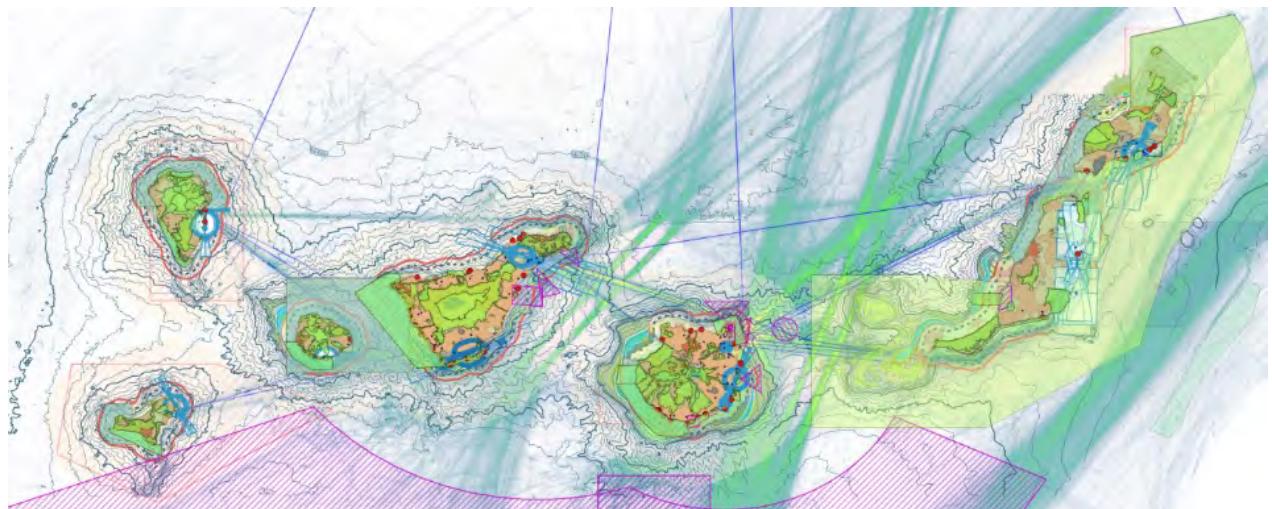


## INFORME TÉCNICO

Estudio de la viabilidad y propuesta de emplazamientos de aerogeneradores marinos cimentados al lecho marino en las Islas Canarias.



Borja Benítez Suárez

División de Mecánica de los Medios Continuos y Estructuras

Las Palmas de Gran Canaria

21 de octubre de 2022



## Estudio de la viabilidad y propuesta de emplazamientos de aerogeneradores marinos cimentados al lecho marino en las Islas Canarias.

Versión del documento: 4

Proyecto de Investigación: Modelos computacionales para el análisis estructural de la respuesta dinámica de aerogeneradores off-shore cimentados en el lecho marino. Influencia de los fenómenos de interacción suelo-estructura y aplicación al ámbito de las Islas Canarias. Código: ProID2020010025

Autor: Borja Benítez Suárez

Revisor: Luis Alberto Padrón Hernández.

Las Palmas de Gran Canaria a 21 de octubre de 2022



Este trabajo ha sido elaborado en el marco del Proyecto de Investigación titulado "Modelos computacionales para el análisis estructural de la respuesta dinámica de aerogeneradores off-shore cimentados en el lecho marino. Influencia de los fenómenos de interacción suelo-estructura y aplicación al ámbito de las Islas Canarias" (ProID2020010025) financiado por la Consejería de Economía, Conocimiento y Empleo (Agencia Canaria de la Investigación, Innovación y Sociedad de la Información) del Gobierno de Canarias y por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).





# Índice general

INTRODUCCIÓN.....	1
ESTADO DEL ARTE .....	1
1. RESTRICCIONES TÉCNICAS .....	1
1.1. <i>Batimetría</i> .....	1
1.1.1. <i>Subestructuras fijas</i> .....	2
1.1.2. <i>Subestructuras flotantes</i> .....	3
1.1.3. <i>Batimetria en Canarias</i> .....	5
1.2. <i>Fondo marino</i> .....	7
1.3. <i>Recurso eólico</i> .....	8
1.4. <i>Proximidad a subestaciones eléctricas</i> .....	12
2. RESTRICCIONES Y LIMITACIONES LEGALES, ADMINISTRATIVAS Y POR ACTIVIDADES ECONÓMICAS .....	13
2.1. <i>Impacto ambiental</i> .....	13
2.2. <i>Impacto visual</i> .....	14
2.3. <i>Distancias respecto a la costa</i> .....	15
2.3.1. <i>Distancia mínima a la costa</i> .....	15
2.3.2. <i>Distancia máxima a la costa</i> .....	15
2.4. <i>Espacios protegidos Red Natura 2000</i> .....	17
2.4.1. <i>Lugar de Interés Comunitario</i> .....	17
2.4.2. <i>Zonas de Especial Conservación</i> .....	18
2.4.3. <i>Zonas Especiales de Conservación para las Aves</i> .....	19
2.5. <i>Espacios Naturales Protegidos</i> .....	19
2.6. <i>Áreas Importantes para la Conservación de las Aves y la Biodiversidad</i> .....	20
2.7. <i>Red Canaria de Reserva de la Biosfera</i> .....	20
2.8. <i>Red de Áreas Marinas Protegidas de España</i> .....	21
2.9. <i>Hábitats de Interés Comunitario</i> .....	22
2.10. <i>Especies protegidas</i> .....	23
2.11. <i>Servidumbres aeroportuarias</i> .....	23
2.12. <i>Servidumbre portuaria</i> .....	24

<b>2.13. Tráfico marítimo .....</b>	<b>25</b>
<b>2.14. Zonas de exclusión militar.....</b>	<b>27</b>
<b>2.15. Emisarios submarinos .....</b>	<b>27</b>
<b>2.16. Cables submarinos .....</b>	<b>28</b>
<b>2.17. Pesca y acuicultura .....</b>	<b>29</b>
2.17.1. <i>Pesca</i> .....	29
2.17.2. <i>Acuicultura</i> .....	30
<b>2.18. Turismo y actividades recreativas .....</b>	<b>31</b>
<b>ESTUDIO DEL EMPLAZAMIENTO EN CADA ISLA .....</b>	<b>31</b>
<b>3. DEFINICIÓN DE LA APTITUD DE ZONAS PARA EL DESARROLLO DE LA EÓLICA MARINA EN LAS ISLAS CANARIAS.....</b>	<b>31</b>
<b>3.1. <i>La Graciosa</i>.....</b>	<b>34</b>
3.1.1. <i>Restricciones ambientales en La Graciosa</i> .....	34
3.1.2. <i>Limitaciones técnicas en La Graciosa</i> .....	34
3.1.3. <i>Conclusiones para La Graciosa</i> .....	37
<b>3.2. <i>Lanzarote</i> .....</b>	<b>37</b>
3.2.1. <i>Restricciones ambientales en Lanzarote</i> .....	37
3.2.2. <i>Limitaciones técnicas en Lanzarote</i> .....	38
3.2.3. <i>Conclusiones para Lanzarote</i> .....	42
<b>3.3. <i>Fuerteventura</i>.....</b>	<b>45</b>
3.3.1. <i>Restricciones ambientales en Fuerteventura</i> .....	45
3.3.2. <i>Limitaciones técnicas en Fuerteventura</i> .....	46
3.3.3. <i>Conclusiones para Fuerteventura</i> .....	50
<b>3.4. <i>Gran Canaria</i> .....</b>	<b>56</b>
3.4.1. <i>Restricciones ambientales en Gran Canaria</i> .....	56
3.4.2. <i>Limitaciones técnicas en Gran Canaria</i> .....	57
3.4.3. <i>Conclusiones para Gran Canaria</i> .....	62
<b>3.5. <i>Tenerife</i>.....</b>	<b>68</b>
3.5.1. <i>Restricciones ambientales en Tenerife</i> .....	68
3.5.2. <i>Limitaciones técnicas en Tenerife</i> .....	68
3.5.3. <i>Conclusiones para Tenerife</i> .....	73
<b>3.6. <i>La Gomera</i>.....</b>	<b>73</b>
3.6.1. <i>Restricciones ambientales en La Gomera</i> .....	73
3.6.2. <i>Limitaciones técnicas en La Gomera</i> .....	74
3.6.3. <i>Conclusiones para La Gomera</i> .....	77
<b>3.7. <i>La Palma</i> .....</b>	<b>77</b>
3.7.1. <i>Restricciones ambientales en La Palma</i> .....	77
3.7.2. <i>Limitaciones técnicas en La Palma</i> .....	78

3.7.3. <i>Conclusiones para La Palma</i> .....	82
<b>3.8. <i>El Hierro</i></b> .....	<b>82</b>
3.8.1. <i>Restricciones ambientales en El Hierro</i> .....	82
3.8.2. <i>Limitaciones técnicas en El Hierro</i> .....	83
3.8.1. <i>Conclusiones para El Hierro</i> .....	86
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>87</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>90</b>

## Índice de tablas

<i>Tabla 1: Cimentaciones empleadas en la eólica off-shore cimentada al lecho marino y sus principales características (I). Fuentes: Varias.....</i>	2
<i>Tabla 2: Cimentaciones empleadas en la eólica off-shore cimentada al lecho marino y sus principales características (II). Fuente: Varias. ....</i>	3
<i>Tabla 3: Tipos de subestructuras empleadas en la eólica off-shore flotante. Fuente: Adaptada de [8].</i> 3	
<i>Tabla 4: Sistemas de anclaje al lecho marino de las subestructuras flotantes.....</i>	4
<i>Tabla 5: Idoneidad de los tipos de suelo según la cimentación escogida. Fuente: Adaptada de [12]....</i>	7
<i>Tabla 6: Modelos de aerogeneradores y características principales de velocidades de viento, potencias y alturas de góndola. Fuentes: [13], [14] y [15]. .....</i>	9
<i>Tabla 7: Distribución por países de los parques eólicos marinos flotantes instalados o en fase de construcción y las profundidades medias. Fuente: Adaptada de [31]......</i>	33
<i>Tabla 8: Zonas propuestas para el desarrollo de la eólica marina flotante y las principales características del entorno en la isla de Lanzarote. ....</i>	43
<i>Tabla 9: Principales condicionantes para las zonas propuestas para el desarrollo de la eólica marina flotante en la isla de Lanzarote. ....</i>	44
<i>Tabla 10: Zonas propuestas para el desarrollo de la eólica marina cimentada al lecho marino y las principales características del entorno en la isla de Fuerteventura. ....</i>	50
<i>Tabla 11: Principales condicionantes para las zonas propuestas para el desarrollo de la eólica marina cimentada al lecho marino en la isla de Fuerteventura. ....</i>	51
<i>Tabla 12: Zonas propuestas para el desarrollo de la eólica marina flotante y las principales características del entorno en la isla de Fuerteventura.....</i>	55
<i>Tabla 13: Principales condicionantes para las zonas propuestas para el desarrollo de la eólica marina flotante en la isla de Fuerteventura. ....</i>	56
<i>Tabla 14: Zonas propuestas para el desarrollo de la eólica marina cimentada al lecho marino y las principales características del entorno en la isla de Gran Canaria.....</i>	62
<i>Tabla 15: Superficies propuestas para la eólica cimentada al lecho marino en la isla de Gran Canaria con el límite de 8 y 5 km. Fuente: Elaboración propia. ....</i>	62
<i>Tabla 16: Condicionantes para las zonas seleccionadas para la implementación de la eólica cimentada al lecho marino en Gran Canaria. Fuente: Elaboración propia.....</i>	63
<i>Tabla 17: Datos principales de las zonas propuestas para el desarrollo de la eólica flotante en la isla de Gran Canaria.....</i>	66
<i>Tabla 18: Condicionantes de las zonas propuestas para el desarrollo de la eólica marina flotante en la isla de Gran Canaria. ....</i>	67

## Índice de figuras

Figura 1: Tipología de subestructuras en función de la batimetría. Fuente: Adaptada de [2].	1
Figura 2: Representación gráfica de las principales tipologías de subestructuras flotantes empleadas en la actualidad. Fuente: Adaptada de [8].	4
Figura 3: Representación de la batimetría de las Islas Canarias. Fuente: Elaboración propia a partir de [9].	5
Figura 4: Perfil batimétrico en la costa suroeste de Fuerteventura. Fuente: Adaptada de [10].	6
Figura 5: Perfil batimétrico en la costa noroeste de Tenerife. Fuente: Adaptada de [10].	6
Figura 6: Vista 3D de la forma de las Islas Canarias en la plataforma continental. Fuente: Adaptada de [11].	7
Figura 7: Estratificación del suelo marino en Canarias. Fuente: Elaboración propia.	8
Figura 8: Curva de potencia del aerogenerador de referencia de 5 MW. Fuente: Adaptada de [13].	9
Figura 9: Velocidad media del viento a 50 metros en Canarias. Fuente: Adaptada de [16].	10
Figura 10: Velocidad media del viento a 100 metros en Canarias. Fuente: Adaptada de [16].	10
Figura 11: Velocidad media del viento a 150 metros en Canarias. Fuente: Adaptada de [16].	11
Figura 12: Variación mensual de la velocidad media del viento en la costa sureste de la isla de Gran Canaria. Fuente: Adaptada de [16].	12
Figura 13: Rosa del viento en las Islas Canarias (i) y en el sureste de Gran Canaria (d). Fuente: Adaptada de [16].	12
Figura 14: Ubicación de subestaciones eléctricas en las Islas Canarias. Fuente: Elaboración propia a partir de [18].	13
Figura 15: Percepción de los aerogeneradores sobre el horizonte en función de la distancia que se encuentre respecto a la costa. Fuente: Adaptada de [22].	14
Figura 16: Mapa con las ZEE de España. Fuente: Adaptada de [25].	16
Figura 17: Mapa de la ZEE de Canarias. Fuente: Adaptada a partir de [26].	16
Figura 18: Espacios LIC marinos de Canarias. Fuente: Elaboración propia a partir de [9].	18
Figura 19: Espacios ZEC de Canarias. Fuente: Elaboración propia a partir de [9].	18
Figura 20: Espacios ZEPA marinos de Canarias. Fuente: Elaboración propia a partir de [9].	19
Figura 21: ENP de Canarias. Fuente: Elaboración propia a partir de [9].	20
Figura 22: IBA de Canarias. Fuente: Elaboración propia a partir de [9].	20
Figura 23: Espacios Reserva de la Biosfera de Canarias. Fuente: Elaboración propia a partir de [9].	21
Figura 24: Red de Áreas Marinas Protegidas de España. Fuente: Elaboración propia a partir de [10].	22
Figura 25: HIC de la demarcación marina de Canarias. Fuente: Elaboración propia a partir de [10].	22
Figura 26: Densidad de especies protegidas de Canarias. Fuente: Elaboración propia a partir de [9].	23
Figura 27: Servidumbres aeroportuarias para las Islas Canarias. Fuente: Elaboración propia.	24
Figura 28: Servidumbre portuaria en las Islas Canarias. Fuente: Elaboración propia a partir de [10].	24
Figura 29: Rutas marítimas y DST en las Islas Canarias. Fuente: Elaboración propia a partir de [9].	25
Figura 30: Densidad de tráfico marítimo en las Islas Canarias. Fuente: Elaboración propia a partir de [9].	26
Figura 31: Zonas a evitar por embarcaciones en las Islas Canarias. Fuente: Elaboración propia a partir de [9].	26
Figura 32: Áreas de exclusión militar en las Islas Canarias. Fuente: Elaboración propia a partir de [10].	27
Figura 33: Emisarios submarinos en las Islas Canarias. Fuente: Elaboración propia a partir de [9].	28
Figura 34: Cables submarinos en la demarcación canaria. Fuente: Elaboración propia a partir de [9].	28
Figura 35: Zonas de pesca de distintas especies de peces en Canarias. Fuente: Elaboración propia a partir de [9].	29
Figura 36: Zonas de pesca en el litoral canario. Fuente: Elaboración propia.	30
Figura 37: Reservas acuícolas para las Islas Canarias. Fuente: Elaboración propia a partir de [9].	30

<i>Figura 38: Visualización de la gran parte de las capas que se han tenido en cuenta para el estudio.</i>	
<i>Fuente: Elaboración propia.</i>	32
<i>Figura 39: Limitaciones ambientales del archipiélago Chinijo. Fuente: Elaboración propia.</i>	34
<i>Figura 40: Recurso eólico a 80 m de altura en la isla de La Graciosa. Fuente: Elaboración propia a partir de [9].</i>	35
<i>Figura 41: Densidad de tráfico (i) y rutas marítimas (d) en el Archipiélago Chinijo. Fuente: Elaboración propia a partir de [9].</i>	35
<i>Figura 42: Área de exclusión de grandes barcos del archipiélago Chinijo y norte de Lanzarote. Fuente: Elaboración propia.</i>	36
<i>Figura 43: Subestaciones eléctricas (círculos azules) existentes en la isla de La Graciosa. Fuente: Elaboración propia.</i>	36
<i>Figura 44: Límite de los 8 km a partir del litoral y la batimetría en forma de gradiente de color y líneas de La Graciosa. Fuente: Elaboración propia.</i>	37
<i>Figura 45: Espacios protegidos con prohibiciones en Lanzarote. Fuente: Elaboración propia.</i>	38
<i>Figura 46: Recurso eólico de la isla de Lanzarote. Fuente: Elaboración propia.</i>	39
<i>Figura 47: Servidumbres aeroportuarias y portuarias de Lanzarote. Fuente: Elaboración propia.</i>	39
<i>Figura 48: Densidad de tráfico marítimo, rutas marítimas y zona de exclusión de grandes buques. Fuente: Elaboración propia.</i>	40
<i>Figura 49: Subestaciones, emisarios y cables submarinos en la isla de Lanzarote. Fuente: elaboración propia.</i>	41
<i>Figura 50: Límite de los 8 km a partir del litoral y la batimetría de Lanzarote. Fuente: Elaboración propia.</i>	41
<i>Figura 51: Solape de las líneas de 8 km entre Fuerteventura y Lanzarote. Fuente: Elaboración propia.</i>	42
<i>Figura 52: Zonas propuestas para el desarrollo de la eólica off-shore flotante en Lanzarote. Fuente: Elaboración propia.</i>	43
<i>Figura 53: Caracterización del suelo de las zonas propuestas para el desarrollo de la eólica off-shore flotante en Lanzarote. Fuente: Elaboración propia.</i>	44
<i>Figura 54: Zonas propuestas para el desarrollo de la eólica marina flotante off-shore y las subestaciones (círculos azules) en la isla de Lanzarote. Fuente: Elaboración propia.</i>	45
<i>Figura 55: Espacios protegidos con prohibiciones en la isla de Fuerteventura. Fuente: Elaboración propia.</i>	46
<i>Figura 56: Espacios LIC (amarillo), HIC (verde) y RB (azul) de la isla de Fuerteventura. Fuente: Elaboración propia.</i>	46
<i>Figura 57: Recurso eólico a 80 m y servidumbres aeroportuarias y portuarias en la isla de Fuerteventura. Fuente: Elaboración propia.</i>	47
<i>Figura 58: Separación del tráfico marítimo, rutas marítimas y densidad de tráfico en la isla de Fuerteventura. Fuente: Elaboración propia.</i>	48
<i>Figura 59: Emisarios y cables submarinos, subestaciones y restricciones de defensa. Fuente: Elaboración propia.</i>	49
<i>Figura 60: Límite de los 8 km a partir del litoral y la batimetría de Fuerteventura con gradientes de color y líneas. Fuente: Elaboración propia.</i>	49
<i>Figura 61: Zonas propuestas para el desarrollo de la eólica cimentada al lecho marino para Fuerteventura. Fuente: Elaboración propia.</i>	51
<i>Figura 62: Áreas propuestas y condicionantes LIC y RB para la isla de Fuerteventura. Fuente: Elaboración propia.</i>	52
<i>Figura 63: Áreas propuestas para el desarrollo eólico marino cimentada al lecho marino en Fuerteventura y zonas de pesca, densidad de tráfico y rutas marítimas. Fuente: Elaboración propia.</i>	53
<i>Figura 64: Zonas propuestas para el desarrollo de la eólica marina cimentada al lecho marino y las subestaciones, cables y emisarios submarinos en la isla de Fuerteventura. Fuente: Elaboración propia.</i>	53
<i>Figura 65: Caracterización del suelo de las zonas propuestas para el desarrollo de la eólica cimentada al lecho marino en Fuerteventura. Fuente: Elaboración propia.</i>	54

