perú (2016).

**ANEXO 2.**

---

**MAPA EÓLICO DE LA REGIÓN ICA A 80 M.**



*Figura 6: Velocidad medio del viento en la región Ica.  
 Fuente: Atlas Eólico del Perú (2016).*



**ANEXO 3.**

---

**MAPA DE VIENTO MEDIO ESTACIONAL, REGIÓN ICA**



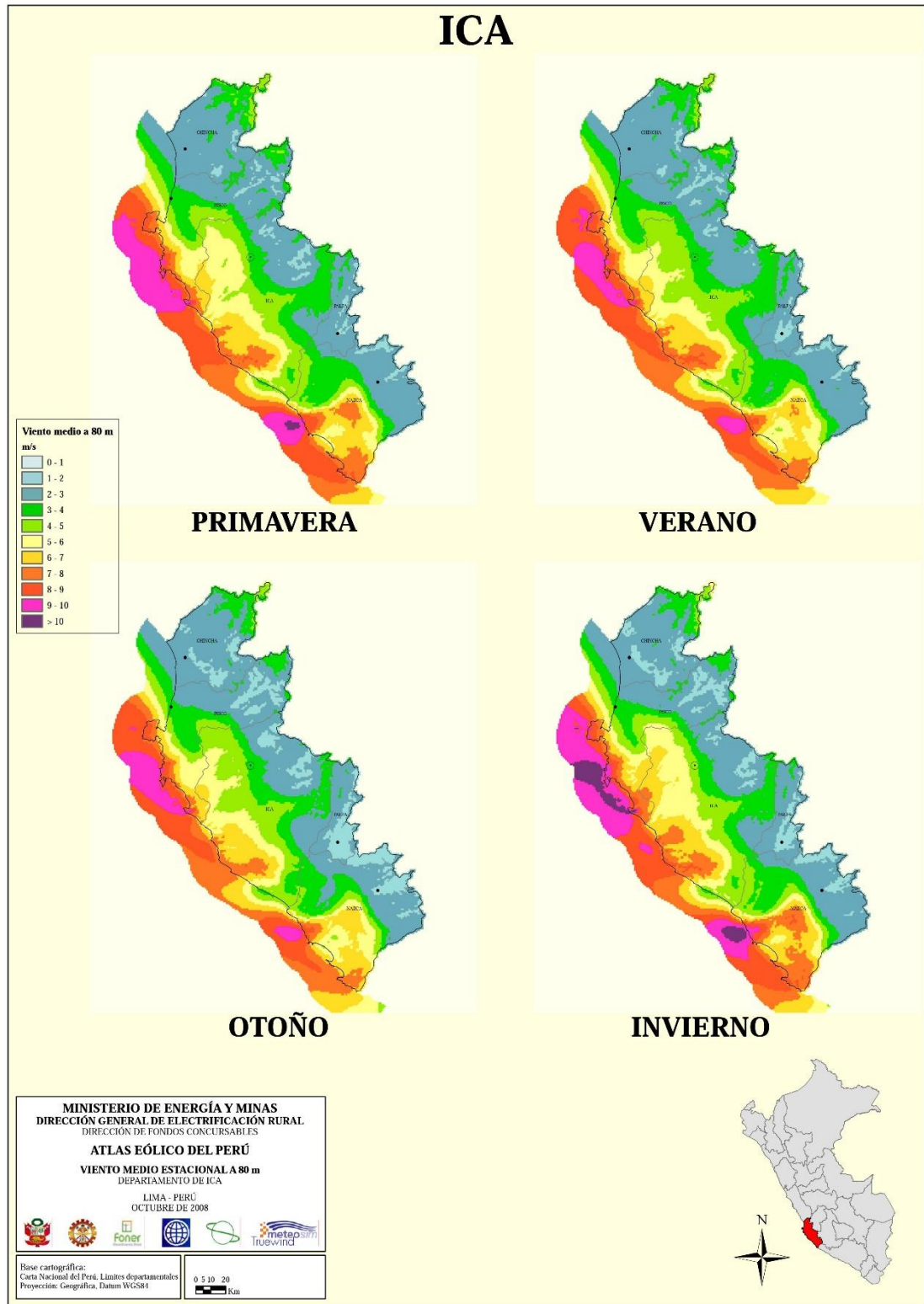
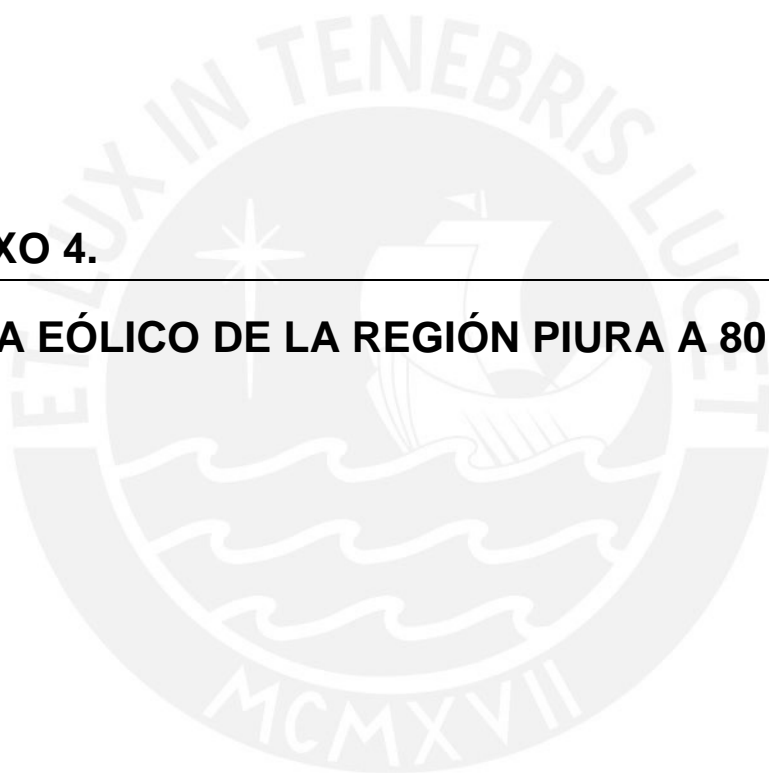