<i>Figura 66: Zonas propuestas para el desarrollo de la eólica flotante en Fuerteventura. Fuente: Elaboración propia.</i>	55
<i>Figura 67: Espacios protegidos en la isla de Gran Canaria. Fuente: Elaboración propia.</i>	57
<i>Figura 68: Servidumbres aeroportuarias, portuarias, militares y aprovechamiento eólico a 80 m. Fuente: Elaboración propia.</i>	58
<i>Figura 69: Rutas, densidad y zonas de exclusión de tráfico marítimo en la isla de Gran Canaria. Fuente: Elaboración propia.</i>	59
<i>Figura 70: Emisarios y cables submarinos y subestaciones eléctricas en la isla de Gran Canaria. Fuente: Elaboración propia.</i>	60
<i>Figura 71: Batimetría con gradiente de color y líneas de 8 (continua roja) y 5 km (discontinua negra) en la isla de Gran Canaria. Fuente: Elaboración propia.</i>	61
<i>Figura 72: Perfil batimétrico del noroeste de la isla de Gran Canaria. Fuente: Adaptada de [10].</i>	61
<i>Figura 73: Zonas propuestas para el desarrollo de la eólica cimentada al lecho marino para Gran Canaria. Fuente: Elaboración propia.</i>	63
<i>Figura 74: Zonas propuestas para la eólica cimentada al lecho marino en la isla de Gran Canaria, junto con las líneas de 8 y 5 km y la densidad y rutas de tráfico marítimas. Fuente: Elaboración propia.</i>	64
<i>Figura 75: Caracterización del suelo de las zonas propuestas para el desarrollo de la eólica cimentada al lecho marino en Gran canaria. Fuente: Elaboración propia.</i>	65
<i>Figura 76: Zonas propuestas para el desarrollo de la eólica flotante en Gran Canaria. Fuente: Elaboración propia.</i>	66
<i>Figura 77: Caracterización del suelo de las zonas propuestas para el desarrollo de la eólica flotante en Gran Canaria. Fuente: Elaboración propia.</i>	67
<i>Figura 78: Espacios protegidos en la isla de Tenerife. Fuente: Elaboración propia.</i>	68
<i>Figura 79: Mapa batimétrico y clasificación del suelo en la isla de Tenerife. Fuente: Elaboración propia.</i>	69
<i>Figura 80: Aprovechamiento eólico y línea de 8 km de la isla de Tenerife. Fuente: Elaboración propia.</i>	70
<i>Figura 81: Servidumbres aeroportuarias, portuarias y de defensa de la isla de Tenerife. Fuente: Elaboración propia.</i>	71
<i>Figura 82: Densidad y rutas marítimas en la isla de Tenerife. Fuente: Elaboración propia.</i>	72
<i>Figura 83: Emisarios (círculos rojos) y cables submarinos y subestaciones eléctricas (círculos azules) en la isla de Tenerife. Fuente: Elaboración propia.</i>	73
<i>Figura 84: Zonificaciones ambientales en la isla de La Gomera. Fuente: Elaboración propia.</i>	74
<i>Figura 85: Densidad y rutas marítimas en la isla de La Gomera. Fuente: Elaboración propia.</i>	74
<i>Figura 86: Batimetría y línea de 8 km en la isla de La Gomera. Fuente: Elaboración propia.</i>	75
<i>Figura 87: Servidumbres portuarias y aeroportuarias, subestaciones eléctricas (círculo azul) y emisarios submarinos (círculo rojo). Fuente: Elaboración propia.</i>	76
<i>Figura 88: Recurso eólico y línea de 8 km en la isla de La Gomera. Fuente: Elaboración propia.</i>	76
<i>Figura 89 Caracterización del suelo de La Gomera. Fuente: Elaboración propia.</i>	77
<i>Figura 90: Zonificaciones ambientales en la isla de La Palma. Fuente: Elaboración propia.</i>	78
<i>Figura 91: Densidad y rutas marítimas en la isla de La Palma. Fuente: Elaboración propia.</i>	79
<i>Figura 92: Servidumbres aeroportuarias y portuarias, subestaciones (círculos azules) y cables y emisarios submarinos (círculos y líneas rojas). Fuente: Elaboración propia.</i>	79
<i>Figura 93: Batimetría en gradiente de color y línea de 8 km. Fuente: Elaboración propia.</i>	80
<i>Figura 94: Recurso eólico a 80 m y línea de 8 km en la isla de La Palma. Fuente: Elaboración propia.</i>	81
<i>Figura 95: Caracterización del suelo de La Palma. Fuente: Elaboración propia.</i>	81
<i>Figura 96: Zonificaciones ambientales en la isla de El Hierro. Fuente: Elaboración propia.</i>	82
<i>Figura 97: Rutas y densidad del transporte marítimo en la isla de El Hierro. Fuente: Elaboración propia.</i>	83
<i>Figura 98: Servidumbres aeroportuarias, portuarias y de defensa, subestación eléctrica (circulo azul), cables (línea roja) y emisarios submarinos (circulo tojo) en El Hierro. Fuente: Elaboración propia.</i>	84

<i>Figura 99: Batimetría en escala de color y la línea de 8 km respecto de la costa en la isla de El Hierro.</i>	
<i>Fuente: Elaboración propia.</i>	85
<i>Figura 100: Recurso eólico a 80 m y línea de 8 km en la isla de El Hierro. Fuente: Elaboración propia.</i>	
	85
<i>Figura 101: Caracterización del suelo de El Hierro. Fuente: Elaboración propia.</i>	86

## Introducción

Las Islas Canarias tienen un gran potencial para el desarrollo de las energías renovables. A 31 de diciembre de 2021 hay en todo el archipiélago un total de 761 MW instalados, de los cuales 560 MW corresponden a la energía eólica. Esto supone un 17,7 % de la potencia total instalada en el sistema canario. A lo largo del año 2021, la energía renovable ha supuesto para el sistema eléctrico canario un 24,83% en el mix energético, llegando a un pico en el mes de mayo del 30,70% [1].

Las islas siguen siendo fuertemente dependientes de fuentes de energía que provienen del exterior, para ser transformadas posteriormente en sistemas de generación convencionales como motores diésel, turbinas de gas y/o vapor y ciclos combinados. Este hecho contrasta con la cantidad de recursos renovables existentes, especialmente los extraídos del sol y del viento.

El desarrollo de la energía renovable en los archipiélagos es crucial, máxime si los sistemas eléctricos son aislados. La eólica juega un papel fundamental en el desarrollo sostenible de las islas, especialmente la marina, ya que el espacio disponible en tierra es limitado, aún más si tenemos en cuenta restricciones ambientales, servidumbres aeroportuarias o de defensa.

Este estudio pretende recabar toda la información relativa a aspectos que condicionen el emplazamiento de parques eólicos off-shore en Canarias. El objetivo final es la redacción de unas conclusiones para cada una de las ocho islas que conforman el archipiélago canario.

## Estado del arte

### 1. Restricciones técnicas

#### 1.1. Batimetría

La batimetría es la parte de la topografía que define los contornos de profundidad de mares, océanos, ríos, lagos, y otros confines que se encuentran sumergidos. Es uno de los puntos claves para determinar la tipología de subestructura sobre las que se apoyan los aerogeneradores. Se pueden encontrar dos tipos; fijas o flotantes.



Figura 1: Tipología de subestructuras en función de la batimetría. Fuente: Adaptada de [2].

Dependiendo de la distancia entre el nivel medio del mar y el fondo marino (descripción de lo que representa la batimetría), se emplean subestructuras flotantes o fijas. En la Figura 1 se muestra una representación gráfica de aerogeneradores con subestructuras fijas (c) y flotante (i). Como dato aproximado, la mayor parte de los parques eólicos que se encuentran en la actualidad rondan batimetrías de 60 m [3], aunque hay casos de parques eólicos que superan esta barrera, llegando hasta los 90 m [4].

### 1.1.1. Subestructuras fijas

Las subestructuras se dividen en tres grupos principalmente:

- Monopilote. Estructura cilíndrica enterrada que actúa como unión entre la torre y el lecho marino.
- Trípode. Estructura dividida en dos, una primera parte en forma de monopilote que parte de la torre y que transfiere los esfuerzos a la base que la forman tres pilotes.
- Jacket. Estructura en celosía con tres, cuatro o cinco puntos de anclaje al suelo marino.

Las cimentaciones más empleadas, en función de la tipología de subestructura cimentadas al lecho marino y sus principales características, son las que se encuentran en la Tabla 1 y Tabla 2.

Tabla 1: Cimentaciones empleadas en la eólica off-shore cimentada al lecho marino y sus principales características (I). Fuentes: Varias.

Pilotes	
<b>Subestructura</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>· Monopilote</li><li>· Trípode</li><li>· Jacket</li></ul>
<b>Rango de profundidades</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>· Entre 10 y 30 m para subestructuras monopilotes o trípode.</li><li>· Hasta 90 m para subestructuras jacket.</li></ul>
<b>Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>· Tecnología ampliamente implementada.</li><li>· Gran madurez en redacción de proyecto y proceso de fabricación.</li><li>· Proceso sencillo de fabricación.</li></ul>
<b>Inconvenientes</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>· Tecnología limitada frente a alturas batimétricas elevadas.</li><li>· Limitaciones en el proceso de hincado en función del tipo de suelo existente.</li></ul>
Gravedad	
<b>Subestructura</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>· Monopilote</li></ul>
<b>Rango de profundidades</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>· Entre 15 y 60 m [5].</li></ul>
<b>Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>· Alto grado de industrialización con un coste inferior.</li><li>· Integración con el ecosistema marino y la reducción del impacto ambiental [6].</li></ul>
<b>Inconvenientes</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>· Transporte y emplazamiento complicados debido al peso y geometrías del conjunto.</li><li>· Requiere de preparación previa del lecho marino.</li></ul>

Tabla 2: Cimentaciones empleadas en la eólica off-shore cimentada al lecho marino y sus principales características (II). Fuente: Varias.

Cubetas de succión	
<b>Subestructura</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Monopilote</li> <li>· Trípode</li> <li>· Jacket</li> </ul>
<b>Rango de profundidades</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Entre 10 y 30 m para subestructuras tipo monopilote o trípode.</li> <li>· Hasta 90 m para subestructuras tipo jacket.</li> </ul>
<b>Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Fácil proceso de montaje y desmontaje del conjunto subestructura-cimentación.</li> <li>· Disponible para subestructuras en celosías o monopilotes.</li> <li>· Menor impacto a la fauna marina con la eliminación de ruidos (proceso de hincado de pilotes).</li> </ul>
<b>Inconvenientes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· No resulta apto en ubicaciones con elevadas cargas provocadas por el viento y las olas.</li> </ul>

### 1.1.2. Subestructuras flotantes

Los aerogeneradores en base flotante abren nuevas vías. Brindan la posibilidad de ir a mayores profundidades, lo que ofrece mejores recursos eólico y a superficies más amplias.

Las limitaciones de este tipo de cimentaciones vienen por dos vías; los tendidos eléctricos para la evacuación de la energía eléctrica y los amarres al lecho marino. Batimetrías elevadas (superiores a 1.000 metros) encarece y dificulta la instalación de cimentaciones flotantes.

Las cimentaciones empleadas en plataformas flotantes se llevan implementando en la industria petrolífera en alta mar desde los años 50. Es una tecnología madura que se puede adaptar a los requisitos técnicos de los aerogeneradores marinos [7].

Las subestructuras que se manejan en la actualidad para la eólica flotante (véase la Figura 2) y las principales características se encuentran en la Tabla 3.

Tabla 3: Tipos de subestructuras empleadas en la eólica off-shore flotante. Fuente: Adaptada de [8].

Barge (barcaza)	Concepto parecido a un barco en cuanto a dimensiones se refiere. La manga y eslora es mayor que el calado.
Semi-sumergible	Tipología que intenta minimizar la superficie pero maximizando el volumen, siempre buscando una relación que le confiera una mayor flotabilidad.
SPAR	Volumen cilíndrico hueco y estanco con el peso en la parte inferior. La flotabilidad se la confiere la forma, y la estabilidad la masa que se encuentra en la parte más baja del mismo.
Tension Leg Platform (TLP)	Las subestructuras TLP tienen una alta flotabilidad y una base ancha. Para que se puedan mantener estables requieren de unos cables fijos y tensos al lecho marino.

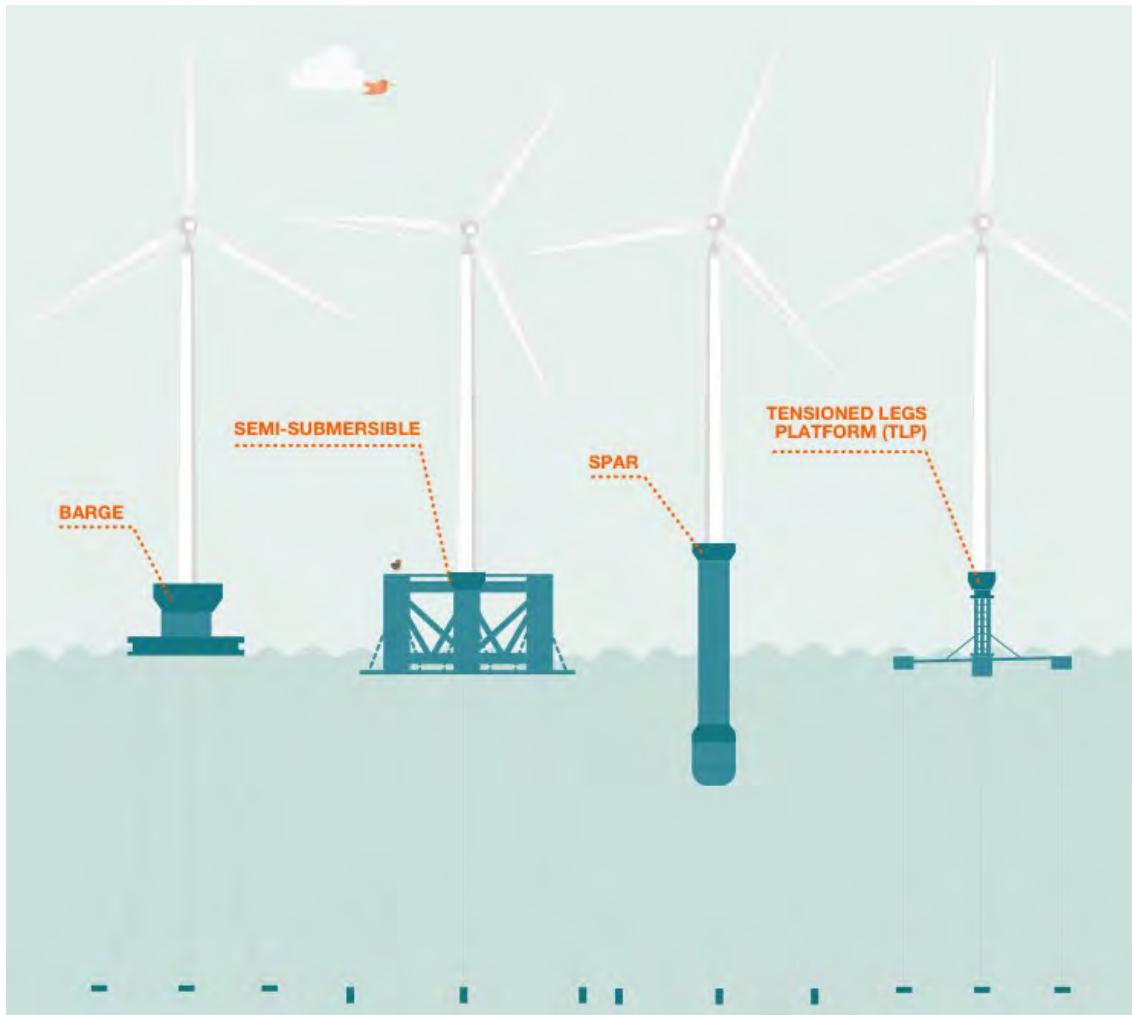


Figura 2: Representación gráfica de las principales tipologías de subestructuras flotantes empleadas en la actualidad. Fuente: Adaptada de [8].

A diferencia de la unión rígida entre subestructura-cimentación de los aerogeneradores fijos al lecho marino, la plataforma flotante se une mediante tensores, cables o cadenas a la cimentación. Los principales tipos son los que se encuentran en la Tabla 4.

Tabla 4: Sistemas de anclaje al lecho marino de las subestructuras flotantes.

Anclas de arrastre	Anclas similares a las empleadas en las embarcaciones. Soportan tensión en una dirección.
Anclas de succión	Cilindros o secciones cuadradas que se anclan al suelo mediante una diferencia de presión entre el interior de estas (presión negativa) y la que se encuentra en el exterior (presión positiva)
Pilotes	Solución técnica idéntica a las cimentaciones fijas tipo monopilote.
Anclas de gravedad	Estructuras masivas de materiales pétreos muy densos (generalmente hormigón).

### 1.1.3. Batimetría en Canarias

Las Islas Canarias se caracterizan por tener profundidades elevadas a pocos metros de la costa. En la Figura 3 se aprecia este hecho, las líneas azules representan 50 metros más de profundidad con respecto a la que le precede. Es decir, entre más cerca se encuentren las líneas, mayores son las pendientes. Una representación en tres dimensiones de la batimetría en las islas es la que se encuentra en la Figura 6. Las fuentes de referencia oficiales con datos de batimetría en cartografía interactiva son:

- GRAFCAN. Dispone de cartografía con capa batimétrica.
- GEO PORTAL del Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Cartografía digital con la posibilidad de elaborar perfiles batimétricos.
- Repositorio de Datos Marinos Integrados de Canarias REDIMC. Base de datos con cartografía digital.
- European Marine Observation and Data Network, EMODnet. Geoportal de la Comisión Europea (CE en adelante) con mapas en 2D y 3D.

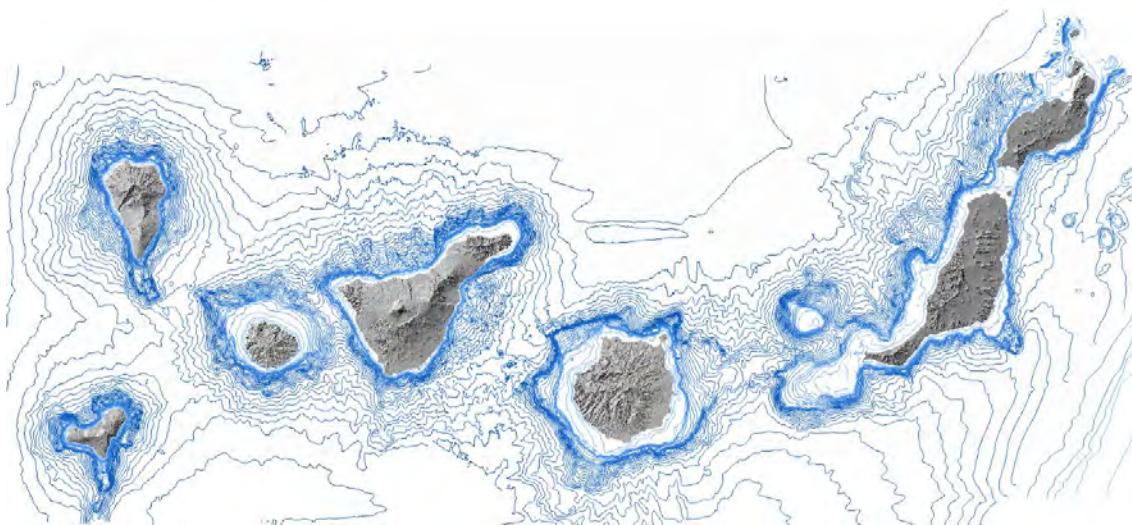


Figura 3: Representación de la batimetría de las Islas Canarias. Fuente: Elaboración propia a partir de [9].

De la batimetría de Canarias se pueden identificar dos tendencias:

- Las islas de la provincia de Las Palmas y el norte de La Gomera tienden a las grandes pendientes tras una llanura subacuática. El terreno de este tipo de llanuras es de depósitos de sedimentos de distinto grano. Las islas más orientales son las de mayor edad geológica. Se han visto erosionadas durante más tiempo que el resto. Esta erosión ha hecho que los restos se depositen en el fondo marino próximo a la costa. En la Figura 4 se aprecia una pendiente progresiva en la costa suroeste de la isla de Fuerteventura. Situar aerogeneradores con tipologías de subestructuras cimentadas al lecho marino en este tipo de formaciones geológicas puede resultar ventajoso ya que cuando existen apoyos en grandes pendientes, ligeros movimientos pueden provocar grandes desplazamientos verticales en la punta del aerogenerador.

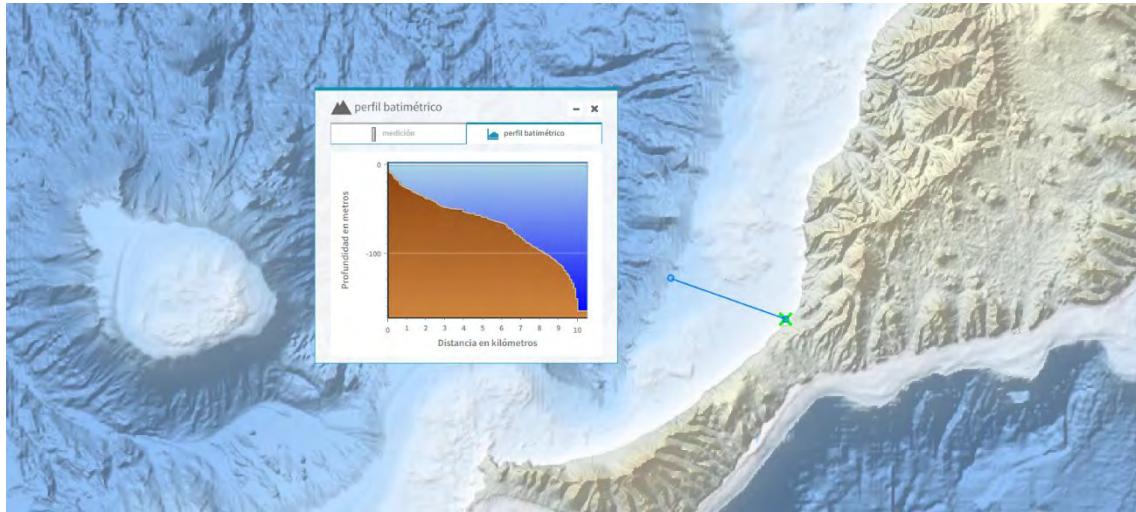


Figura 4: Perfil batimétrico en la costa suroeste de Fuerteventura. Fuente: Adaptada de [10].

- Las características geológicas de las islas más occidentales, exceptuando el norte de La Gomera, tienden a grandes pendientes desde zonas cercanas a la línea de costa. La edad geológica joven y erupciones volcánicas violentas que se han producido en estas islas les confieren estas características. En la Figura 5 se representa el perfil batimétrico en la costa noroeste de la isla de Tenerife. En relación con la de Fuerteventura (véase Figura 4), la pendiente en este caso es mucho más abrupta.

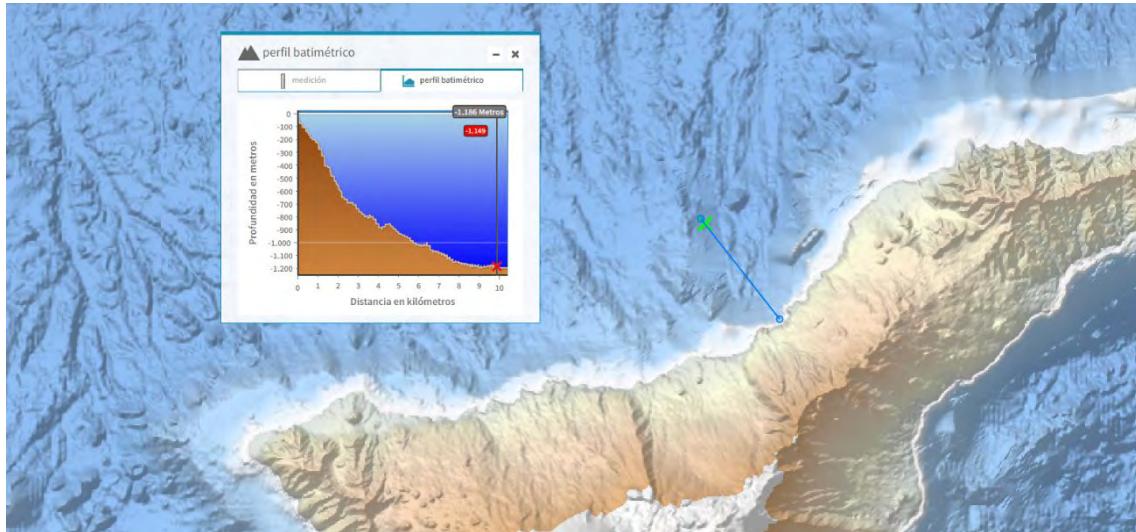


Figura 5: Perfil batimétrico en la costa noroeste de Tenerife. Fuente: Adaptada de [10].

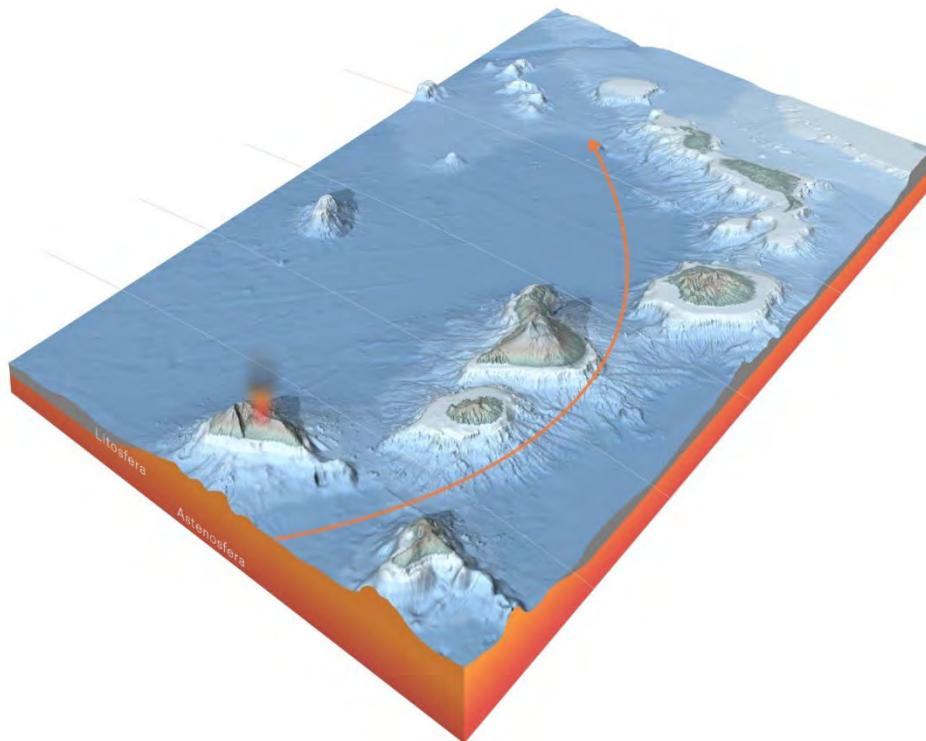


Figura 6: Vista 3D de la forma de las Islas Canarias en la plataforma continental. Fuente: Adaptada de [11].

### 1.2. Fondo marino

Las características geológicas del fondo marino junto con la batimetría del emplazamiento, expuesta en el punto anterior, son dos de las características que determinan el uso de una tipología u otra del conjunto cimentación-subestructura para los aerogeneradores marinos. En la Tabla 5 se detalla en resumen los tipos de cimentaciones y las características del terreno más acordes a cada una de ellas.

Tabla 5: Idoneidad de los tipos de suelo según la cimentación escogida. Fuente: Adaptada de [12].

Tipo de cimentación	Características del terreno
Gravedad	Requieren de terreno competente debido a las grandes cargas de compresión en la base. Estas cimentaciones son más apropiadas para fondos marinos compuestos por arcilla compactada, suelo arenoso y roca
Pilotes	Las cimentaciones pilotadas se suelen emplear en estratos de arcilla, arena o roca, resultando este último menos ventajoso. En función del tipo de terreno se emplearán tecnologías de hincado o hincado con perforación.
Succión	Suelos arcillosos o de gran homogeneidad. Los estratos deben estar limpios de bolos de tamaño mediano/grande, ya que pueden deformar la falda del vaso.

El estrato marino canario se caracteriza por disponer de una composición en arena, arena fangosa, sustrato grueso, cantos rodados y roca. La Figura 7 muestra en gradientes de color los distintos estratos. Los tonos rojizos representan estratos basados en arenas y arenas fangosas y aquellos que se tornan verdosos representan cantos rodados y roca.

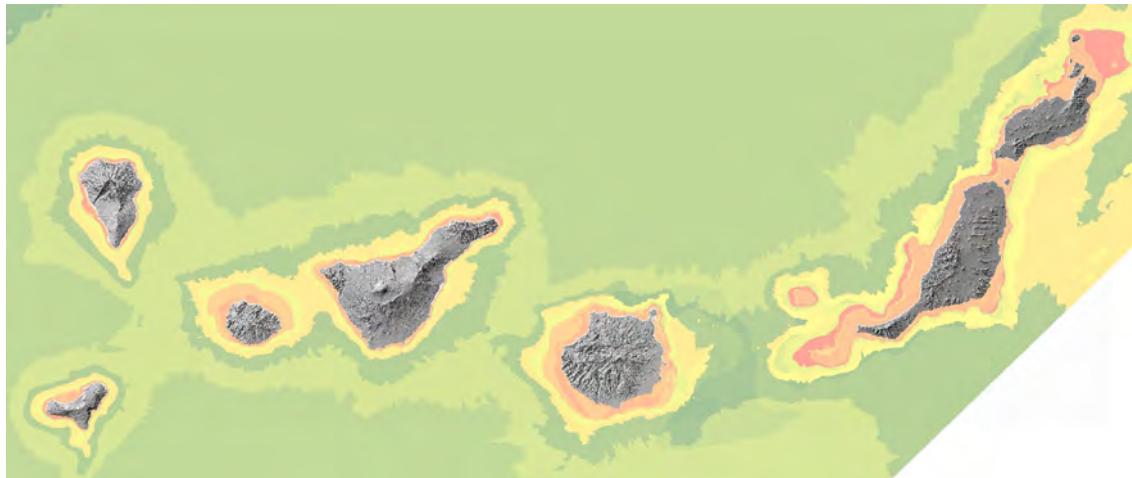


Figura 7: Estratificación del suelo marino en Canarias. Fuente: Elaboración propia.

Las fuentes de referencia con datos geológicos de los fondos marinos son:

- GRAFCAN. Dispone de Ecocartografía con datos y muestras de suelos en Canarias.
- Mapas geológicos del Gobierno de España.
- Instituto Español de Oceanografía IEO. Geoportal con capa de Naturaleza del Fondo Marino.
- European Marine Observation and Data Network, EMODnet. Geoportal de la CE con datos del estrato marino.

### *1.3. Recurso eólico*

El aprovechamiento o recurso eólico es la forma de cuantificar la explotación energética que se puede extraer del viento mediante el uso aerogeneradores. Un mayor recurso eólico representa una mayor cantidad de generación eléctrica y una posible reducción de costes generalizado. Para saber el recurso eólico de un lugar se emplean modelos de predicción meteorológicas. Las variables a tener en cuenta, tanto para aerogeneradores off-shore como on-shore son tres:

- Velocidad media del viento y frecuencia anual del mismo.
- Perfil de probabilidad de la dirección de viento (rosas de viento).
- Densidad de energía.

Como referencia de estudio se emplean modelos de 5, 10 y 15 MW de potencias nominales de aerogeneradores marinos. Los datos de velocidades de viento y altura de góndola se encuentran en la Tabla 6.

Tabla 6: Modelos de aerogeneradores y características principales de velocidades de viento, potencias y alturas de góndola. Fuentes: [13], [14] y [15].

Modelo	Potencia nominal (MW)	Velocidad mínima (m/s)	Velocidad nominal (m/s)	Velocidad máxima (m/s)	Altura de la góndola (m)
5-MW Reference NREL	5	3	11,4	25	87,6
DTU 10MW RFT	10	4	11,4	25	115,63
IEA Wind 15-MW RFT	15	3	10,59	25	150

Canarias se encuentra ubicada en una de las mejores zonas de Europa en cuanto a aprovechamiento eólico se refiere. Esto se debe a que la velocidad media del viento en gran parte de su territorio es elevada. Los aerogeneradores trabajan en un rango de velocidades de viento que, generalmente, se distribuyen en tres zonas:

- Velocidad mínima de producción. Velocidad mínima de giro de las palas.
- Velocidad nominal. Velocidad de viento a la cual los aerogeneradores empiezan a generar la potencia nominal.
- Velocidad de corte. Velocidad máxima de viento que soporta el aerogenerador.

En la Figura 8 se encuentra la curva de potencia del aerogenerador de referencia de 5 MW. En el eje X se representa la velocidad de viento en m/s, en el eje Y la potencia en kW. La línea verde refleja la potencia generada en cada instante de velocidad incidente.

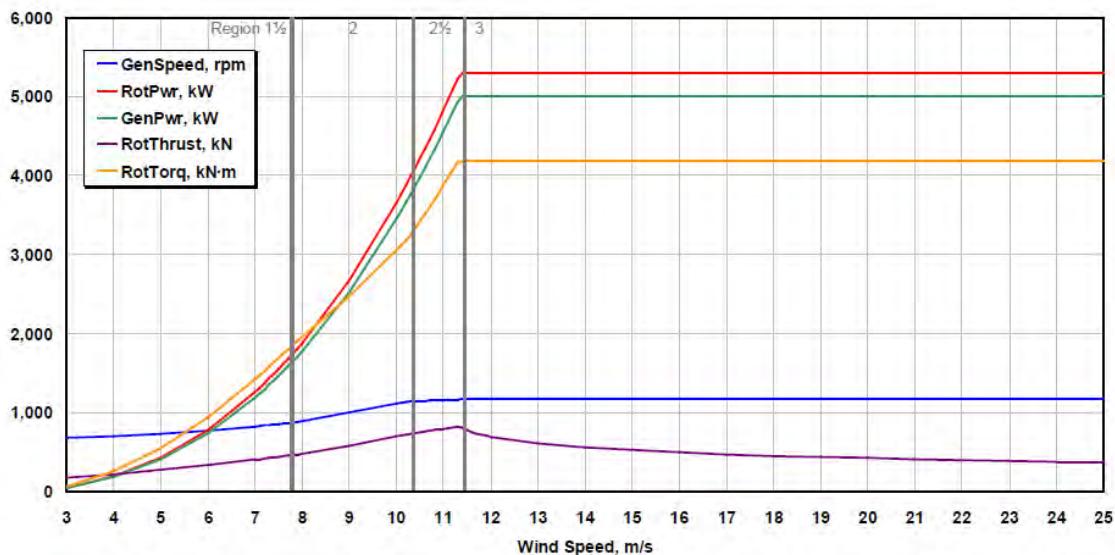


Figura 8: Curva de potencia del aerogenerador de referencia de 5 MW. Fuente: Adaptada de [13].

Las curvas mostradas en la Figura 8 representan valores ideales. Factores como el giro de las palas o de la torre, vientos racheados o cambios repentinos en la dirección del viento hacen que la forma de estas curvas a lo largo del tiempo no sea perfecta.

El rango de velocidades medias de viento en las Islas Canarias varía entre los 4 y 11 m/s a 80 m. Comparando estos valores de velocidades con los datos de la tabla de los aerogeneradores de referencia (Tabla 6), las islas poseen un recurso eólico de calidad apto para cualquier aerogenerador de cualquier potencia.

En la Figura 9, Figura 10 y Figura 11 se representan las velocidades medias de viento a 50, 100 y 150 metros respectivamente.

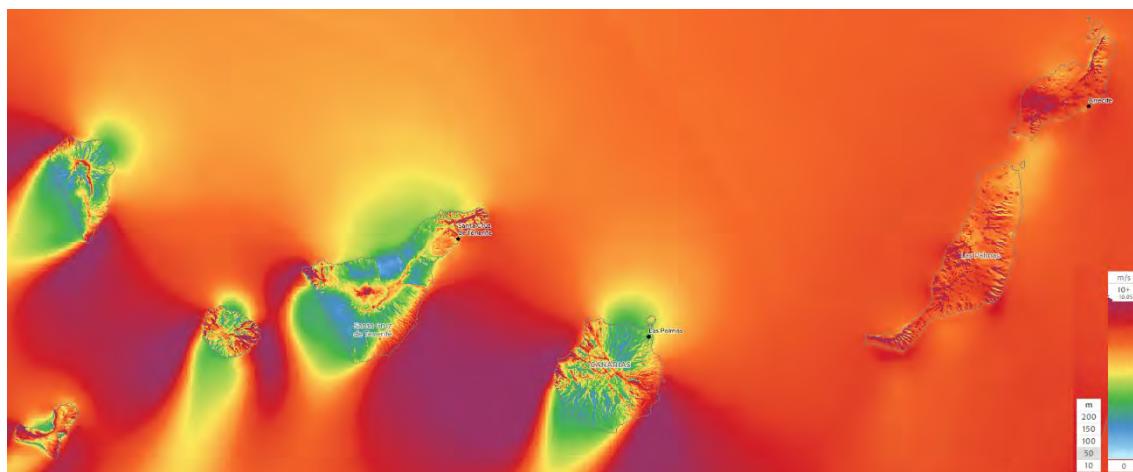


Figura 9: Velocidad media del viento a 50 metros en Canarias. Fuente: Adaptada de [16].

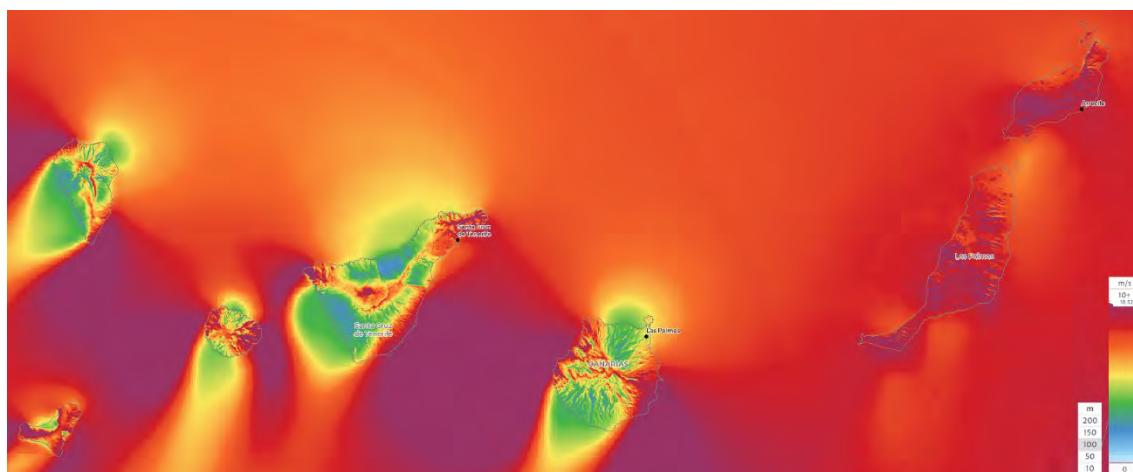


Figura 10: Velocidad media del viento a 100 metros en Canarias. Fuente: Adaptada de [16].

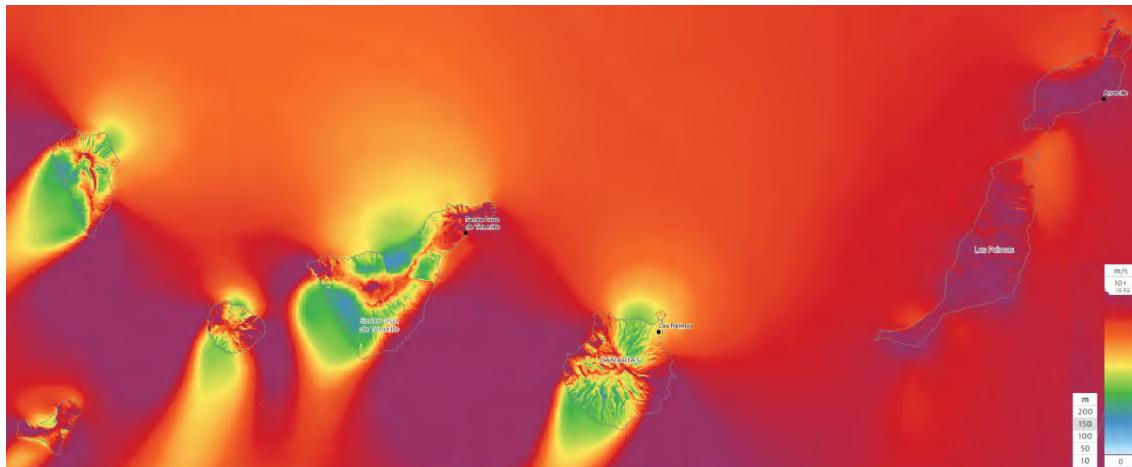


Figura 11: Velocidad media del viento a 150 metros en Canarias. Fuente: Adaptada de [16].

En las figuras anteriores se puede apreciar que el aprovechamiento eólico mejora a cotas más altas, tornándose tonos más violáceos a medida que aumenta la altura. Esto se suma a la ventaja de que, a mayores potencias nominales de los aerogeneradores, mayores alturas de buje se requieren debido a que las palas son más grandes.

La variación de la velocidad de viento a lo largo de un año natural es otro de los puntos a tener en cuenta. Para poder mantener una producción constante anual, la velocidad del viento debe mantenerse, por ende, invariable a lo largo del año.

Una muestra de la variación de las velocidades de viento a lo largo de los meses en el sureste de la isla de Gran Canaria es la que se aprecia en la Figura 12. En los meses más fríos la velocidad del viento llega a ser 0,8 veces la de la media del año (en dicho emplazamiento teniendo una velocidad media anual de 11,20 m/s, se obtendría un mínimo de 8,17 m/s), y en verano 1,5 veces (16,8 m/s). Todos estos valores de velocidades de viento son medidos a 80 m de altura. Esto se debe a la característica de los vientos alisios que inciden en las islas, predominantes en los meses de verano y menos influyentes en invierno. Esto es un punto negativo de las Islas Canarias.

Las velocidades de viento en verano tienen una mayor influencia en las caras norte y en los canales que se forman entre las islas, en especial este último debido al efecto Venturi. La orografía compleja de las islas, sobre todo de las occidentales, juega un papel crucial en la variancia de las velocidades de viento en los meses de verano, sobre todos en los lados situados a sotavento (suroeste, suponiendo la incidencia constante del viento en componente norte noreste) [17].

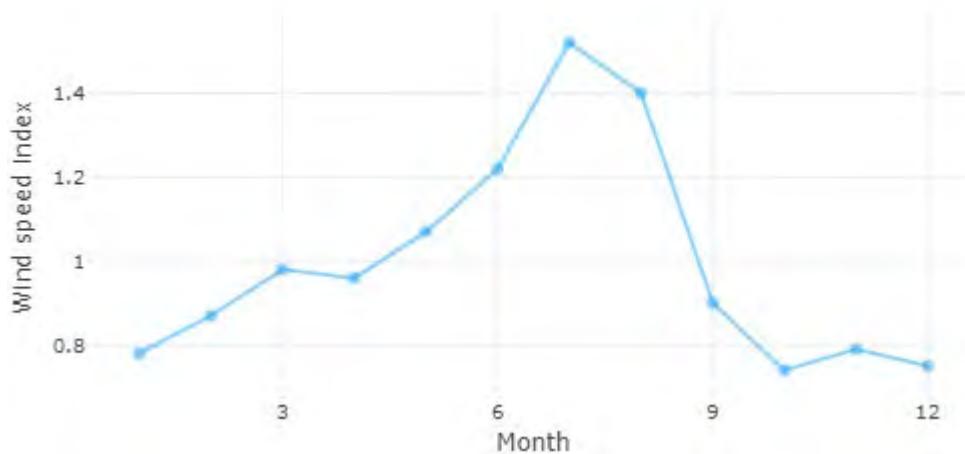


Figura 12: Variación mensual de la velocidad media del viento en la costa sureste de la isla de Gran Canaria.  
Fuente: Adaptada de [16].

Otra característica de los vientos alisios es la incidencia constante en la dirección NNE. En la Figura 13 se aprecia la rosa de viento de Canarias (i) y la del suroeste de la isla de Gran Canaria (d).

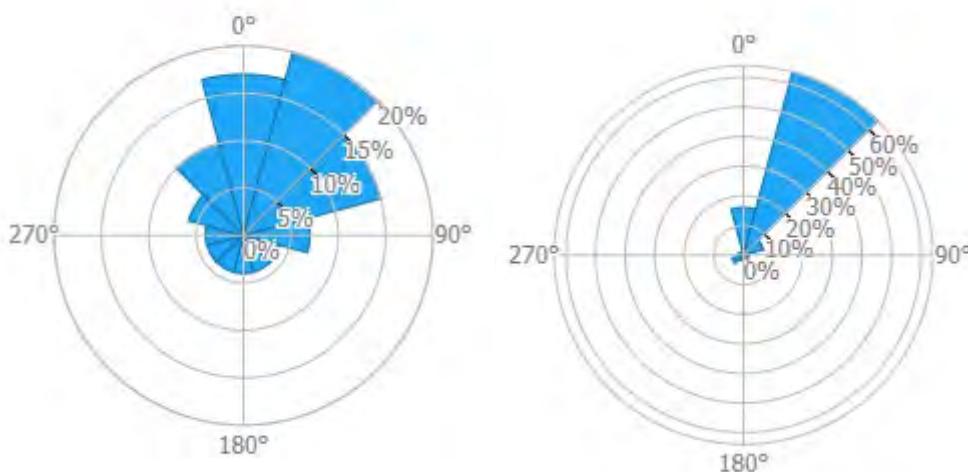


Figura 13: Rosa del viento en las Islas Canarias (i) y en el suroeste de Gran Canaria (d). Fuente: Adaptada de [16].

#### 1.4. Proximidad a subestaciones eléctricas

La energía eléctrica generada en el parque eólico necesita ser tratada antes de su conexión y vertido a la red eléctrica. Para rangos de potencia superiores a 0,5 MW, generalmente, se requiere de una subestación antes de su vertido a la red. Para la eólica marina existen dos posibilidades:

- Conexión directa con subestaciones en tierra. Red Eléctrica de España (en adelante REE) dispone de una alta densidad de subestaciones en las islas capitalinas, y una menor densidad de ellas en el resto.
- Conexión indirecta en tierra a través de subestaciones eléctricas en el mar. Cuando por cuestiones económicas y/o técnicas no sea rentable trazar líneas de cables desde cada aerogenerador hasta tierra, generalmente por grandes distancias o altas batimetrías que ocasionan elevadas pérdidas, se instalan subestaciones off-shore para mitigar y/o reducir la inversión realizada.