Figura 7: Velocidad media del viento según estación, región Ica  
 Fuente: Atlas Eólico del Perú (2016).

**ANEXO 4.**

---

**MAPA EÓLICO DE LA REGIÓN PIURA A 80 M.**



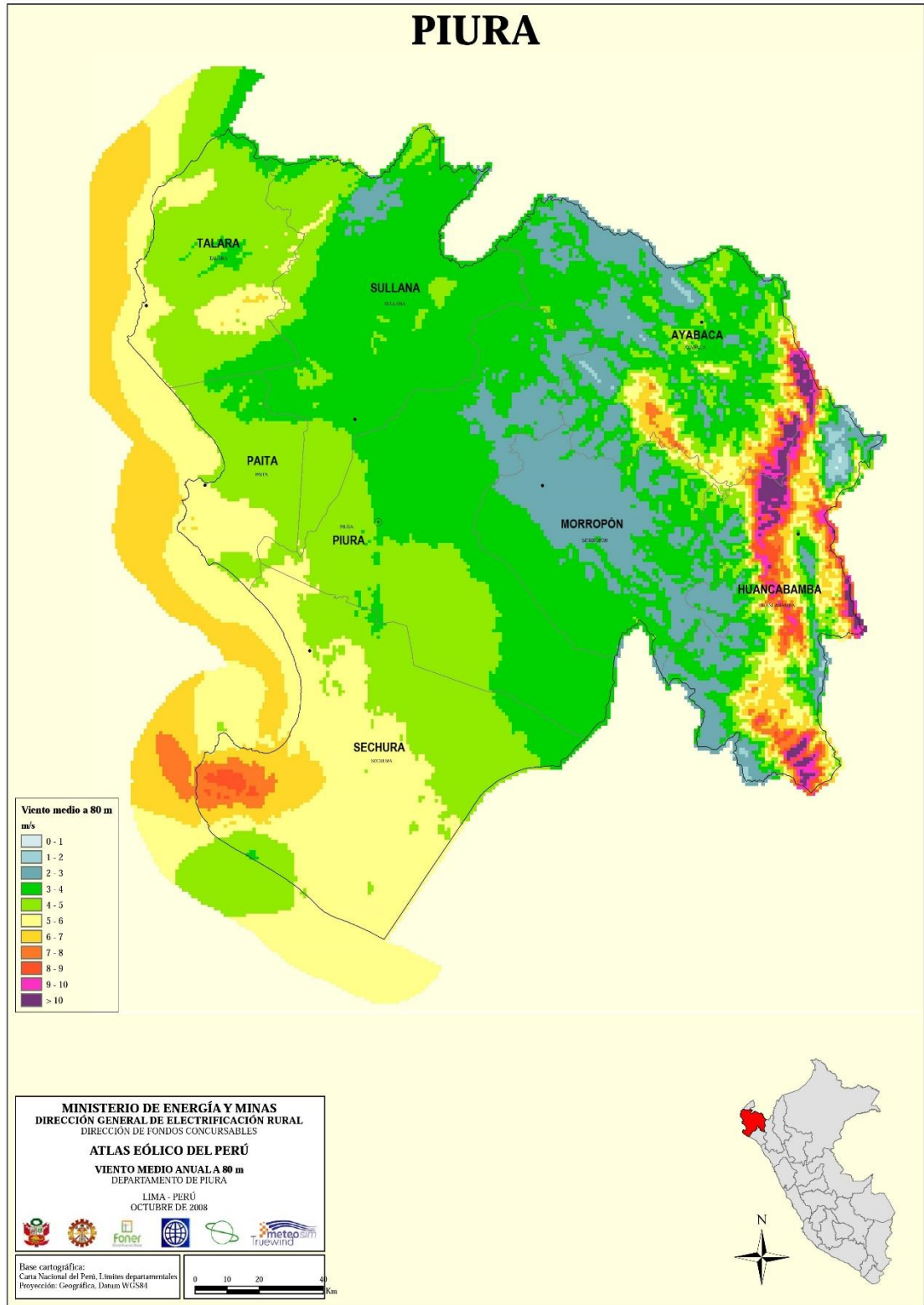


Figura 8: Velocidad medio del viento en la región Piura.  
Fuente: Atlas Eólico del Perú (2016).