En la Figura 14 se encuentran las subestaciones actuales en las Islas Canarias. La elección de la ubicación de parques eólicos marinos puede verse condicionada por la proximidad a subestaciones en tierras o por el trazado de líneas de alta tensión.

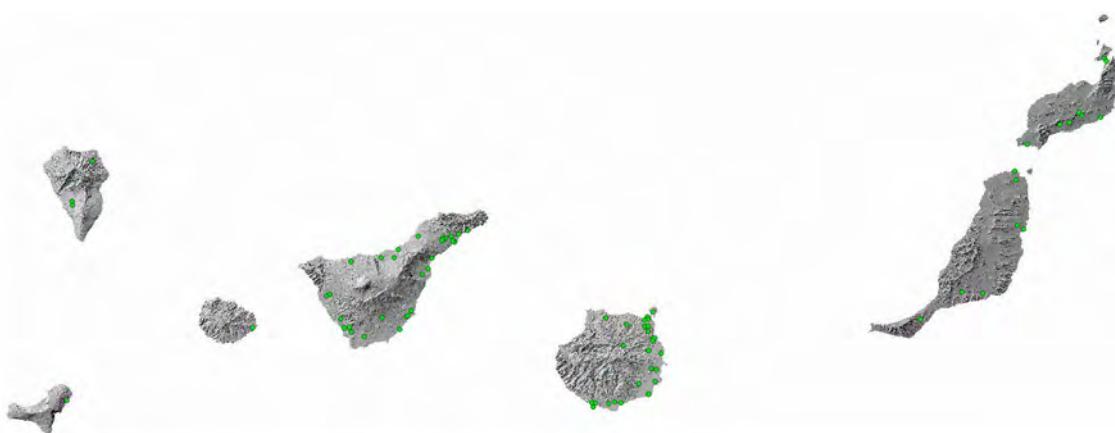


Figura 14: Ubicación de subestaciones eléctricas en las Islas Canarias. Fuente: Elaboración propia a partir de [18].

## 2. Restricciones y limitaciones legales, administrativas y por actividades económicas.

### 2.1. Impacto ambiental

Canarias cuenta con 146 Espacios Naturales Protegidos [19], representando un 40% de su territorio distribuidos entre las siguientes categorías:

- Sitios de Interés Científicos.
- Paisajes Protegidos.
- Monumentos Naturales.
- Reservas Naturales Especiales.
- Reservas Naturales Integradas.
- Parques Nacionales.
- Parques Naturales.
- Parques Rurales.

A esta red de espacios protegidos habría que sumarle los de la Red Natura 2000 (RN 2000 en adelante), Hábitats de Interés Comunitario (HIC en adelante), entre otros. Emplazar parques eólicos en estas zonas puede que esté sujeta a restricciones administrativas y legales,

Ilegando incluso a estar prohibido el desarrollo de la eólica marina en zonas protegidas o cercanas a ellas.

Existen áreas marinas en las que se pueda permitir ubicar parques eólicos pero que se encuentran sujetos a condicionantes. En cualquier caso, se debe realizar un estudio de impacto ambiental que recoja y cuantifique los posibles daños originados a los ecosistemas y a la biodiversidad y, en caso de que los hubiera, que se recojan las medidas para eliminarlos y/o mitigarlos.

## 2.2. Impacto visual

Otro de los puntos críticos que provoca rechazo sobre la opinión pública es el impacto visual que generan los parques eólicos cercanos a la costa.

La distancia a la cual este efecto no resultaría perjudicial es a partir de los 8 km desde la línea de costa. Límite propuesto en el informe técnico de la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) sobre *Potencial de energía eólica terrestre y marina de Europa. Evaluación de las restricciones ambientales y económicas* [20], donde referencia un estudio de la Universidad de Newcastle *Visual Assessment of Windfarms Best Practice. Scottish Natural Heritage Commissioned Report F01AA303A* [21], y que determina que el impacto visual de un aerogenerador a 8 km del litoral visto por un observador que se encuentre en la línea de costa es insignificante. A distancias superiores, en torno a 45 km, serían prácticamente invisibles por el efecto de curvatura de la tierra. Una representación aproximada de estos fenómenos es la que se encuentra en la Figura 15.



Figura 15: Percepción de los aerogeneradores sobre el horizonte en función de la distancia que se encuentre respecto a la costa. Fuente: Adaptada de [22].

El impacto visual es un elemento tremadamente subjetivo y el problema se puede abordar desde dos puntos de vista:

- La población puede percibir el emplazar aerogeneradores en el mar como algo negativo ya que afectaría al turismo y a la limpieza visual que hay las costas canarias.
- El situar aerogeneradores marinos puede otorgar la idea de islas energéticamente independientes y asociarlas como ejemplos de transición energética verde y limpia.

### **2.3. Distancias respecto a la costa**

Para delimitar la ubicación de aerogeneradores en el mar se establece una franja que contemple una distancia mínima y máxima respecto a la costa.

#### **2.3.1. Distancia mínima a la costa**

La distancia mínima establecida desde el litoral es un límite que no ha quedado definido. Existen dos marcos normativos que ponen límites distintos.

En el *Estudio Estratégico Ambiental del litoral español para la instalación de parques eólicos marinos* [23] publicada en el BOE-A-2009-7684, se propone una distancia mínima de 8 km desde la costa para situar los aerogeneradores marinos. Se atendía a directrices de La Dirección General de Costas. Aunque en el propio documento se menciona que no es un argumento para excluir el desarrollo de la eólica marina en todo el litoral a menos de 8 km, se requiere de un estudio de impacto visual que analice las posibles afecciones negativas.

Este marco regulatorio quedó desfazado y el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (en adelante MITECO) desarrolla el Plan de Ordenación del Espacio Marítimo (en adelante POEM), con el objetivo de establecer los objetivos y limitaciones de cualquier actividad humana en el mar, teniendo en cuenta aspectos económicos, sociales y ambientales.

En los documentos de los POEM sacados a consulta pública, específicamente el de la demarcación marina de Canarias, en el punto *6.2.1.4.1. INTERACCIÓN ENTRE EL DESARROLLO DE PARQUES EÓLICOS Y LA NAVEGACIÓN* [24] se establece una distancia libre mínima desde la costa de 1 milla náutica (aproximadamente 1,85 km). Este marco normativo no ha sido todavía aprobado todavía por ningún Real Decreto (R.D. en adelante), por lo tanto y hasta que no entre en vigor, sigue vigente el estudio estratégico establecido en el BOE-A-2009-7684.

Agentes públicos locales pueden ser los que tengan una mayor influencia en la limitación de la distancia mínima respecto a la costa. El sector económico más importante en las islas es el turismo. La influencia negativa sobre ese sector económico puede llegar a la limitación o prohibición del desarrollo de la eólica marina en Canarias, incluso más allá de la milla náutica propuesta en el POEM.

#### **2.3.2. Distancia máxima a la costa**

La distancia máxima a la costa viene determinada por dos vías; el límite político del territorio y la limitación de la tecnología aplicada para su anclaje al lecho marino.

El límite donde los estados soberanos ejercen los derechos de explotación y uso de los recursos del territorio marino, denominado zona económica exclusiva, (en adelante ZEE) se extiende desde la costa hasta un máximo de 200 millas náuticas (aproximadamente 370,4 km) sin entrar en conflicto con países fronterizos (véase la Figura 16 para la ZEE de España).



Figura 16: Mapa con las ZEE de España. Fuente: Adaptada de [25].

En estas zonas ZEE el estado español tiene la soberanía para explotar recursos y tiene la jurisdicción para todas aquellas estructuras y estudios científicos que se instalen en sus aguas. En el caso de Canarias, la ZEE linda con la de Portugal (Madeira) y con la de Marruecos (véase Figura 17).

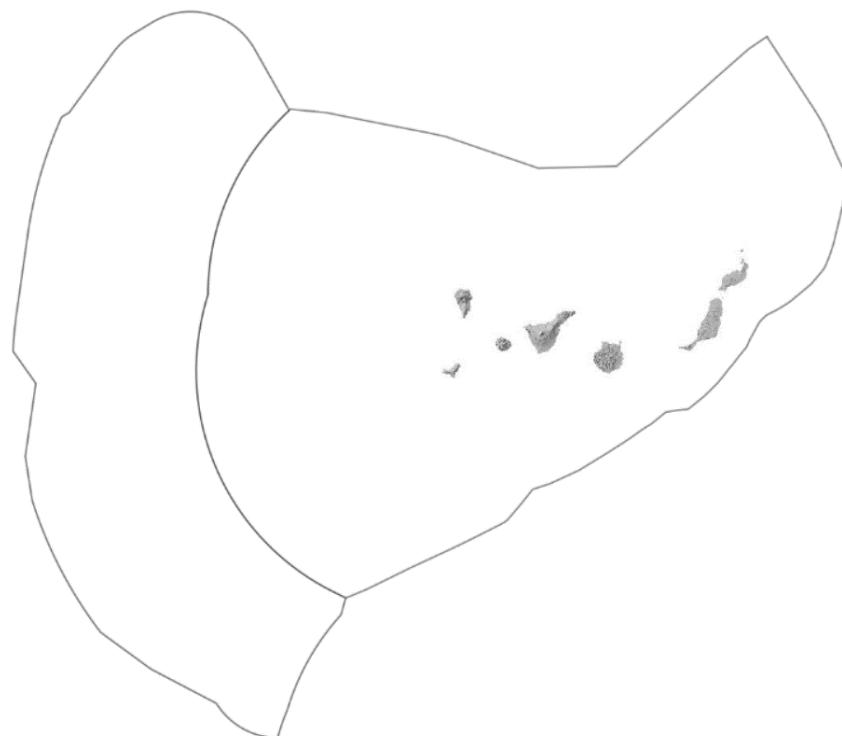


Figura 17: Mapa de la ZEE de Canarias. Fuente: Adaptada a partir de [26].

#### **2.4. Espacios protegidos Red Natura 2000**

Los espacios protegidos de la RN 2000 es una iniciativa que tiene como promotor la CE. El objetivo de estos espacios es la protección y la conservación de la biodiversidad de los países miembros.

Las directrices de conservación de los hábitats naturales de flora y fauna vienen descritas en la directiva europea 92/43/ CEE, específicamente en el artículo 6. Los apartados 1 y 2 del artículo se orientan a la conservación y gestión de los espacios de la RN 2000. Los apartados 3 y 4 establecen evaluaciones y procedimientos para la autorización de planes y proyectos que tengan repercusiones negativas en cualquier espacio dentro de la RN 2000.

El desarrollo eólico off-shore dentro de estos espacios protegidos o en las cercanías no está sujeto a prohibición. La CE lanza en el año 2020 un documento sobre la orientación de proyectos de eólica y sus interferencias con las leyes de protección natural de los países miembro [27]. En dicho informe se expresa que *La Directiva sobre hábitats no excluye, a priori, la construcción de parques eólicos en espacios Natura 2000 ...*

Para cada proyecto de ejecución de un parque eólico se debe analizar el impacto a la biodiversidad que se ejerza sobre o en las cercanías a un área de la RN 2000. En el documento anteriormente señalado se proponen una serie de etapas para evaluar los daños sobre hábitats y/o especies. Se exige la redacción de un documento que recoja las actividades que puedan incidir de manera negativa en el proceso de construcción y explotación del parque eólico que se ejecute sobre un espacio de la RN 2000, y las medidas que se toman para eliminarlos o mitigarlos lo máximo posible. Los puntos claves que debe tener el documento para la tramitación de un parque eólico off-shore dentro o en las proximidades de una RN 2000 serían los siguientes:

- Que el proyecto presentado es el que mejor se limita a las restricciones del lugar, independientemente de las cuestiones económicas.
- Que existen razones de primera orden de índole social o económica para la explotación eólica.
- Que se adoptan medidas para mitigar los efectos adversos.

La RN 2000 se divide en tres espacios o zonas de conservación:

- Lugar de Interés Comunitario, en adelante LIC.
- Zona de Especial Conservación, en adelante ZEC.
- Zona de Especial Conservación Para las Aves, en adelante ZEPA.

##### **2.4.1. Lugar de Interés Comunitario**

Las zonas LIC son superficies designadas por su potencial contribución a restaurar el hábitat natural, para la demarcación canaria véase la Figura 18. Representan el paso previo para considerar esas superficies como áreas ZEC.

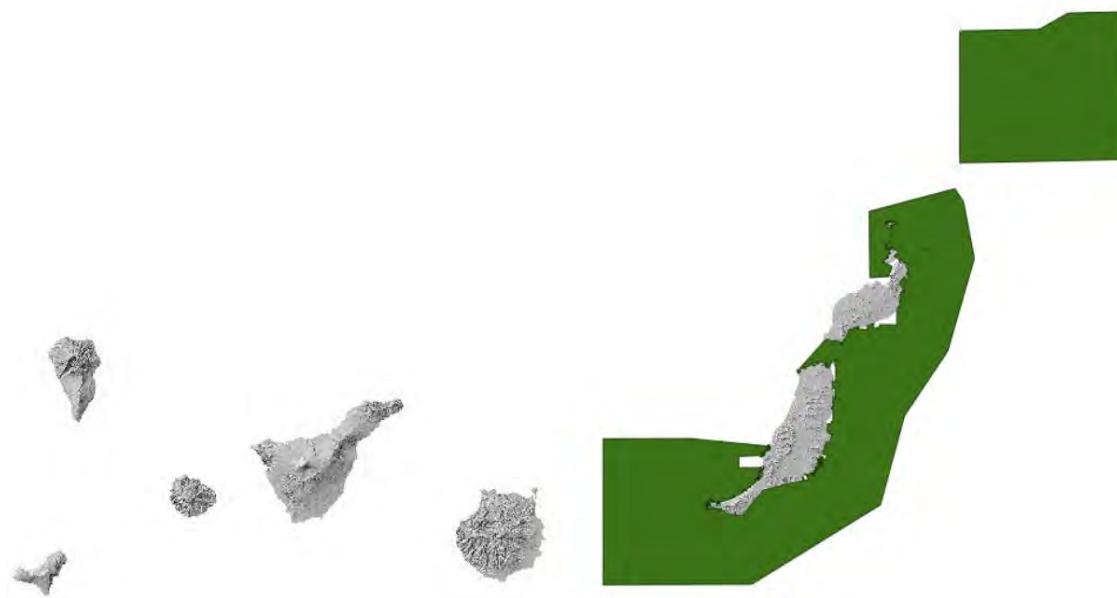


Figura 18: Espacios LIC marinos de Canarias. Fuente: Elaboración propia a partir de [9].

Estos espacios formaran parte de una red de protección preventiva, donde se garantice que no existe una merma en el estado actual de hábitats y especies hasta su posible declaración como espacio ZEC.

#### *2.4.2. Zonas de Especial Conservación*

Los espacios ZEC (véase la Figura 19 para la demarcación canaria) representan áreas de gran interés medioambiental con la motivación de preservar la biodiversidad de la zona. Previamente tuvieron que ser concedidas como LIC. En las áreas ZEC se prohíbe la explotación del recurso eólico mediante aerogeneradores, tanto para áreas marinas como en tierra. Esta prohibición proviene de la estrategia energética del Gobierno de Canarias [28].

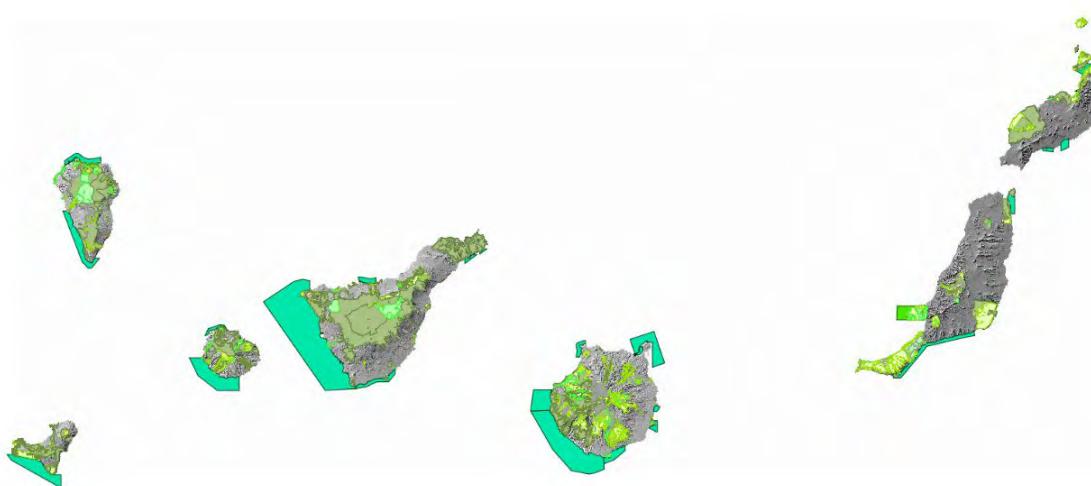


Figura 19: Espacios ZEC de Canarias. Fuente: Elaboración propia a partir de [9].

#### *2.4.3. Zonas Especiales de Conservación para las Aves*

Las zonas ZEPA son áreas de protección para la conservación de aves en amenaza de extinción, garantizando su supervivencia y reproducción (véase la Figura 20 para la demarcación canaria). Se protegen gracias a que se limitan las actividades humanas como la caza o cualquiera otra que altere las condiciones normales de sus ecosistemas. Al igual que las zonas ZEC, está prohibida la explotación del recurso eólico mediante aerogeneradores. Esta prohibición se enmarca en la estrategia energética del Gobierno de Canarias [28].

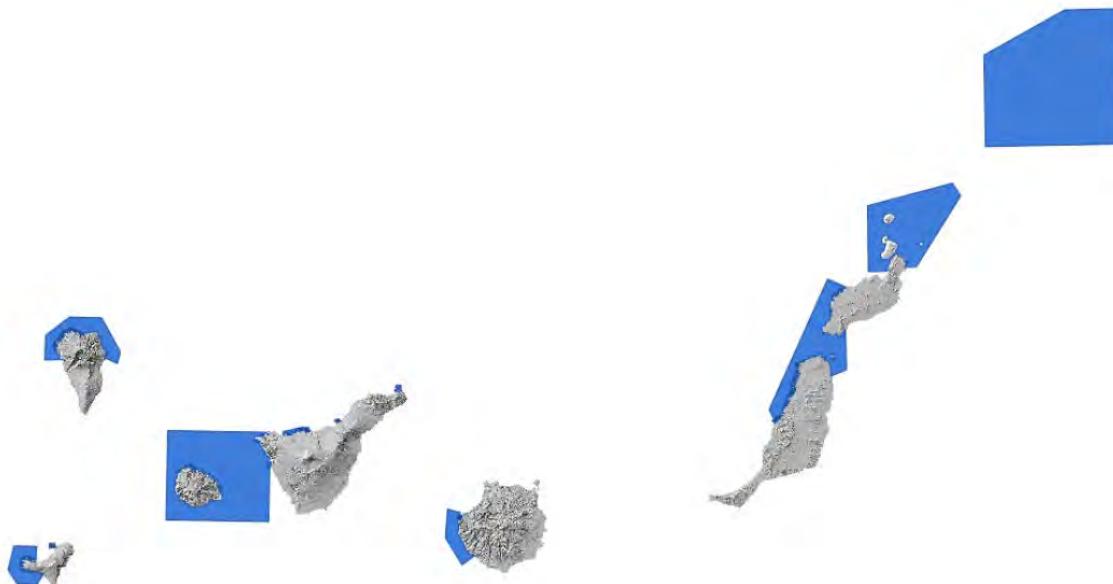


Figura 20: Espacios ZEPA marinos de Canarias. Fuente: Elaboración propia a partir de [9].

#### *2.5. Espacios Naturales Protegidos*

Canarias consta de 146 Espacios Naturales Protegidos (ENP en adelante), cubriendo una superficie total del 40% del territorio [19], con el bien de preservar la conservación de la biosfera y de los valores estéticos y culturales.

De acuerdo con el artículo 9 de la Ley 12/1994, del 19 de diciembre, de Espacios Naturales de Canarias, los ENP se categorizan como; Parques (Naturales y Rurales), Reservas Naturales (como Integrales y Especiales), Monumentos Naturales, Paisajes Protegidos y Sitios de Interés Científico. En la Figura 21 se representan los ENP de las islas.

El único lugar que queda afectado en el ámbito marino es el PN de La Graciosa.

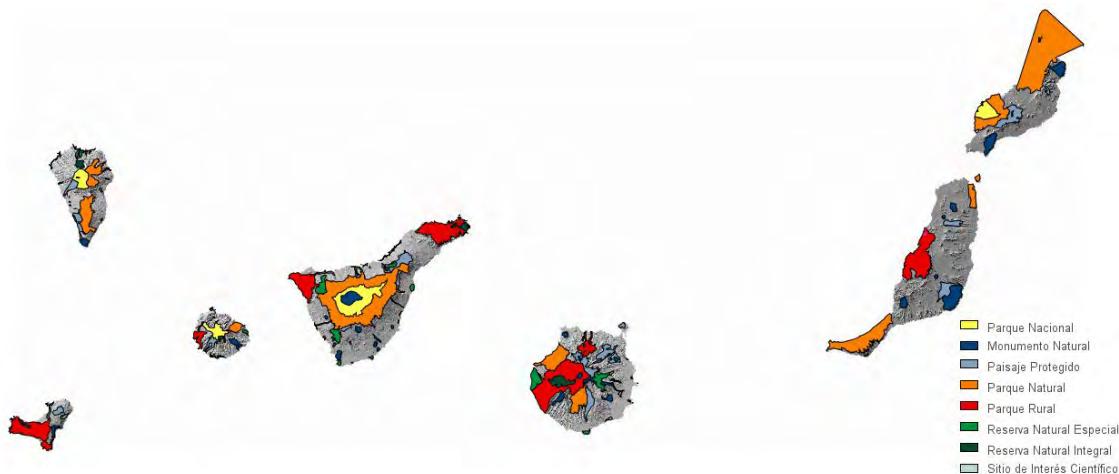


Figura 21: ENP de Canarias. Fuente: Elaboración propia a partir de [9].

## 2.6. Áreas Importantes para la Conservación de las Aves y la Biodiversidad

Las Áreas Importantes para la Conservación de las Aves y la Biodiversidad (IBA en adelante por sus siglas en inglés) son áreas protegidas por la BirdLife en las que se encuentran regularmente especies de aves. Las zonas IBA se solapan con otras de protección como ZEPA (véase la Figura 22 y la Figura 20). Este marco regulatorio no dispone de plan de gestión y por lo tanto no tiene limitaciones de usos y actividades.



Figura 22: IBA de Canarias. Fuente: Elaboración propia a partir de [9].