**ANEXO 5.**

---

**MAPA DE VIENTO MEDIO ESTACIONAL, REGIÓN  
PIURA**



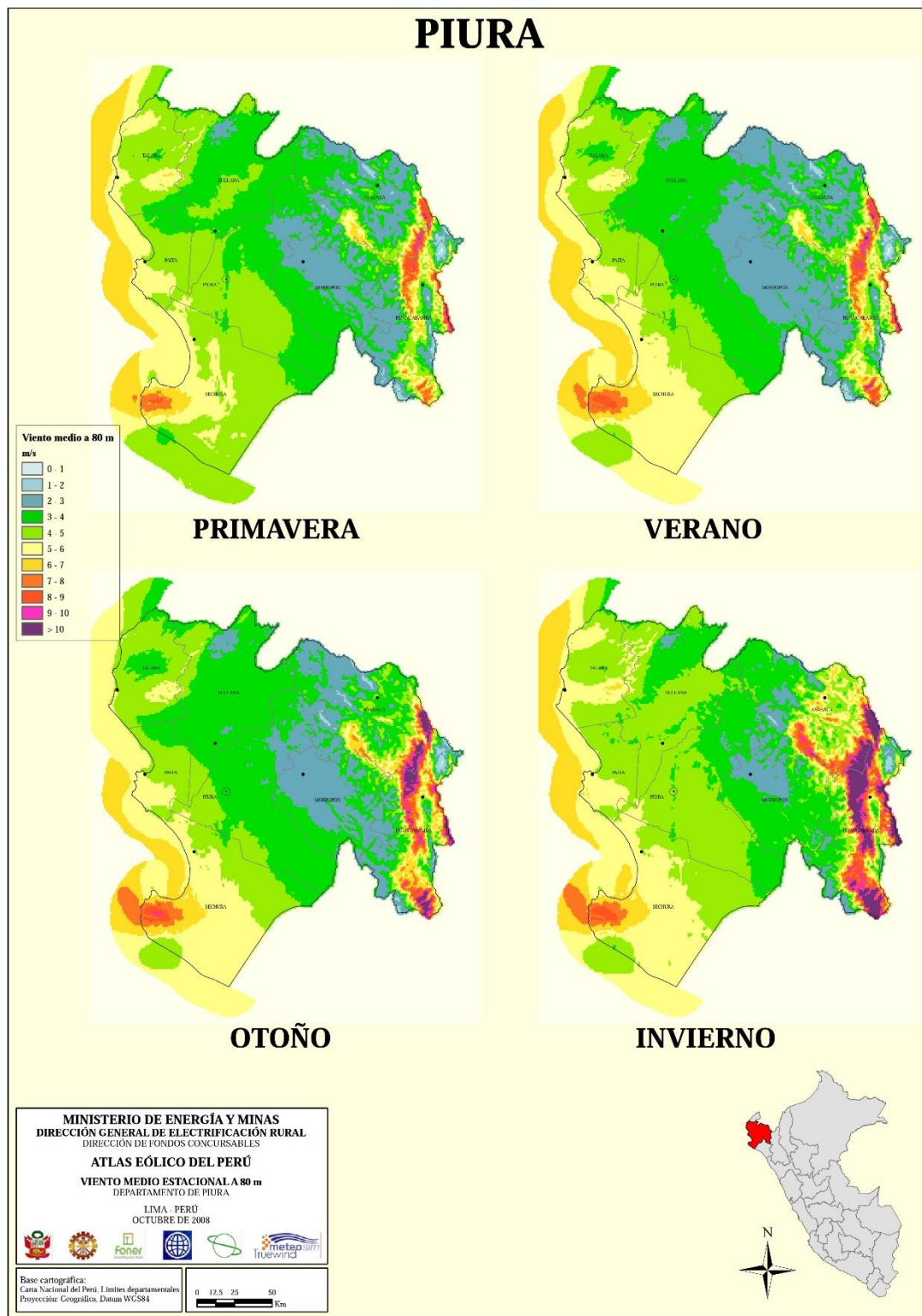


Figura 9: Velocidad media del viento según estación, región Piura.  
 Fuente: Atlas Eólico del Perú (2016).

**ANEXO 6.**

---

**MAPA EÓLICO DE LA REGIÓN LA LIBERTAD A 80 M.**





# LA LIBERTAD

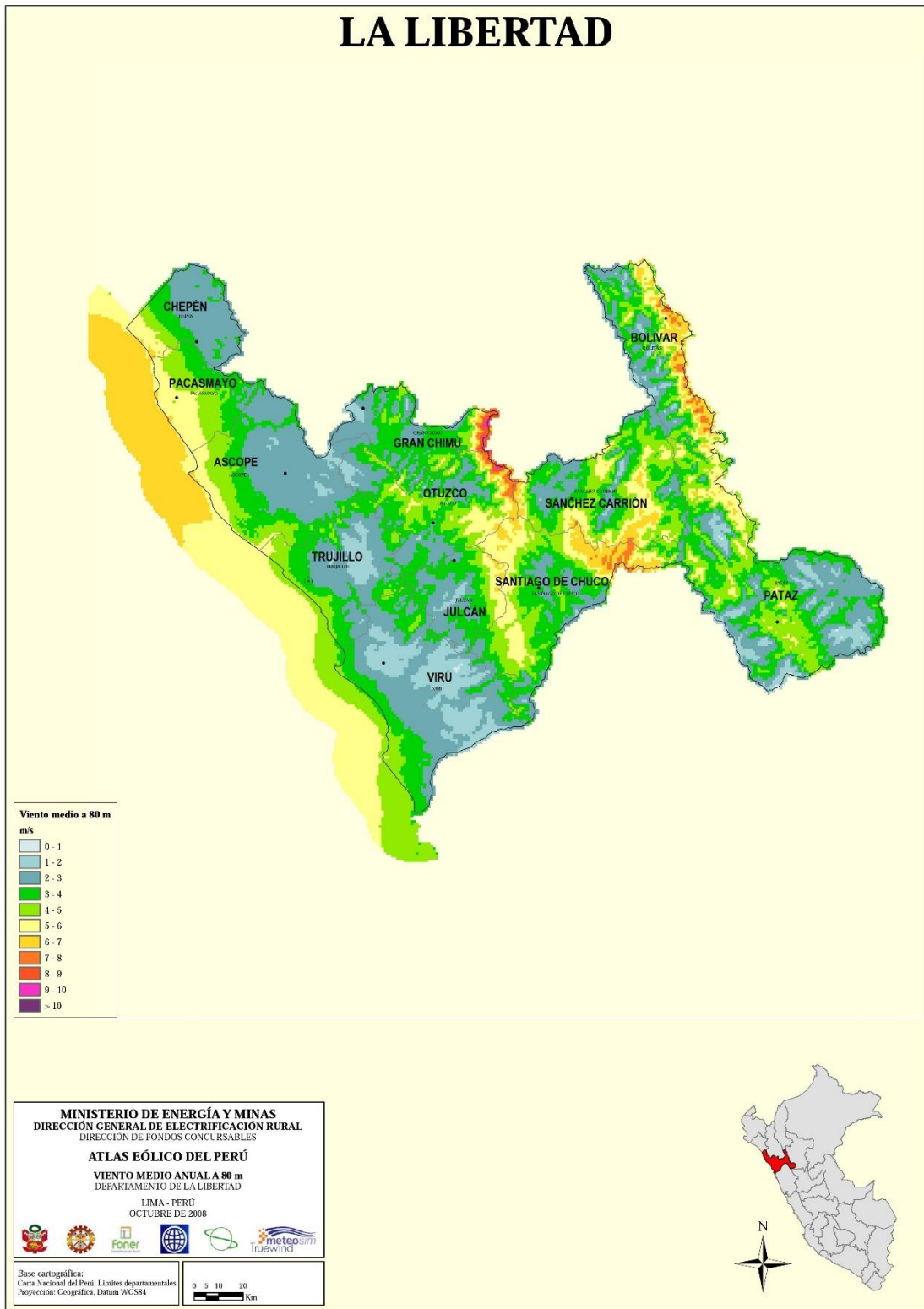
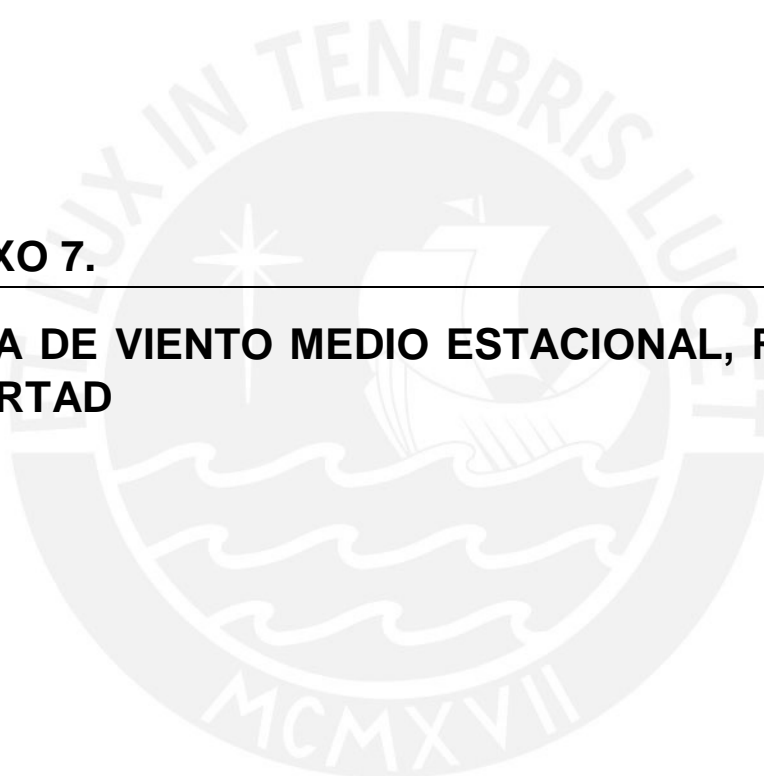


Figura 10: Velocidad medio del viento en la región La Libertad.  
Fuente: Atlas Eólico del Perú (2016).