## 2.7. Red Canaria de Reserva de la Biosfera

En el año 1971 la UNESCO lanza el Programa sobre el Hombre y la Biosfera con el fin de conciliar en la humanidad la conservación de la biodiversidad de ecosistemas terrestres, marinos y costeros. Trata de integrar la protección de espacios con la explotación de recursos naturales. Estas áreas no están cubiertas por tratados ni legislaciones internacionales, sino son los países soberanos los que controlan y delimitan estas zonas.

Las islas de La Palma, El Hierro, La Gomera, Fuerteventura y Lanzarote han sido declaradas Reserva de la Biosfera (RB en adelante). A estas hay que sumarles Anaga, en el norte de Tenerife, y el 46% del suroeste de la Isla de Gran Canaria (véase la Figura 23).



Figura 23: Espacios Reserva de la Biosfera de Canarias. Fuente: Elaboración propia a partir de [9].

La eólica marina juega un papel crucial a la hora de promover la explotación de los recursos naturales de forma sostenible. La designación actual de RB no limita la eólica off-shore.

### *2.8. Red de Áreas Marinas Protegidas de España*

La Red de Áreas Marinas Protegidas de España (RAMPE a continuación) son espacios marinos protegidos aprobados por el BOE-A-2007-21490. Son áreas declaradas de manera independientemente a si ya han sido reclamados y/o gestionados por otros marcos normativos o legislativos, de carácter internacional, nacional o local. En Canarias las áreas que se engloban dentro de la protección RAMPE son las que se encuentran en la Figura 24.

Los espacios protegidos que se enmarcan en la RAMPE son:

- Área Marina Protegida (AMP en adelante).
- ZEC.
- ZEPA.
- Reservas Marinas (RM en adelante).
- Otras áreas englobadas en la Ley 42/2007.



Figura 24: Red de Áreas Marinas Protegidas de España. Fuente: Elaboración propia a partir de [10].

## 2.9. Hábitats de Interés Comunitario

Dentro de la demarcación LIC, se encuentran los Hábitats de Interés Comunitario (HIC en adelante), cuya descripción se encuentra en el Anexo I de la Directiva Hábitats de la CE (92/43/CEE). La determinación de HIC dentro de la LIC es el paso previo para la adjudicar ese espacio como ZEC.

Las HIC para Canarias son:

- HIC -1110: Bancos de arena cubiertos permanentemente por agua marina poco profunda.
- HIC-1170: Arrecifes.
- HIC-1180: Estructuras submarinas causadas por emisiones de gases.
- HIC-8330: Cuevas marinas sumergidas o semisumergidas.

Las zonas HIC de Canarias se representan en la Figura 25.

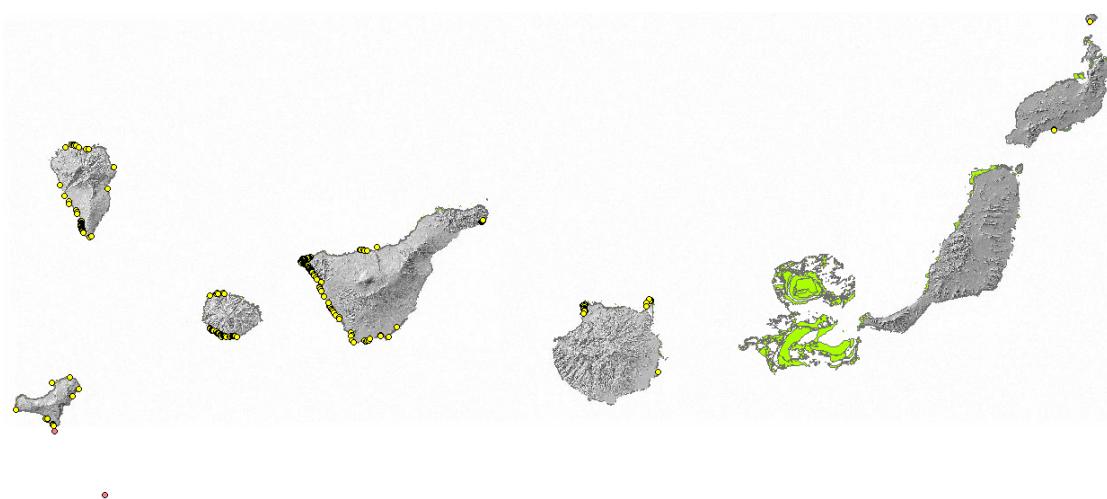


Figura 25: HIC de la demarcación marina de Canarias. Fuente: Elaboración propia a partir de [10].

## 2.10. Especies protegidas

Canarias es una región rica ya que dispone de una flora y fauna abundante en sus costas, además de por ser una de las vías migratorias de cetáceos y aves de todo el mundo. Es por ello por lo que el Gobierno de Canarias tiene un registro de todas estas especies y su densidad de población. En la Figura 26 se pueden apreciar el estudio de las distintas especies analizadas.



Figura 26: Densidad de especies protegidas de Canarias. Fuente: Elaboración propia a partir de [9].

Las zonas donde hay una mayor densidad de especies protegidas concuerda con las distintas áreas de espacios protegidos, reguladas por un marco normativo y donde la potencial implementación de la eólica marina se ve limitada.

## 2.11. Servidumbres aeroportuarias

Las servidumbres aeroportuarias son volúmenes que tienen que estar libres de obstáculos, ubicados y orientados en las pistas de aterrizaje-despegue de los aeropuertos y aeródromos. Es una limitación legal que se impone para garantizar la seguridad y la continuidad de las operaciones aéreas. Existen diferentes tipos de servidumbres según el tipo de aeropuerto, la ayuda de navegación o el procedimiento de aproximación que se utilice. Las servidumbres se establecen mediante reales decretos que se publican en el Boletín Oficial del Estado. También se deben respetar los volúmenes de los instrumentos de radares y comunicación. En la Figura 27 se muestran las servidumbres aeroportuarias en Canarias.

Esta limitación es de las que más afecta a la eólica por tres razones:

- Los aerogeneradores de grandes potencias suelen rebasar los 200 metros de altura, medidos desde el nivel medio del mar hasta el punto más alto de las palas.
- Los aeropuertos se suelen ubicar en zonas cercanas a la costa debido a que la orografía en estos espacios es menos abrupta.

- Los aeropuertos en Canarias se suelen ubicar en zonas que coinciden con las de alto aprovechamiento eólico, donde las velocidades de viento son altas. La orientación de las pistas de aterrizaje y despegue se sitúan en la dirección de viento predominante.



Figura 27: Servidumbres aeroportuarias para las Islas Canarias. Fuente: Elaboración propia.

## 2.12. Servidumbre portuaria

Una servidumbre portuaria es una limitación legal que se impone sobre los terrenos colindantes con el dominio público portuario para proteger el uso público y la conservación de la costa. Existen diferentes tipos de servidumbres según la naturaleza y la finalidad del acceso al mar, como la servidumbre de tránsito, la servidumbre de acceso al mar o la servidumbre de salvamento. Las servidumbres portuarias se regulan por la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas y sus normas de desarrollo. En la Figura 28 se encuentra la zonificación para los puertos de Canarias.

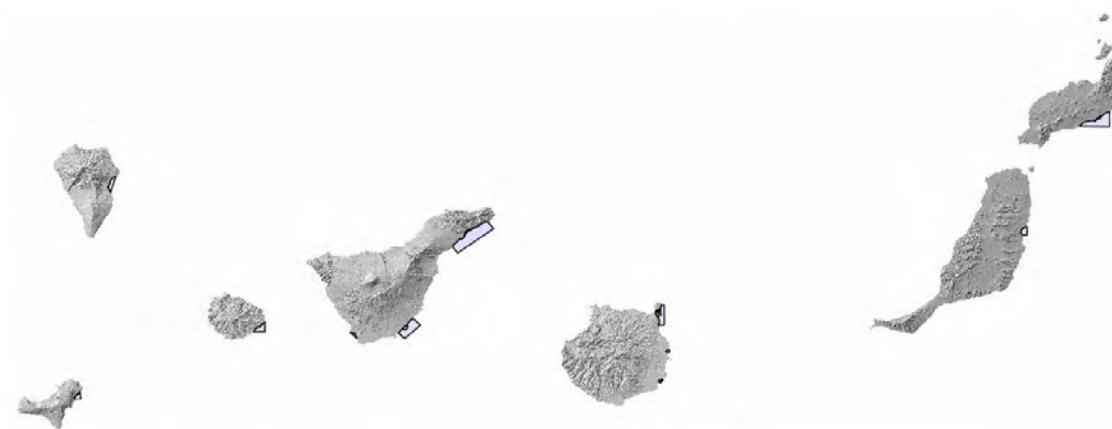


Figura 28: Servidumbre portuaria en las Islas Canarias. Fuente: Elaboración propia a partir de [10].

### 2.13. Tráfico marítimo

Debido a la insularidad de las islas, una de las vías de acceso para personas y mercancías es a través del mar. Las rutas marítimas que se siguen dentro de las aguas de Canarias son las líneas azules representadas en la Figura 29.

Aquellas embarcaciones que se encuentren de paso por las islas deben hacerlo por unas franjas establecidas (líneas rosas en la Figura 29). A estas rutas se le denomina Dispositivo de Separación de Tráfico (DST en adelante) y representan “autopistas” virtuales para los buques de tránsito. El objetivo es delimitar y controlar el tráfico de navíos. Para los barcos que cruzan de manera perpendicular el DST, se dispone de una zona específica en el centro para que se produzca el cruce.

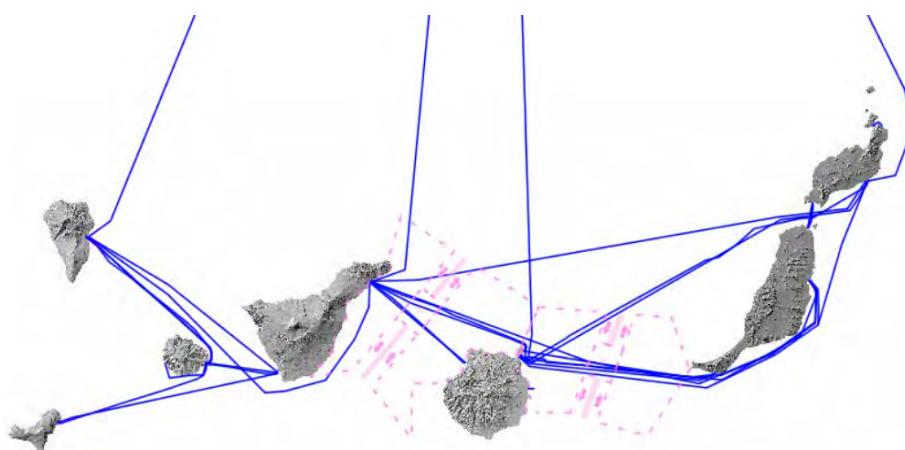


Figura 29: Rutas marítimas y DST en las Islas Canarias. Fuente: Elaboración propia a partir de [9].

Una imagen representativa del tránsito y densidad de navíos a través de las Islas Canarias es la que se encuentra en la Figura 30, donde se puede apreciar el DST, las rutas de recreo cercanas a la costa, la pesca en áreas destinadas a caladeros y las rutas comerciales. Los tonos que se tornan rojizos suelen coincidir con las zonas cercanas a puertos y en aquellas donde la actividad turística es elevada, como la costa de Mogán en la isla de Gran Canaria o en la Costa de Adeje en Tenerife.

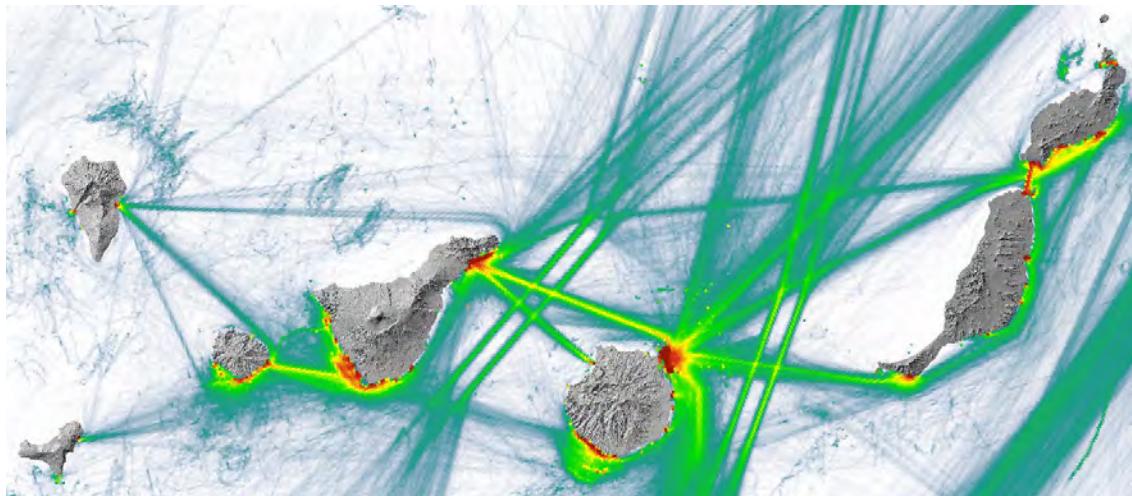


Figura 30: Densidad de tráfico marítimo en las Islas Canarias. Fuente: Elaboración propia a partir de [9].

Con el fin de preservar la biodiversidad del litoral canario se establecen un total de cinco zonas a evitar por embarcaciones de gran tamaño. En la Figura 31 se aprecian en rojo las áreas que deben evitarse los buques grandes, de tal manera que se elimina o mitiga el riesgo de contaminación por vertidos o que genere un deterioro en la biodiversidad de los ecosistemas de aves o de la fauna marina. Será de acceso para aquellos barcos de pequeño tamaño (embarcaciones de recreo o pesca) y buques de gran tamaño para abastecimiento y transporte entre las islas. Este marco regulatorio no dispone de plan de gestión y por lo tanto no tiene limitaciones en cuanto a la implementación de la eólica marina. Será relevante en el proceso de construcción del parque, donde grandes buques deban acceder a estas zonas con limitaciones de tránsito.

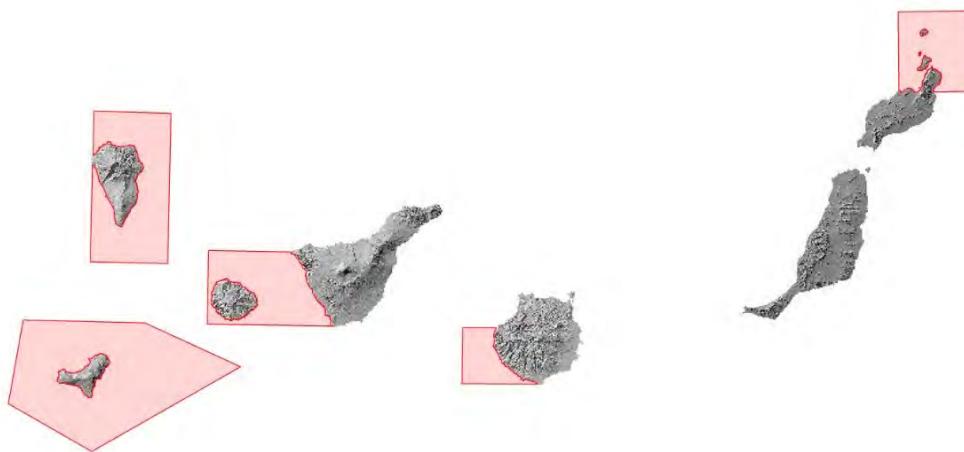


Figura 31: Zonas a evitar por embarcaciones en las Islas Canarias. Fuente Elaboración propia a partir de [9]

Conocer las rutas y las densidades de tránsito de los barcos es crucial a la hora de determinar el emplazamiento de aerogeneradores marinos. Un criterio general contempla una distancia mínima de seguridad de 500 metros entre un aerogenerador o parque eólico y un barco. Este

tipo de cuestiones se debe tener en cuenta previamente, estableciendo rutas de paso dentro de los parques eólicos mediante el balizamiento de estos y la elaboración de actuaciones frente a posibles colisiones entre aerogeneradores y barcos.

#### *2.14. Zonas de exclusión militar*

Al igual que la servidumbre portuaria o aeropuertas, existen zonas en Canarias de uso exclusivo para los militares. Son áreas delimitadas por el Ministerio de Defensa que se usan para proteger áreas sensibles o evitar ataques o vigilancia. En la Figura 32 se aprecia que las zonas de exclusión militares afectan a las islas capitalinas y a Fuerteventura, además de a una gran superficie al sur del archipiélago.

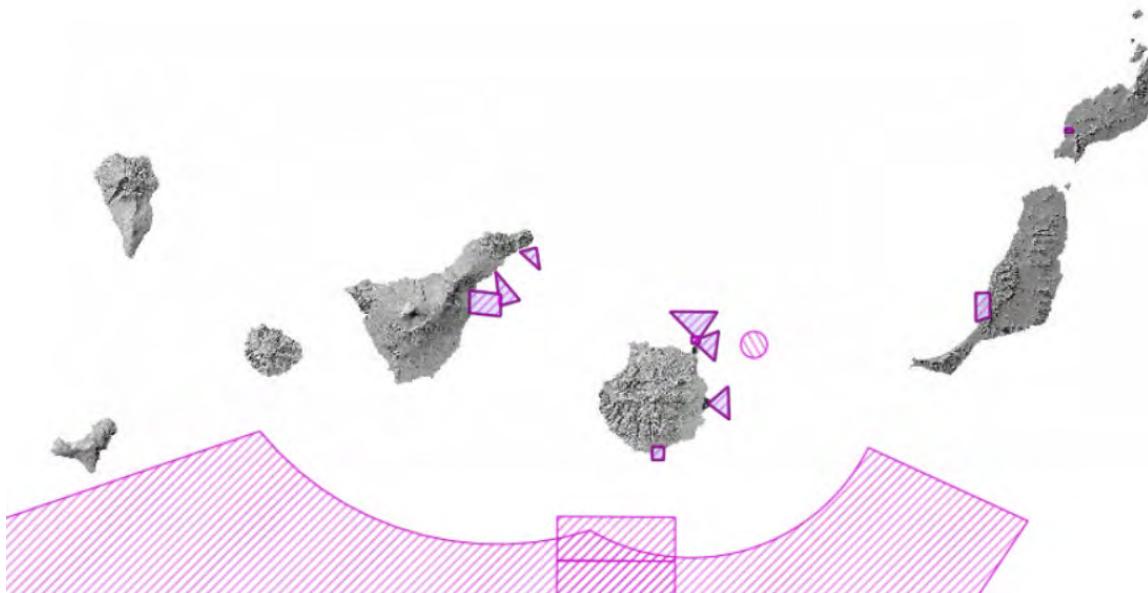


Figura 32: Áreas de exclusión militar en las Islas Canarias. Fuente: Elaboración propia a partir de [10].

#### *2.15. Emisarios submarinos*

Los emisarios submarinos son tuberías que llevan el agua residual tratada desde una estación depuradora hasta un punto lejos de la costa. Suelen ubicarse cerca de lugares con grandes densidades de población, de plantas desaladoras, depuradoras o de centrales eléctricas (véase Figura 33).

Es importante conocer la ubicación de los distintos emisarios para poder valorar posibles afecciones negativas sobre las cimentaciones y subestructuras de aerogeneradores, ya que un exceso de salmuera puede provocar acelerados procesos de corrosión, empeoramiento del lecho marino, entre otros. Además, la cercanía a emisarios submarinos puede determinar el tipo de anclaje al lecho marino.

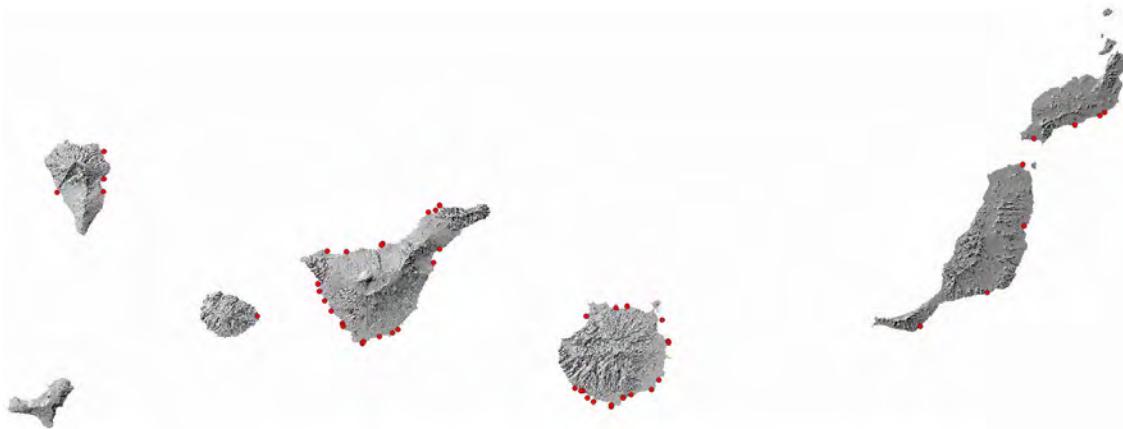


Figura 33: Emisarios submarinos en las Islas Canarias. Fuente: Elaboración propia a partir de [9].

### *2.16. Cables submarinos*

Al igual que en el caso anterior de los emisarios submarinos (véase el punto 2.15), conocer la ubicación exacta de los cables submarinos es necesario para que los sistemas de anclaje de los aerogeneradores no generen desperfectos sobre ellos, ya sea durante el proceso de construcción o en la vida útil de los mismos.

En la Figura 34 se encuentra una representación aproximada de la ubicación de los cables de telecomunicación y eléctricos a través de las Islas Canarias. Para conocer con exactitud el emplazamiento de estos se debe hacer un levantamiento batimétrico de la zona.

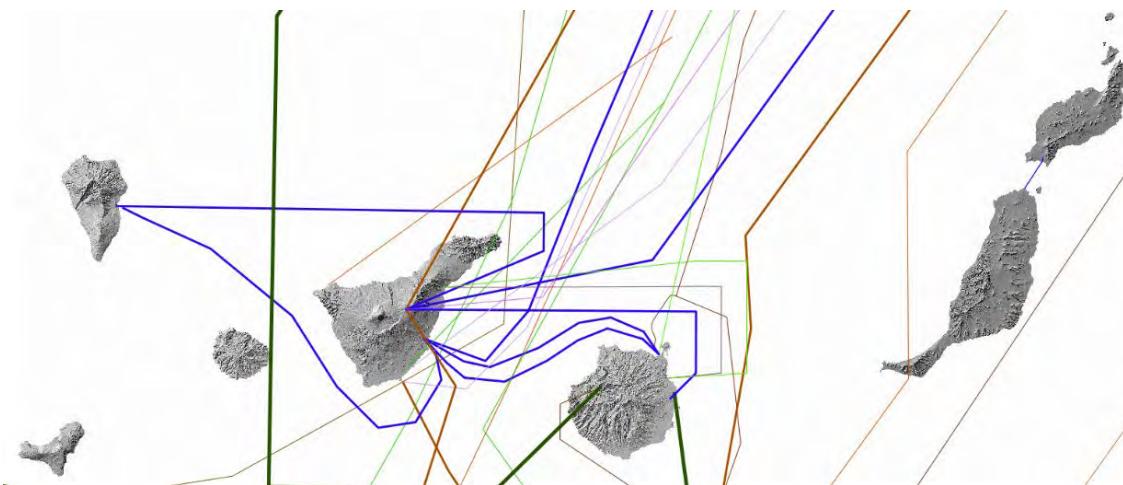


Figura 34: Cables submarinos en la demarcación canaria. Fuente: Elaboración propia a partir de [9].

## 2.17. Pesca y acuicultura

### 2.17.1. Pesca

La pesca en Canarias juega un papel fundamental en la sociedad, existiendo numerosas cofradías y zonas para la descarga de las capturas. El desarrollo de la eólica marina puede entrar en conflicto con este sector, impidiendo o dificultando las labores de recolección. Se deben encontrar sinergias y marcos regulatorios para que ambos sectores puedan coexistir sin generar disruptiones. Los POEM se proponen como principal elemento conciliador entre las actividades humanas y la explotación de los recursos naturales.

La pesca local en Canarias suele contenerse en una franja entre la línea de costa y 5-10 millas (9,26 y 18,52 km respectivamente) mar adentro. La pesca canaria se caracteriza por seguir empleando técnicas artesanales con embarcaciones de pequeño tamaño (menores a 15 metros de eslora). En la Figura 35 se detallan las zonas de desarrollo de las artes pesqueras en Canarias.



Figura 35: Zonas de pesca de distintas especies de peces en Canarias. Fuente: Elaboración propia a partir de [9].

En la Figura 36 se encuentran las áreas de pesca en las islas. El color verde representa la pesca con palangre y los distintos caladeros existentes en el litoral. El color violeta representa la reserva de pesca de Canarias.

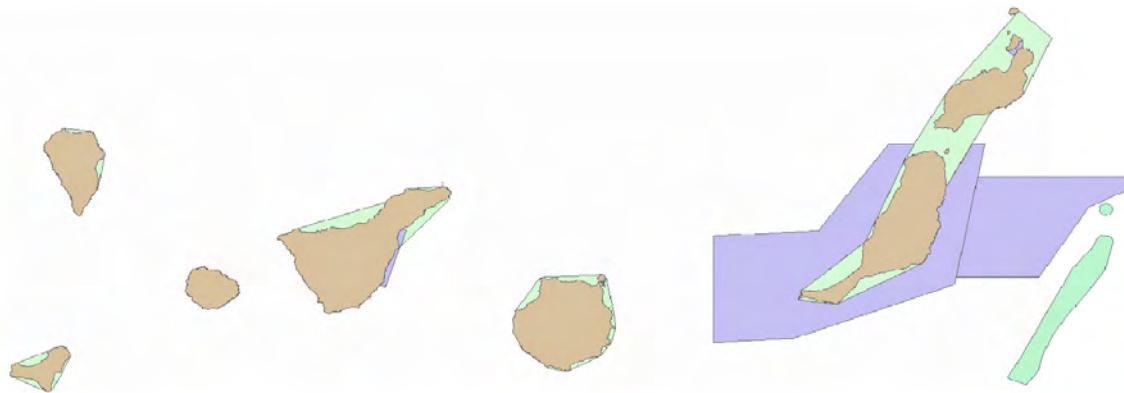


Figura 36: Zonas de pesca en el litoral canario. Fuente: Elaboración propia.

### 2.17.2. Acuicultura

La acuicultura en Canarias empezó en los años 80 y supone un tejido industrial de gran relevancia socioeconómica en las islas. Las piscifactorías actuales se encuentran a escasos kilómetros de la costa debido a las grandes alturas batimétricas y a la necesidad de conexión eléctrica con tierra.

Las previsiones de desarrollo le confieren gran potencial a esta industria [24]. La implementación de piscifactorías a mayores distancias de la costa se encuentra actualmente como uno de los objetivos a promover por parte de organismos públicos. En la Figura 37 se encuentran las previsiones para el desarrollo de la acuicultura en las Islas Canarias. La eólica marina juega un papel fundamental, ya que la electrificación de estas instalaciones las puede ofrecer los parques eólicos marinos instalados en las cercanías a estas piscifactorías.

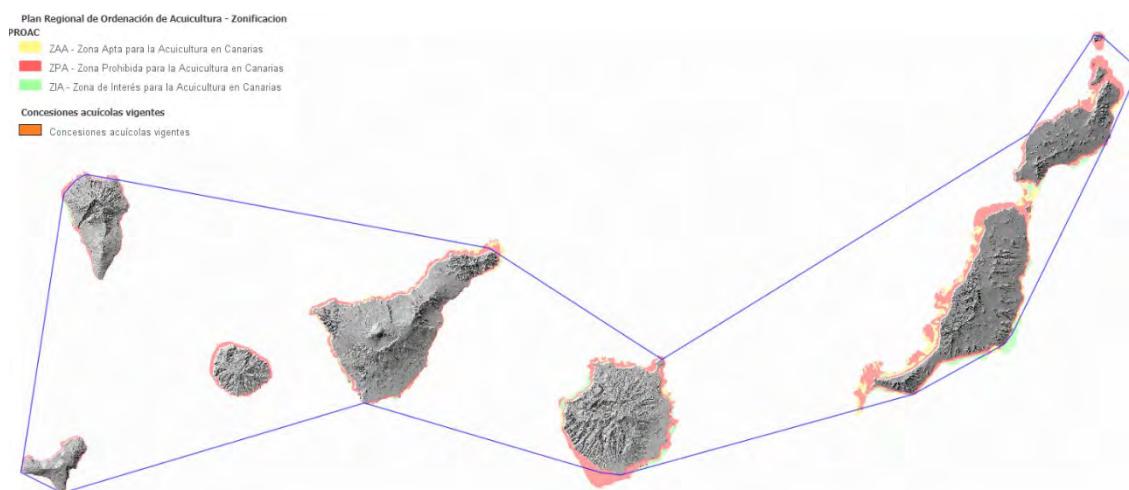


Figura 37: Reservas acuícolas para las Islas Canarias. Fuente: Elaboración propia a partir de [9].

## **2.18. Turismo y actividades recreativas**

Las últimas consideraciones a tener en cuenta son las relativas a las actividades de recreo y turismo en las islas. Aquellas principales actividades que pueden verse afectadas e influenciadas por el desarrollo de la eólica marina son:

- Surf
- Windsurf
- Kitesurf
- Submarinismo
- Motonáutica
- Piragüismo
- Natación
- Vela
- Triatlón
- Salvamento y socorro
- Pesca deportiva
- Esquí náutico

Canarias tiene una riqueza paisajística, con un patrimonio costero y submarino muy rico. Son muchos los turistas que vienen a disfrutar a las islas de sus paisajes y de los deportes anteriormente citados. El turismo es la actividad económica más importante de todas las islas, suponiendo una parte muy importante del PIB.

El desarrollo de parques eólicos off-shore debe ir de la mano con los estudios socio-económicos de las posibles interferencias que se originen sobre el turismo en Canarias. La elaboración de informes sobre los impactos originados en las actividades desarrolladas por el sector turístico, así como las soluciones o respuestas para mitigar o eliminar esas posibles interferencias son cuestiones básicas por plantear por parte de los promotores.

## **Estudio del emplazamiento en cada isla**

### **3. Definición de la aptitud de zonas para el desarrollo de la eólica marina en las Islas Canarias.**

Las áreas aptas o condicionadas que han sido seleccionadas para la implementación de aerogeneradores marinos en cada isla se escogen por la idoneidad para la explotación del recurso eólico, teniendo en cuenta las limitaciones técnicas y administrativas descritas en los puntos 1 y 2 del presente documento.

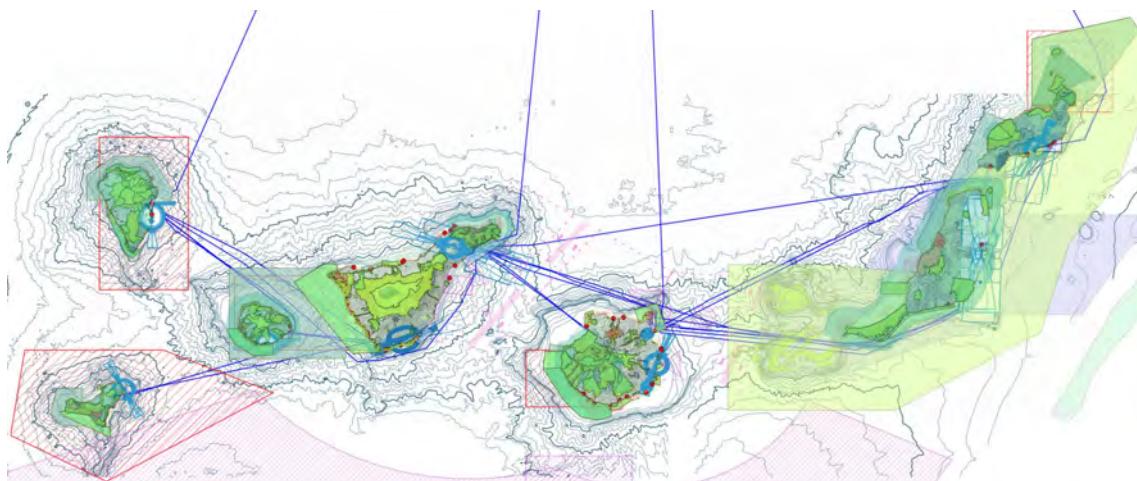


Figura 38: Visualización de la gran parte de las capas que se han tenido en cuenta para el estudio. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 38 se encuentran algunas de las capas con las limitaciones, restricciones técnico-administrativas y/o aspectos a tener en cuenta para el estudio de las áreas aptas o condicionadas para el desarrollo de la eólica off-shore en Canarias.

Las consideraciones iniciales para realizar el primer tanteo de opciones son las siguientes:

- Batimetrías de hasta 100 m desde el litoral para la eólica cimentada al lecho marino.
- Batimetrías entre 100 y 300 m, y entre 300 y 1000 para la eólica flotante.
- Distancia mínima de 8 y 5 km respecto del litoral.
- Recurso eólico como mínimo de 5,5 m/s a 80 m de altura.
- Proximidad a subestaciones eléctricas.

Actualmente la profundidad a la que se instalan los parques eólicos cimentados al lecho marino varía entre los 60 m [29] y los 75 m [30]. La tendencia es a aumentar este límite hasta los 90 m, encontrándose empresas en la actualidad que ofertan subestructuras capaces de llegar a esas profundidades para turbinas de hasta 20 MW [4].

El límite inferior de batimetría para la eólica off-shore flotante se ha seleccionado según las tendencias actuales de los parques eólicos instalados, en fase de construcción o de proyecto. En la Tabla 7 se encuentra un resumen de los países y las profundidades medias.

Tabla 7: Distribución por países de los parques eólicos marinos flotantes instalados o en fase de construcción y las profundidades medias. Fuente: Adaptada de [31].

País	Profundidad (m)	Año
China	35	2021
China	50	2022
China	35	2022
Noruega	200	2009
Noruega	260 ~ 300	2022
Portugal	100	2020
Portugal	40 ~ 50	2012
Reino Unido	95 ~ 120	2017
Reino Unido	62	2018
Reino Unido	60 ~ 80	2021
Francia	33	2018
Francia	70 ~ 100	2023
Francia	59 ~ 90	2023
Francia	90	2023
Francia	60	2023
Japón	120	2013
Japón	32	2015
Japón	48	2016
Japón	55	2018
Japón	95	2022
Estados Unidos	700 ~ 900	2026
Corea	150	2024
Corea	250	2025

La tendencia vista para proyectos en explotación o en fase construcción/proyecto es que el límite real actual se encuentra sobre los 300 m de profundidad máxima para subestructuras flotantes, sin contabilizar el de Estados Unidos de la Tabla 7. Otros autores proponen el límite técnico para los sistemas actuales sobre los 1000 m de batimetría [32]. En el caso del presente estudio, se discretizan dos zonas, una entre 100-300 m y otra de 300-1000 m.

El siguiente paso es determinar, de las consideraciones iniciales, si las limitaciones administrativas o legales suponen la prohibición del desarrollo de la eólica marina en el litoral canario. Aquellas limitaciones que suponen el descarte de las zonas de interés son:

- ZEPA, IBA, ENP, AMP y RM que se encuentren en la demarcación marina.
- ZEC-LIC que se encuentre dentro de HIC, específicamente:
  - o HIC -1110: Bancos de arena cubiertos permanentemente por agua marina poco profunda.
  - o HIC-1170: Arrecifes.
  - o HIC-1180: Estructuras submarinas causadas por emisiones de gases.
  - o HIC-8330: Cuevas marinas sumergidas o semisumergidas.
- Servidumbres portuarias y cercanías a puertos para no dificultar labores de maniobrabilidad de barcos.
- Servidumbres aeroportuarias respetando los conos de aproximación, despegues y maniobrabilidad.
- Zonas de exclusión para ejercicios de defensa y servidumbres militares.

- Concesiones acuícolas vigentes.

Se proponen zonas en las que, a pesar de no tener ningún agente o marco normativo o regulatorio que prohíba el desarrollo de la eólica marina, se consideraran áreas condicionadas:

- LIC que no tengan ninguna HIC en la demarcación marina.
- Solapes con servidumbres aeroportuarias pero que se encuentran fuera del cono de maniobras.
- Solape con zonas orientadas a futuras concesiones para acuicultura.
- Zonas reservadas para actividades de pesca.
- Áreas marinas dentro de la demarcación RB.
- Solape con zonas de alta densidad de tráfico marino.
- Zonas cercanas a emisarios y cables submarinos.
- Consideraciones de actividades humanas recreativas o destinadas al turismo.

### **3.1. La Graciosa**

#### **3.1.1. Restricciones ambientales en La Graciosa**

La Graciosa se encuentra fuertemente protegida en términos de amparos ambientales, siendo la reserva marina más grande de la Unión Europea. Prácticamente todas las clases de protección marina, exceptuando la RM, se encuentran en el Archipiélago Chinijo (véase la Figura 39).

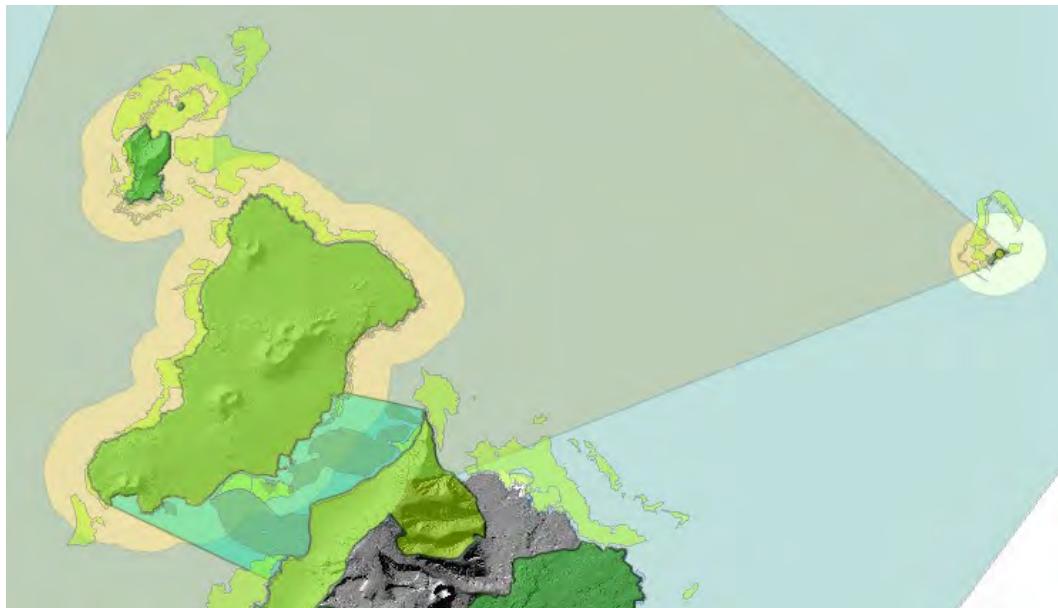


Figura 39: Limitaciones ambientales del archipiélago Chinijo. Fuente: Elaboración propia.

#### **3.1.2. Limitaciones técnicas en La Graciosa**

El recurso eólico en La Graciosa tiene una media de 6,5 m/s de velocidad de viento a 80 m en prácticamente todo su territorio cercano a la costa (tonos verdosos en la Figura 40),

aumentando hasta los 7 m/s a medida que se aleja del litoral de la isla (tonos violetas en la Figura 40). Debido al bajo recurso eólico, el desarrollo de la eólica marina no sería ventajoso para la isla de La Graciosa.

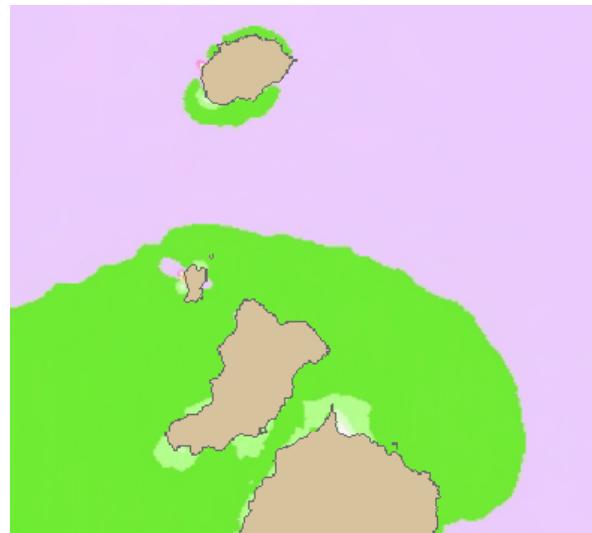


Figura 40: Recurso eólico a 80 m de altura en la isla de La Graciosa. Fuente: Elaboración propia a partir de [9].

La conexión de mercancías y personas entre La Graciosa y Lanzarote se realiza por vía marítima entre los puertos de Caleta de Sebo y Órzola. La densidad de tráfico marítimo entre estos dos puntos es elevada (véase la Figura 41). En la isla no existe ninguna limitación de servidumbre en sus puertos.

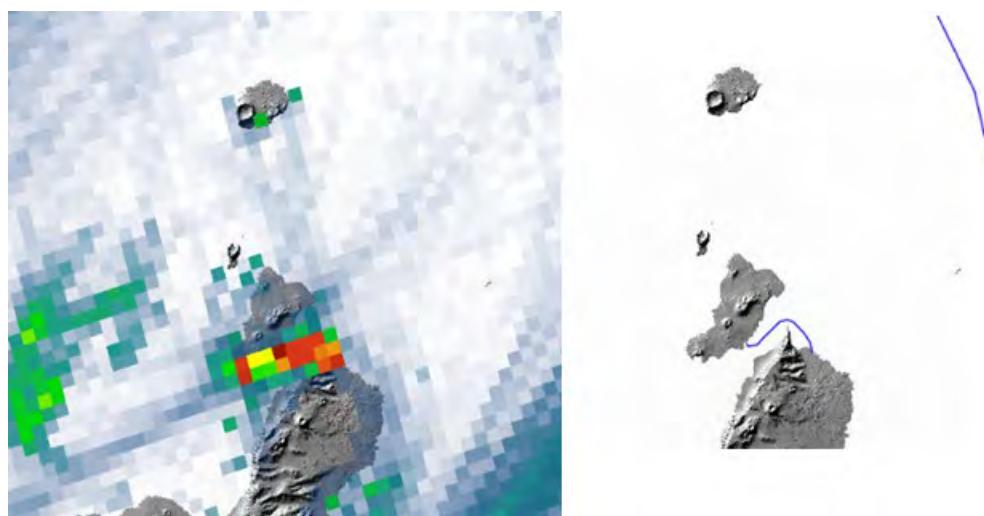


Figura 41: Densidad de tráfico (i) y rutas marítimas (d) en el Archipiélago Chinijo. Fuente: Elaboración propia a partir de [9].

El enclave endémico que supone La Graciosa para las aves ha hecho que la isla sea protegida para preservar la biodiversidad del lugar y no afecte de manera negativa a la vida y

reproducción de las aves. Es por ello por lo que La Graciosa se encuentra dentro del área de exclusión para grandes embarcaciones (véase la Figura 42).

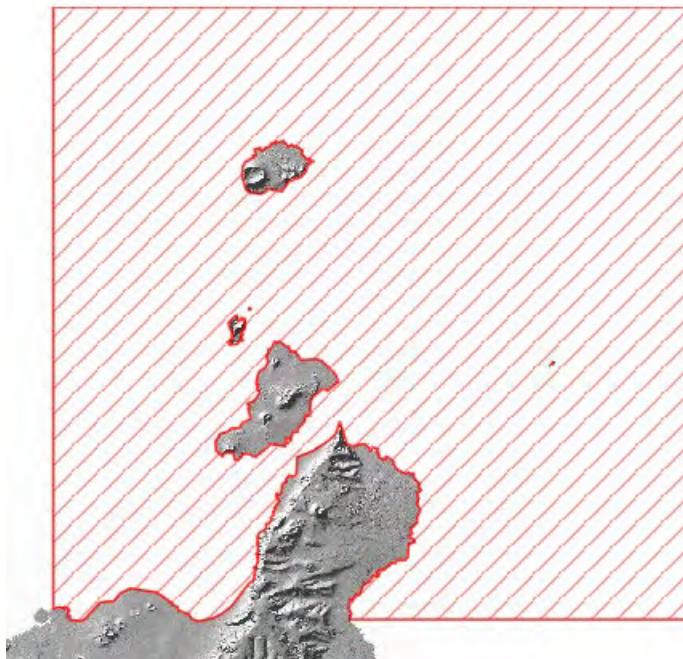


Figura 42: Área de exclusión de grandes barcos del archipiélago Chinijo y norte de Lanzarote. Fuente: Elaboración propia.

La Graciosa se encuentra interconectada eléctricamente con Lanzarote mediante un cable eléctrico de 66 kV [18], entre la estación transformadora de Graciosa y Salinas del Río (véase la Figura 43). Esta conexión eléctrica permite que la insularidad de la isla no se vea agravada en el aspecto eléctrico.