**ANEXO 7.**

---

**MAPA DE VIENTO MEDIO ESTACIONAL, REGIÓN LA LIBERTAD**



# LA LIBERTAD

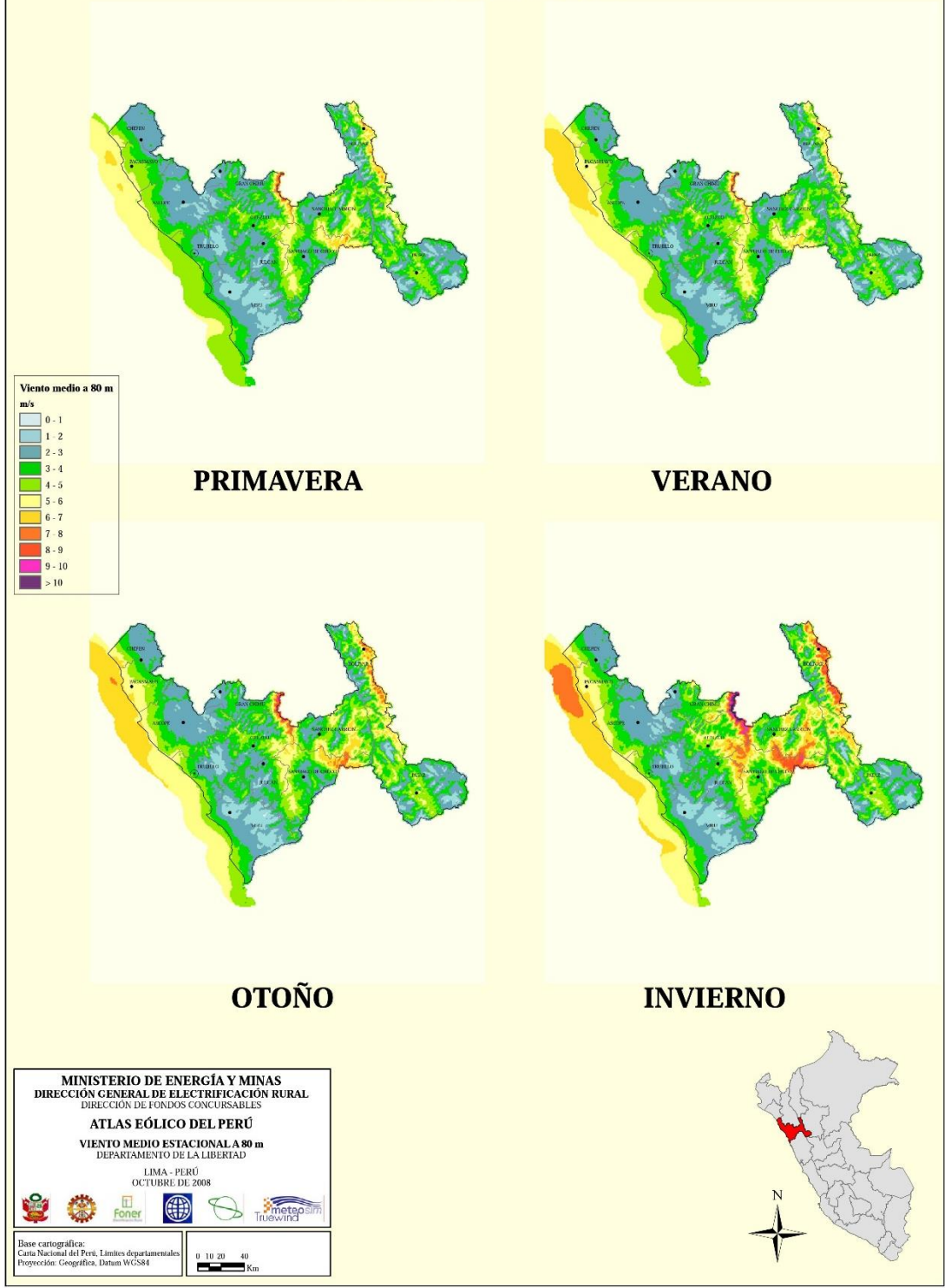


Figura 11: Velocidad media del viento según estación, región La Libertad.  
 Fuente: Atlas Eólico del Perú (2016).

**ANEXO 8.**

---

**MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE CENTRALES DE ENERGÍA EN EL PERÚ**



Figura 12: Mapa de distribución de energía eléctrica a nivel nacional  
Fuente: Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (2016).

**ANEXO 9.**

---

**POTENCIA INSTALADA POR TIPO DE ENERGÍA EN EL PERÚ ENTRE 1995-2018.**

Tabla 1: Evolución de la energía eléctrica peruana entre los años 1995-2018.

Año	Total (MW)	Potencia Instalada (MW)			
		Hidráulica	Térmica	Solar	Eólica
1995	4'461.70	2'479.40	1'982.30	-	-
1996	4'662.61	2'492.72	2'169.63	-	0.25
1997	5'192.50	2'512.99	2'679.25	-	0.25
1998	5'515.29	2'572.06	2'942.98	-	0.25
1999	5'742.43	2'673.28	3'068.45	-	0.70
2000	6'066.19	2'856.83	3'208.66	-	0.70
2001	5'906.69	2'966.33	2'939.67	-	0.70
2002	5'935.53	2'996.47	2'938.36	-	0.70
2003	5'970.06	3'032.31	2'937.06	-	0.70
2004	6'016.32	3'055.87	2'959.75	-	0.70
2005	6'200.53	3'207.06	2'992.76	-	0.70
2006	6'658.14	3'216.00	3'441.44	-	0.70
2007	7'027.52	3'233.60	3'793.22	-	0.70
2008	7'157.94	3'242.03	3'915.21	-	0.70
2009	7'986.50	3'277.46	4'708.33	-	0.70
2010	8'612.56	3'437.60	5'174.26	-	0.70
2011	8'691.32	3'450.95	5'239.67	-	0.70
2012	9'699.10	3'483.97	6'134.42	80.00	0.70
2013	11'050.72	3'556.18	7'413.84	80.00	0.70
2014	11'202.62	3'661.87	7'302.05	96.00	142.70
2015	12'188.63	4'151.84	7'700.98	96.00	232.00
2016	14'517.72	5'189.25	8'988.52	100.00	232.00
2017	14'804.17	5'293.25	8'990.92	280.00	232.00
2018	-	-	-	280.00	364.00