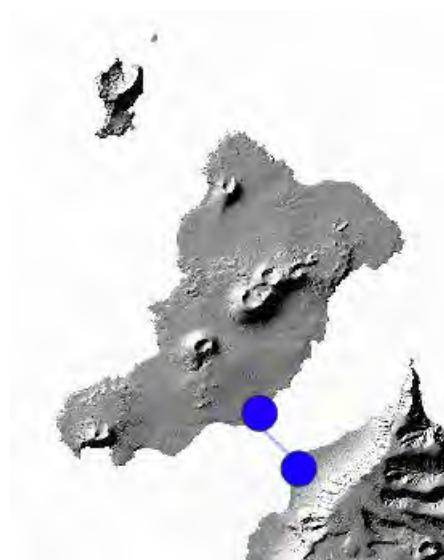


Figura 43: Subestaciones eléctricas (círculos azules) existentes en la isla de La Graciosa. Fuente: Elaboración propia.

La Graciosa es uno de los enclaves turísticos y paisajístico más importantes de las Islas Canarias. El desarrollo socioeconómico de isla se fundamenta actualmente en el turismo, aunque la pesca ha sido el motor económico en la antigüedad. En la Figura 44 se superponen las capas de batimetría y la línea de 8 km desde la costa de La Graciosa.

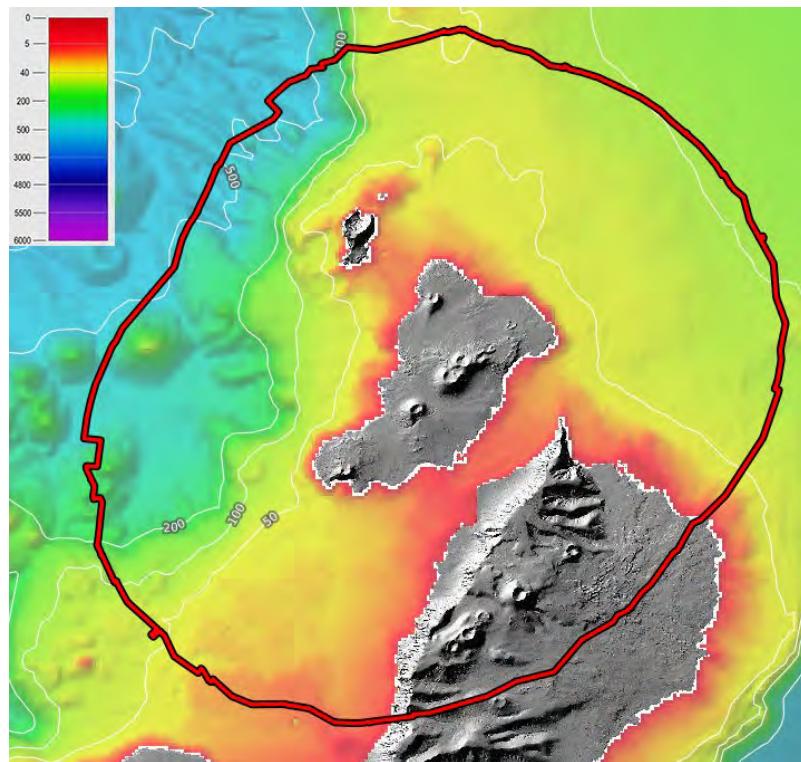


Figura 44: Límite de los 8 km a partir del litoral y la batimetría en forma de gradiente de color y líneas de La Graciosa. Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.3. Conclusiones para La Graciosa

#### 3.1.3.1. Eólica cimentada al lecho marino en La Graciosa

Debido a las restricciones ambientales y al impacto visual no se proponen áreas para el desarrollo de la eólica marina con cimentaciones fijas en el litoral de la isla de La Graciosa.

#### 3.1.3.2. Eólica flotante en La Graciosa

Debido a las limitaciones ambientales presentes no se proponen áreas para el desarrollo de la eólica marina flotante en el litoral de la isla de La Graciosa.

### 3.2. Lanzarote

#### 3.2.1. Restricciones ambientales en Lanzarote

Los espacios protegidos en Lanzarote se centran en el norte y en la vertiente suroeste de la isla (véase la Figura 45). De los litorales con mayor potencial para la eólica off-shore se encuentran los de la zona sur y sureste de la isla, exceptuando las zonas de Puerto del Carmen

y Arrecife. Cabe mencionar que estas superficies libres de restricciones ambientales se hallan dentro de la demarcación LIC. En el caso que se apruebe por parte de la CE y se pase a áreas ZEC o ZEPA, el desarrollo de la eólica marina en estas superficies se vería frustrada.

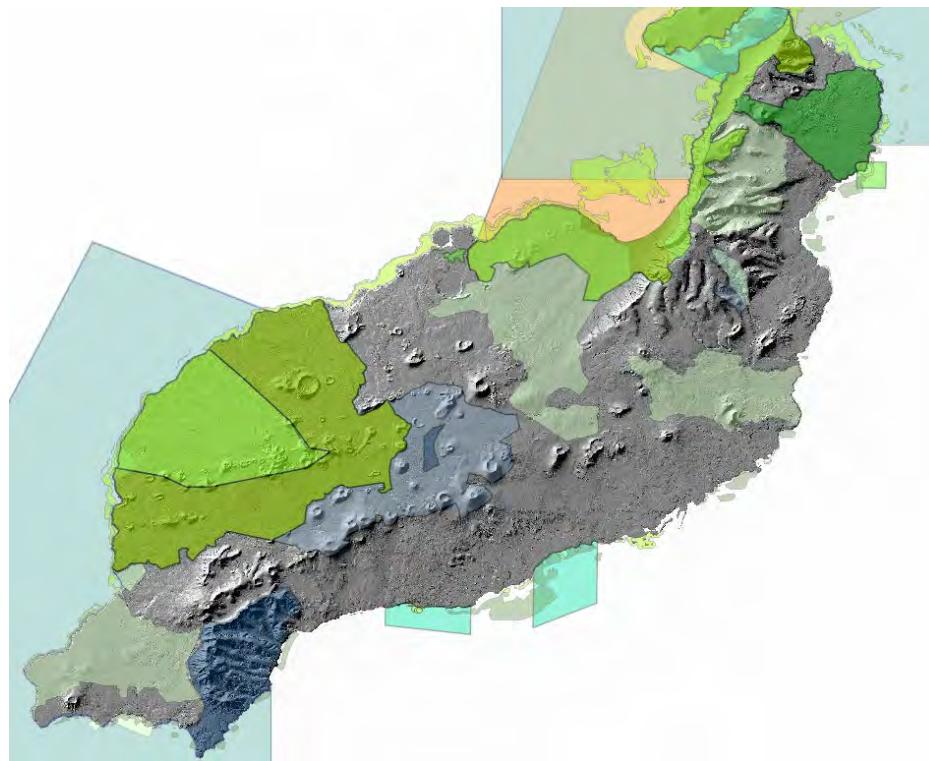


Figura 45: Espacios protegidos con prohibiciones en Lanzarote. Fuente: Elaboración propia.

### *3.2.2. Limitaciones técnicas en Lanzarote*

En la zona norte se encuentra una franja libre de restricciones ambientales, frente a localidad de La Santa en el municipio de Tinajo. Atendiendo al aprovechamiento eólico, esta zona de la isla no resulta ventajosa ya que la velocidad media del viento ronda entre los 5,5 y 6,5 m/s a 80 m de altura (véase la Figura 46, donde el gradiente de color verde refleja estos valores).

En la Figura 46 se puede apreciar que la zona sureste de la isla dispone de una velocidad de viento entre 7 y 8,5 m/s a 80 m de altura (gradiente de color malva a marrón), apta para los requisitos previos para seleccionar ubicaciones para el desarrollo de la eólica marina. El problema de esta zona es la considerable pendiente batimétrica.

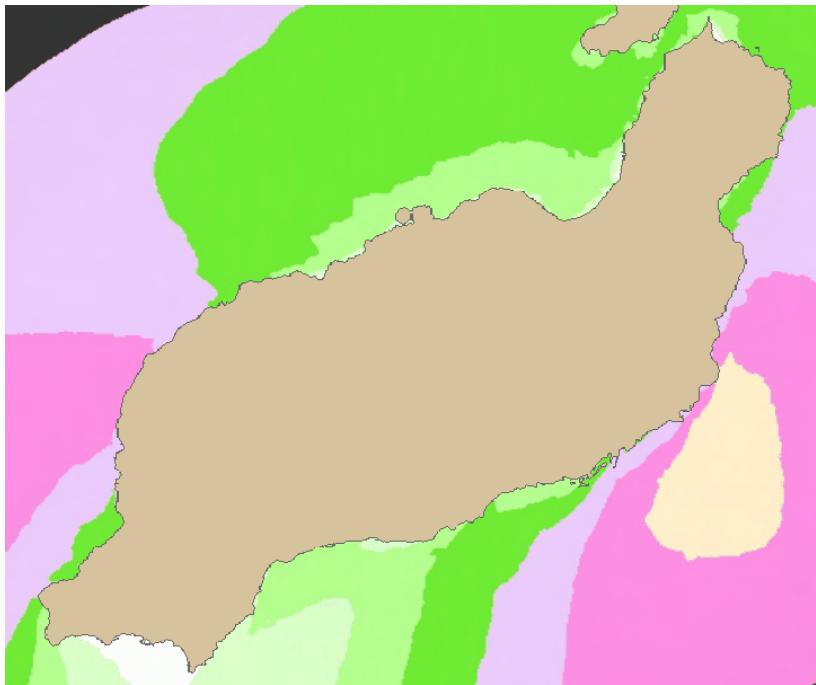


Figura 46: Recurso eólico de la isla de Lanzarote. Fuente: Elaboración propia.

Otro de los puntos limitantes en esta zona sureste de la isla son las servidumbres aeroportuarias y portuarias. El aeropuerto de Lanzarote se encuentra cerca del puerto de la capital, Arrecife, llegando incluso a solaparse ambas servidumbres.

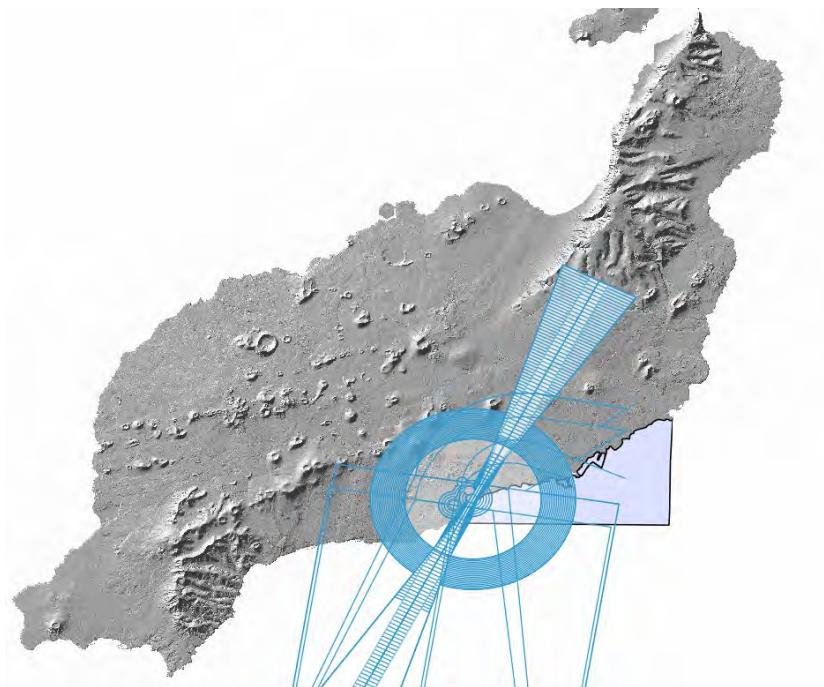


Figura 47: Servidumbres aeroportuarias y portuarias de Lanzarote. Fuente: Elaboración propia.

Además, cabe destacar que esta zona se encuentra altamente transitada ya que el puerto más importante de la isla es el de Arrecife. En la Figura 48 se aprecia que la costa este es en la que se halla una mayor densidad de tráfico de barcos, coincidiendo con las rutas entre los puertos de Lanzarote, las conexiones con las otras islas y las actividades de recreo pertenecientes principalmente a actividades turísticas.

Al igual que pasa en La Graciosa, en el norte de la isla existe una zona de exclusión donde se limita el tránsito de buques de gran tamaño (rallado rojo de la Figura 48).

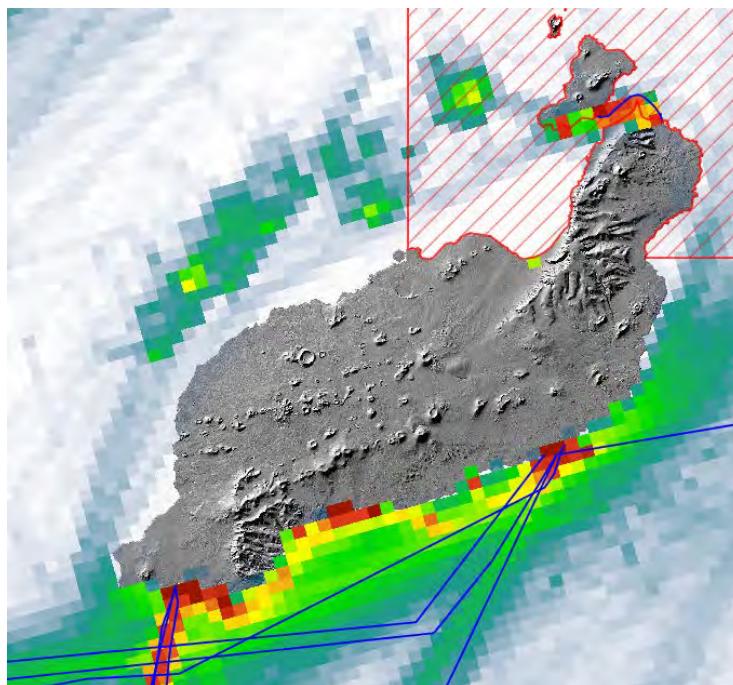


Figura 48: Densidad de tráfico marítimo, rutas marítimas y zona de exclusión de grandes buques. Fuente: Elaboración propia.

Lanzarote se encuentra interconectada eléctricamente con La Graciosa y Fuerteventura. Esto les confiere a las tres islas una ventaja para el desarrollo de sistemas de generación y almacenamiento de energía de manera conjunta. En la Figura 49 se representan los cables (líneas azules y rojas) y emisarios submarinos (círculos en rojo) y las subestaciones eléctricas (círculos en azul). Tanto la mayoría de los emisarios como de las subestaciones en tierra se encuentran en la costa este de la isla, coincidiendo con las zonas de mayor densidad de población. Los cables submarinos no se verían afectados debido a la lejanía de estos en relación a la costa.

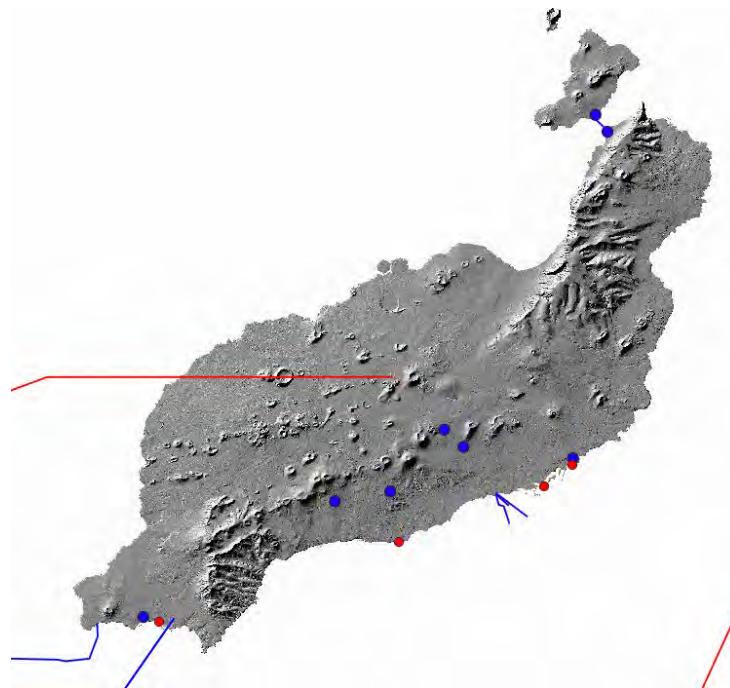


Figura 49: Subestaciones, emisarios y cables submarinos en la isla de Lanzarote. Fuente: elaboración propia.

Al igual que la isla de La Graciosa, Lanzarote es un enclave turístico, siendo este uno de los sectores económicos más importantes de la isla. La ubicación de aerogeneradores a más de 8 km de distancia desde la costa es uno de los puntos clave para mitigar el impacto visual y las posibles repercusiones negativas que esto acarrearía sobre el turismo. En la Figura 50 se superponen las capas de batimetría y la línea de 8 km desde la costa de Lanzarote.

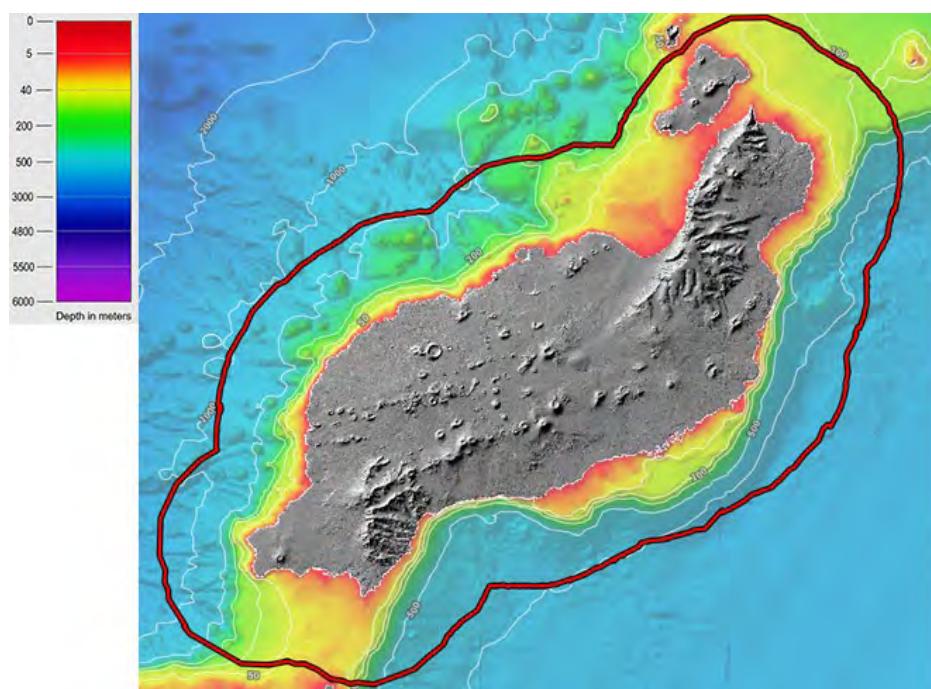


Figura 50: Límite de los 8 km a partir del litoral y la batimetría de Lanzarote. Fuente: Elaboración propia.

Los tonos amarillo-verdosos de la Figura 50 representarían las zonas aptas para el desarrollo de la eólica cimentada al lecho marino, en cuanto a limitación por batimetría se refiere.

Teniendo en cuenta la línea de 8 km y la batimetría, quedaría apta la zona del sur de Lanzarote pero, debido a la cercanía con Fuerteventura y el solape de ambas líneas de 8 km, estas zonas quedan excluidas (véase la Figura 51).

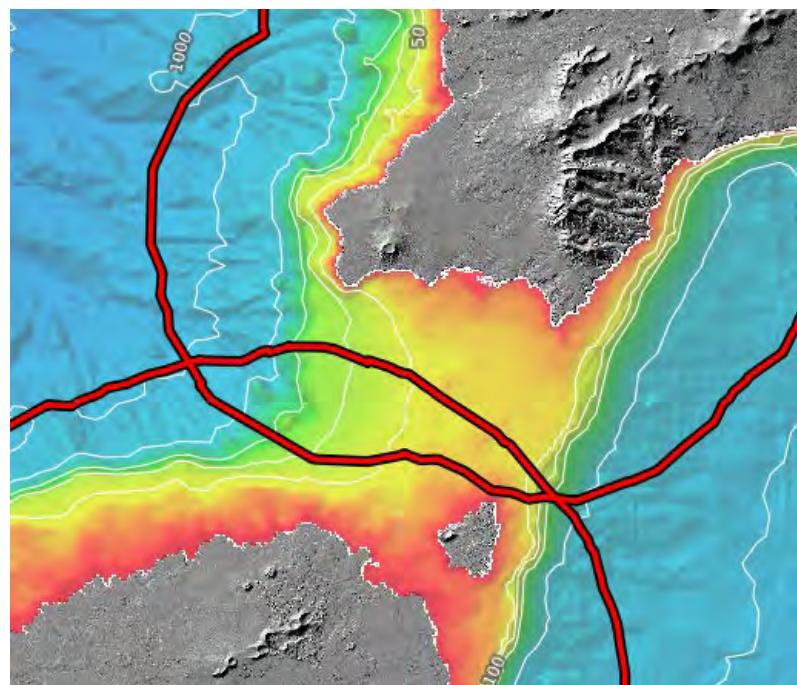


Figura 51: Solape de las líneas de 8 km entre Fuerteventura y Lanzarote. Fuente: Elaboración propia.

### *3.2.3. Conclusiones para Lanzarote*

#### *3.2.3.1. Eólica cimentada al lecho marino en Lanzarote*

Debido a las restricciones ambientales y a la excesiva batimetría del litoral tras la línea de 8 km no se proponen áreas para el desarrollo de la eólica marina con cimentaciones fijas en el litoral de la isla de Lanzarote.

#### *3.2.3.2. Eólica flotante en Lanzarote*

La eólica flotante tiene en el norte de la isla de Lanzarote potencial para su desarrollo. Se distinguen dos zonas diferenciadas según la batimetría del lugar.

- LZ.FL.1: Frente a las costas norte del término municipal de Teguise. El límite de batimetría varía entre 100 y 300 m de profundidad. Representa el área azul de la Figura 52.

- LZ.FL.2: Frente a las costas norte de los municipios de Teguise y Tinajo. El límite de batimetría varía entre 300 y 1000 m de profundidad. Representa el área verde de la Figura 52.