Fuente: Adaptado del MINEM (2016).



**ANEXO 10.**

---

**CARACTERÍSTICAS DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA  
POR REGIONES EN EL PERÚ.**

Tabla 2: Indicadores del subsector eléctrico por regiones.

Región	Población habitantes 1 /	Participación %	Consumo de Energía Eléctrica GW.h	Participación %	Consumo de Energía Eléctrica Percápita kW.h / hab
AMAZONAS	423 898	1,3%	74,95	0,2%	176,81
ANCASH	1 154 639	3,7%	2 025,46	4,4%	1 754,20
APURIMAC	460 868	1,5%	1 179,97	2,6%	2 560,33
AREQUIPA	1 301 298	4,1%	5 085,69	11,2%	3 908,17
AYACUCHO	696 152	2,2%	188,08	0,4%	270,18
CAJAMARCA	1 533 783	4,9%	976,20	2,1%	636,46
CALLAO	1 028 144	3,3%	1 946,15	4,3%	1 892,88
CUSCO	1 324 371	4,2%	2 115,32	4,6%	1 597,22
HUANCAVELICA	498 556	1,6%	237,07	0,5%	475,51
HUÁNUCO	866 631	2,8%	243,01	0,5%	280,41
ICA	794 919	2,5%	2 432,38	5,3%	3 059,91
JUNÍN	1 360 506	4,3%	2 025,85	4,4%	1 489,04
LA LIBERTAD	1 882 405	6,0%	2 018,68	4,4%	1 072,39
LAMBAYEQUE	1 270 794	4,0%	800,14	1,8%	629,64
LIMA	9 985 664	31,7%	17 682,34	38,8%	1 770,77
LORETO	1 049 364	3,3%	572,13	1,3%	545,21
MADRE DE DIOS	140 508	0,4%	77,50	0,2%	551,58
MOQUEGUA	182 333	0,6%	1 888,60	4,1%	10 357,98
PASCO	306 322	1,0%	875,95	1,9%	2 859,59
PIURA	1 858 617	5,9%	1 464,10	3,2%	787,74
PUNO	1 429 098	4,5%	525,35	1,2%	367,61
SAN MARTÍN	851 883	2,7%	320,97	0,7%	376,78
TACNA	346 013	1,1%	273,89	0,6%	791,55
TUMBES	240 590	0,8%	208,53	0,5%	866,74
UCAYALI	501 269	1,6%	294,58	0,6%	587,66
<b>TOTAL</b>	<b>31 488 625</b>	<b>100%</b>	<b>45 532,89</b>	<b>100%</b>	<b>1 446,01</b>

Fuente: MINEM (2016).

**ANEXO 11.**

---

**CARACTERÍSTICAS DEL SECTOR ENERGÉTICO A NIVEL NACIONAL Y MUNDIAL.**



Tabla 3: Indicadores económicos y energéticos internacionales al año 2015.

Indicador	Países de América y China							
	Argentina	Brasil	Chile	Colombia	México	Perú	Estados Unidos de América	China
Población (millones)	43,4	207,8	18,0	48,2	121,0	31,4	321,7	1 371,2
PBI (billones 2010 US\$)	455,9	2 330,4	263,1	359,2	1 207,7	186,2	16 597,4	8 909,8
PBI (PPP) (billones 2010 US\$)	706,6	2 959,5	375,6	613,7	1 990,2	358,9	16 597,4	18 049,6
Producción de energía (Mtoe)	73,8	279,4	12,9	124,7	191,8	25,5	2 018,5	2 495,6
Importación neta (Mtoe)	13,6	42,8	24,3	-88,3	-15,1	-1,7	258,1	535,0
TPES (Mtoe)	86,0	298,0	36,1	33,8	187,4	24,6	2 188,3	2 973,3
Consumo de Electricidad (TWh)	134,1	523,0	71,7	59,4	269,8	42,9	4 128,5	5 548,7
Emissiones de CO <sub>2</sub> (Mt de CO <sub>2</sub> )	191,4	450,8	81,6	72,3	442,3	49,1	4 997,5	9 040,7
TPES / población (toe/cápita)	1,98	1,43	2,00	0,70	1,57	0,78	6,80	2,17
TPES / PBI (toe/000 2010 US\$)	0,19	0,13	0,14	0,09	0,16	0,13	0,13	0,33
TPES/PBI (PPP) (toe/000 2010 US\$)	0,12	0,10	0,10	0,06	0,10	0,07	0,13	0,16
Consumo de Electricidad/población (kWh / cápita)	3 088,0	2 516,0	3 972,0	1 231,0	2 230,0	1 366,0	12 833,3	4 047,0
CO <sub>2</sub> /TPES (t CO <sub>2</sub> / toe)	2,23	1,51	2,26	2,14	2,36	2,00	2,28	3,04
CO <sub>2</sub> / población (t CO <sub>2</sub> / cápita)	4,41	2,17	4,52	1,50	3,66	1,57	15,53	6,59
CO <sub>2</sub> /PBI (t CO <sub>2</sub> / 2010 US\$)	0,42	0,19	0,31	0,20	0,37	0,26	0,30	1,01
CO <sub>2</sub> /PBI (PPP) (kg CO <sub>2</sub> / 2010 US\$)	0,27	0,15	0,22	0,12	0,22	0,14	0,30	0,50

Fuente: Agencia Internacional de Energía (2016).

**ANEXO 12.**

---

**MIX ELÉCTRICO DE PAÍSES EUROPEOS**

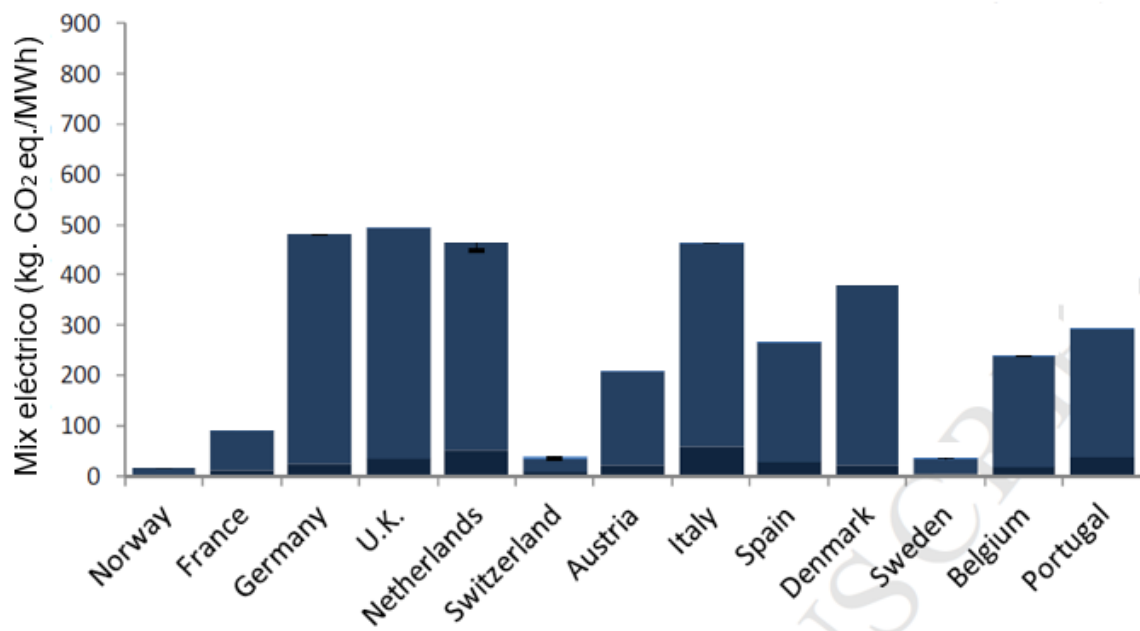


Figura 13: Distribución de países europeos según su mix eléctrico.  
Fuente: Casals et al. (2016).