Como se puede apreciar, la eólica flotante con límite a 1000 m es predominante, representando un 96,43 % de la superficie total. Como se comentó en el punto 1.1 del presente documento, las pendientes batimétricas de las islas orientales no son tan elevadas, en comparación con las occidentales, debido a una mayor edad geológica. Esto les confiere una ventaja ya que existen mayores extensiones de mar donde situar parques eólicos, en este caso flotantes.

Tabla 8: Zonas propuestas para el desarrollo de la eólica marina flotante y las principales características del entorno en la isla de Lanzarote.

ZONA	RANGO DE BATIMETRÍA (m)	SUPERFICIE (km <sup>2</sup> )	DISTANCIA A LA COSTA (km)	DISTANCIA A SUBESTACIÓN (km)	VELOCIDAD MEDIA DE VIENTO A 80 m (m/s).
LZ.FL.1	100-300	6,67	8	11,80	6,50-7,00
LZ.FL.2	300-1000	180	8	17,00	6,5-7,5

En la Tabla 8 se muestran las principales características del emplazamiento para las dos zonas propuestas. Debido a la alta influencia del sector turístico y para minimizar impactos visuales, la distancia mínima respecto de la costa de las zonas propuestas es de 8 km.

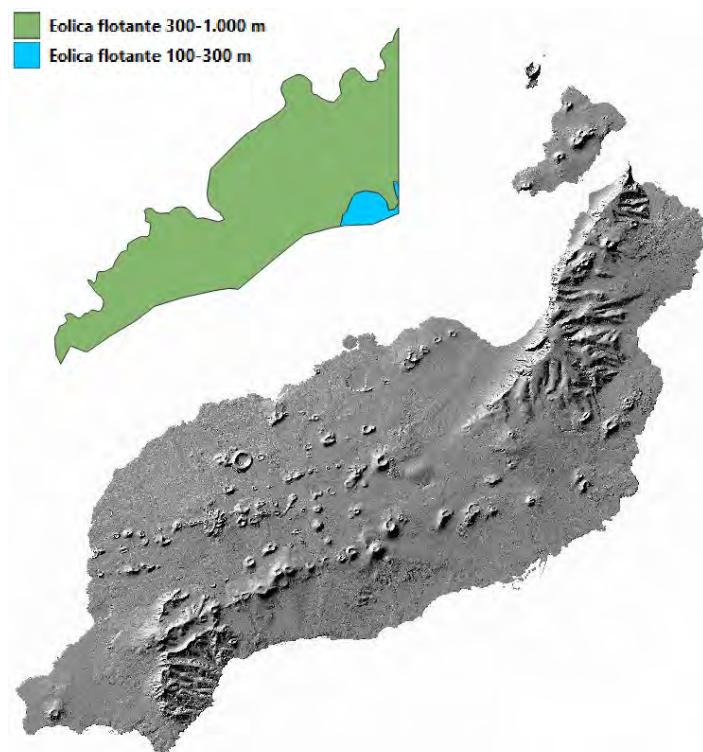


Figura 52: Zonas propuestas para el desarrollo de la eólica off-shore flotante en Lanzarote. Fuente: Elaboración propia.

Ambas áreas no se encuentran libres de condicionantes. En la Tabla 9 se detallan las afecciones a zonas de protección, administrativas o de actividades humanas.

Tabla 9: Principales condicionantes para las zonas propuestas para el desarrollo de la eólica marina flotante en la isla de Lanzarote.

ZONA	CONDICIONANTES
LZ.FL.1	<ul style="list-style-type: none"><li>· Caladero de pesca</li><li>· Zona a evitar por grandes embarcaciones</li><li>· Colinda con espacios de la RN 2000</li></ul>
LZ.FL.2	<ul style="list-style-type: none"><li>· Caladero de pesca</li><li>· Zona a evitar por grandes embarcaciones</li><li>· Colinda con espacios de la RN 2000</li></ul>

Los tipos de terrenos existentes en las zonas propuestas tienden a ser rocosos en su mayoría. Las zonas azules cuentan con una gran parte de sedimentos gruesos (tonos rojizos en la Figura 53). Para la mayor parte de las áreas verdes se dispone de suelos rocosos (tonos verdosos en la Figura 53), tendiendo a arenosos en algunas franjas (tonos amarillos de la Figura 53)

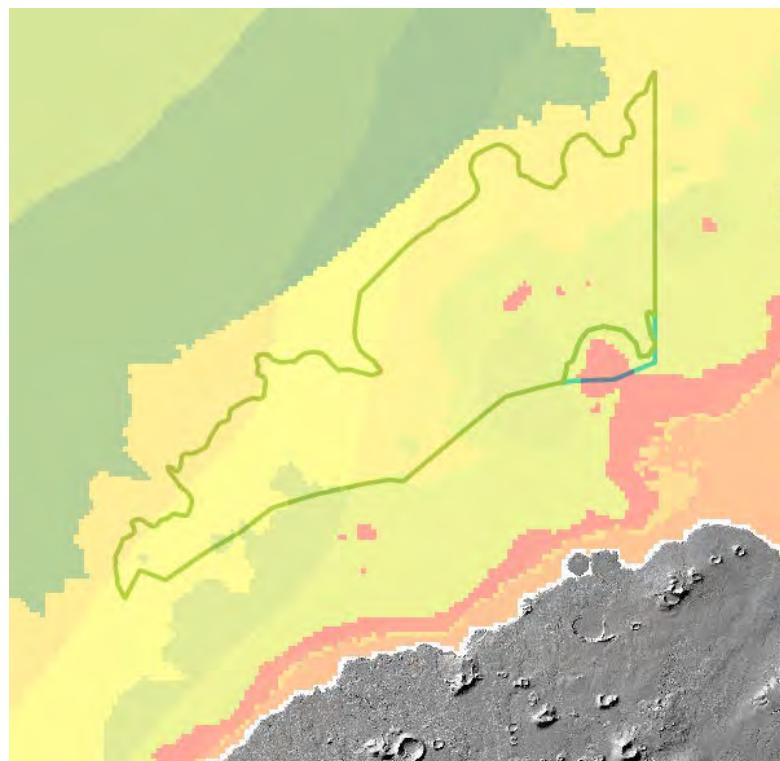


Figura 53: Caracterización del suelo de las zonas propuestas para el desarrollo de la eólica off-shore flotante en Lanzarote. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, cabe mencionar que el desarrollo de la eólica marina flotante en Lanzarote debería ir acompañado de una mejora en infraestructuras eléctricas, sobre todo en las localidades de la costa oeste.

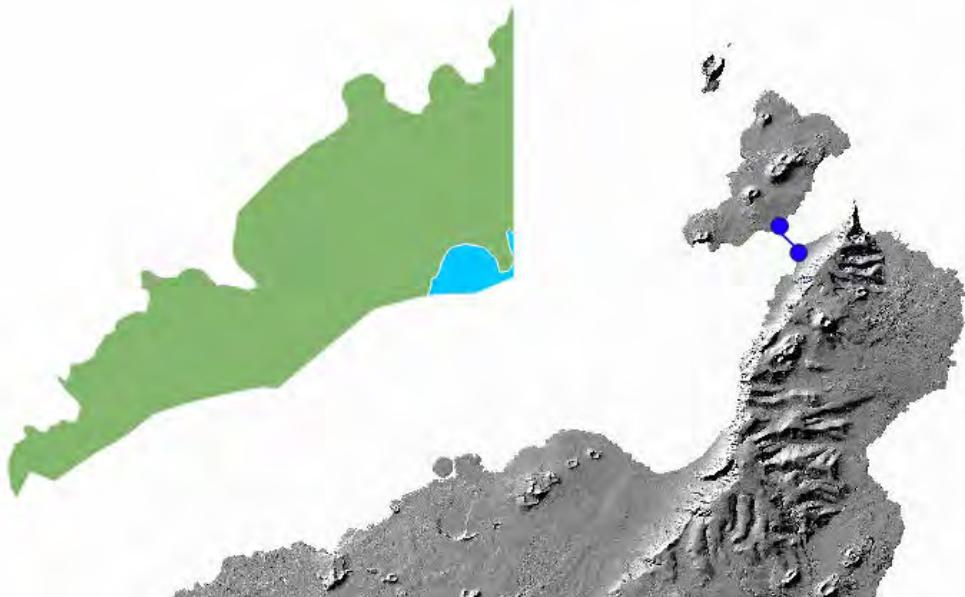


Figura 54: Zonas propuestas para el desarrollo de la eólica marina flotante off-shore y las subestaciones (círculos azules) en la isla de Lanzarote. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 54 se puede apreciar que la subestación más cercana se encuentra en la isla de La Graciosa (a 12 km aproximadamente). Esta debilidad, sumadas a las de las líneas de alta tensión, pueden suponer un problema para evacuar la energía y su vertido a la red.

### **3.3. Fuerteventura**

#### *3.3.1. Restricciones ambientales en Fuerteventura*

El norte y sur de la isla de Fuerteventura es un enclave endémico para aves y peces de distintas especies. Por este motivo se encuentra fuertemente protegido ambientalmente (véase la Figura 55). Además, la Isla de Lobos es un paraje natural protegido, tanto por la RN 2000 como por la red de PN.

Las zonas aptas para el desarrollo de la eólica marina se limitan a la punta de Jandía, prácticamente la totalidad de la costa este y parcialmente la costa oeste. Estas zonas “libres” de restricciones ambientales se enmarcan en las zonas LIC y dentro de la RB (véase la Figura 56). Dentro las restricciones LIC se encuentran los HIC del Banquete de Fuerteventura, casi todo el litoral mayorero cercano a su línea de costa y frente a la Punta de Jandía. Como ya se comentó previamente, las zonas HIC dentro de las LIC se toman como zonas excluyentes, no así las áreas LIC o RB por si solas, ya que no son condición de prohibición para el desarrollo de la eólica off-shore.



Figura 55: Espacios protegidos con prohibiciones en la isla de Fuerteventura. Fuente: Elaboración propia.

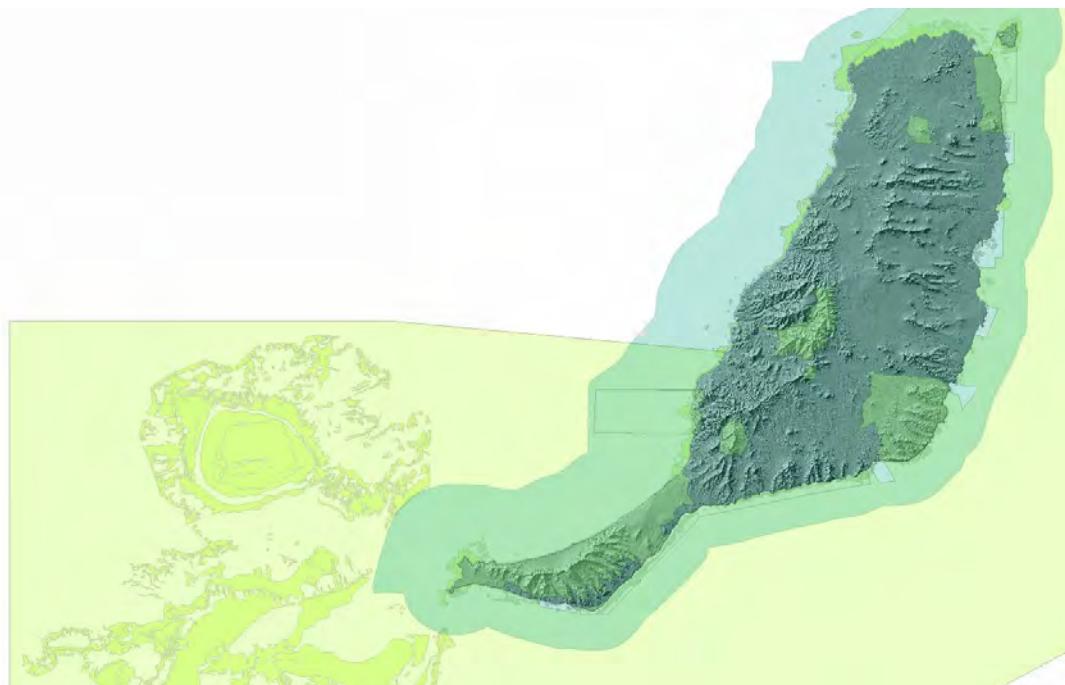


Figura 56: Espacios LIC (amarillo), HIC (verde) y RB (azul) de la isla de Fuerteventura. Fuente: Elaboración propia.

### *3.3.2. Limitaciones técnicas en Fuerteventura*

De las zonas previamente propuestas sin limitaciones ambientales se pueden obtener recursos eólicos de calidad, superiores a los 7 m/s a 80 m de altura, exceptuando la costa sur, en el término municipal de Tuineje donde la calidad es muy baja encontrándose fuera de los rangos aceptables.

Las áreas preseleccionadas se encuentran dentro de las servidumbres aeroportuarias y portuarias (ver la Figura 57). Es por ello por lo que prácticamente la costa este queda descartada.



Figura 57: Recurso eólico a 80 m y servidumbres aeroportuarias y portuarias en la isla de Fuerteventura. Fuente: Elaboración propia.

Fuerteventura se encuentran en las proximidades del DST, específicamente la costa oeste en las cercanías al Banquete (véase las líneas discontinuas rosa de la Figura 58). La densidad de tráfico de dicha zona es elevada, al igual que las zonas próximas al puerto de Morro Jable y de Puerto del Rosario (véase la Figura 58).

Las costas oeste de la isla mayorera se encuentran bajas o nulas densidades de tráfico marítimo, quedando muy patente en la Figura 58. Esto se debe al poco desarrollo turístico de la zona y a una baja densidad demográfica.

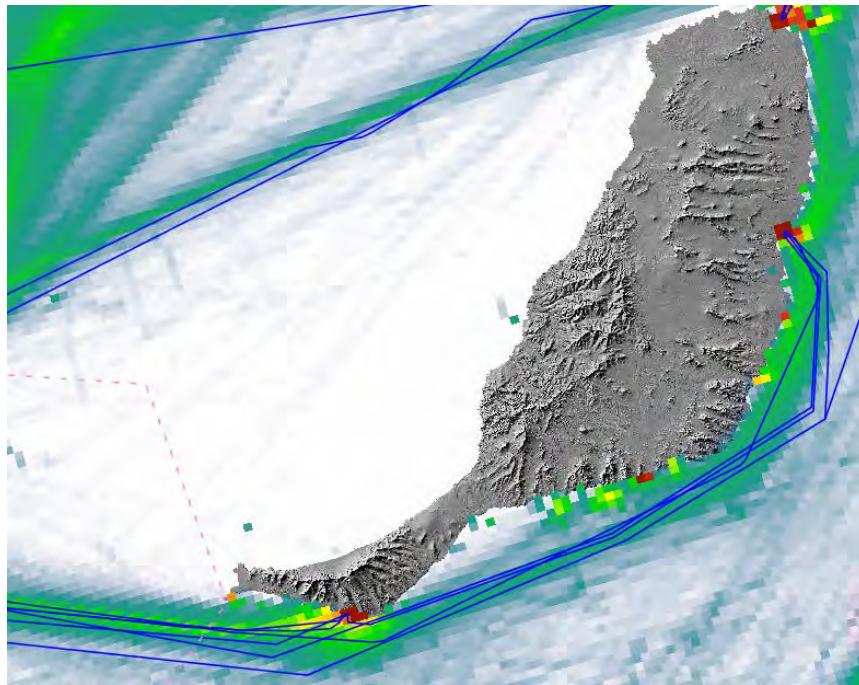


Figura 58: Separación del tráfico marítimo, rutas marítimas y densidad de tráfico en la isla de Fuerteventura.  
Fuente: Elaboración propia.

Los cables submarinos de telecomunicaciones y eléctricos (líneas rojas de la Figura 59) se centran en la cara oeste de la isla mayorera, siendo la punta de Jandía el sitio más próximo de paso.

En la costa oeste del municipio de Pájara, en las cercanías con Betancuria, se encuentra una zona de exclusión militar que invade parcialmente una sección de costa. En la Figura 59 se representa con un rallado rosa.

La costa este de la isla se encuentra mejor estructurada eléctricamente que la oeste, con una mayor densidad de subestaciones (círculos azules de la Figura 59). El desarrollo demográfico en este lado de Fuerteventura es mayor que en el oeste, viéndose influenciado por la orografía de dicha parte de la isla.

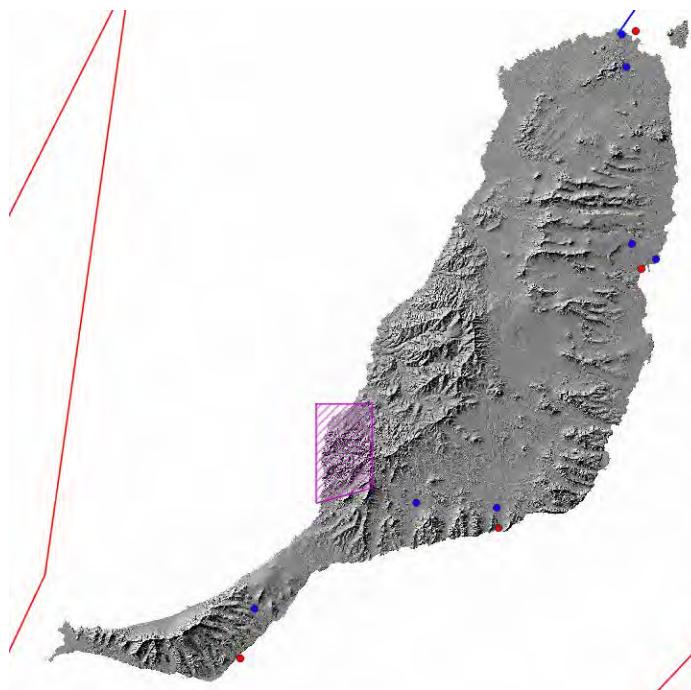


Figura 59: Emisarios y cables submarinos, subestaciones y restricciones de defensa. Fuente: Elaboración propia.

Fuerteventura tiene zonas potenciales para situar parques eólicos off-shore cimentados al lecho marino, en cuanto a batimetría y distancia a la costa se refiere. Estas ubicaciones son; el Bancal, la costa en frente a La Punta de Jandía y parte de la costa oeste. En la Figura 60 se aprecia que los tonos amarillos (aproximadamente 50 m de profundidades batimétricas) son predominantes en las zonas potenciales, encontrándose fuera de la línea roja de 8 km.

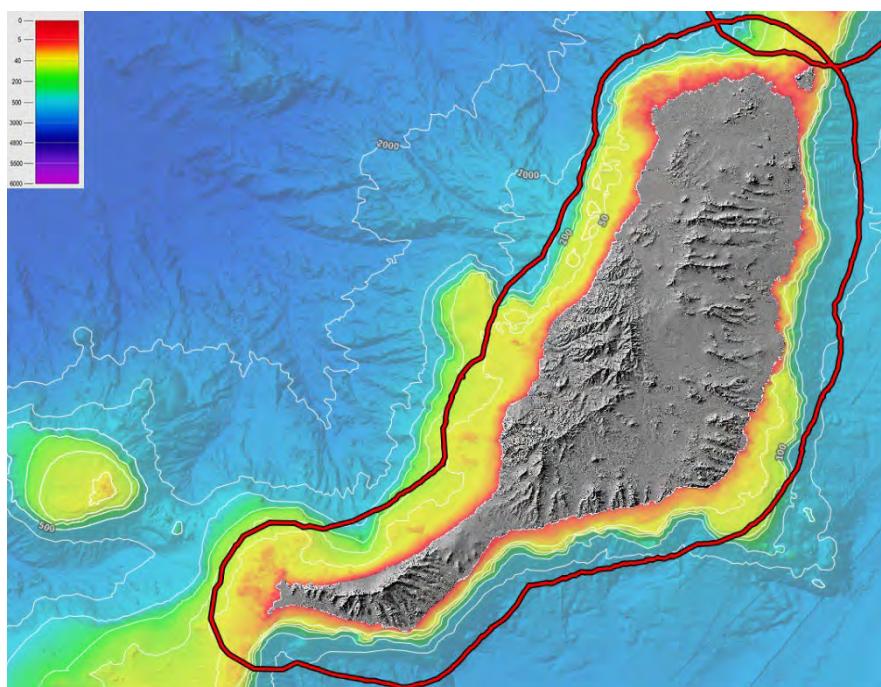


Figura 60: Límite de los 8 km a partir del litoral y la batimetría de Fuerteventura con gradientes de color y líneas. Fuente: Elaboración propia.

Estas zonas entran en conflicto con restricciones ambientales y con aquellas que podrían limitar su desarrollo por actividades humanas como el tráfico marítimo.

### *3.3.3. Conclusiones para Fuerteventura*

#### *3.3.3.1. Eólica cimentada al lecho marino en Fuerteventura*

Tras el estudio de las zonas aptas para el desarrollo de la eólica off-shore cimentada al lecho marino para la isla de Fuerteventura se proponen cuatro áreas.

- FT.FF.1: Frente a las costas norte de Pájara. Se distinguen dos zonas, una apta y sin restricciones de ningún tipo y otra condicionada, en este caso por encontrarse dentro de la RB.
- FT.FF.2: Frente a las costas norte de Pájara. Superficie de reducida extensión que invade áreas LIC y RB.
- FT.FF.3: Frente a las costas oeste de Pájara, bordeando la Punta de Jandía. Área extensa que invade zonas LIC, RB y de alta densidad de tráfico marítimo.
- FT.FF.4: Frente a las costas de Tuineje. Superficie de pequeña extensión que invade áreas dentro de la demarcación LIC.

En la Tabla 10 se encuentran las zonas anteriormente comentadas con datos relevantes de su emplazamiento.

Tabla 10: Zonas propuestas para el desarrollo de la eólica marina cimentada al lecho marino y las principales características del entorno en la isla de Fuerteventura.

ZONA	RANGO DE BATIMETRÍA (m)	SUPERFICIE (km <sup>2</sup> )		DISTANCIA MÍNIMA A LA COSTA (km)	DISTANCIA A SUBESTACIÓN (km)	VELOCIDAD MEDIA DE VIENTO A 80 m (m/s).
		Capa azul	Capa condic.			
FT.FF.1	45-100	40,00	18	8	21-28	7,5-8,0
FT.FF.2	65-100	0,00	2,70	8	19	7,5-8,0
FT.FF.3	30-100	0,00	65,00	8	19-40	7,5-8,0
FT.FF.4	70-100	0,00	4,00	8	15	8,0-8,5

En la Figura 61 se presentan las áreas propuestas para el desarrollo de la eólica marina cimentada al lecho marino para la isla de Fuerteventura, discretizando en función de si son zonas aptas o condicionadas, dependiendo de agentes afectados.

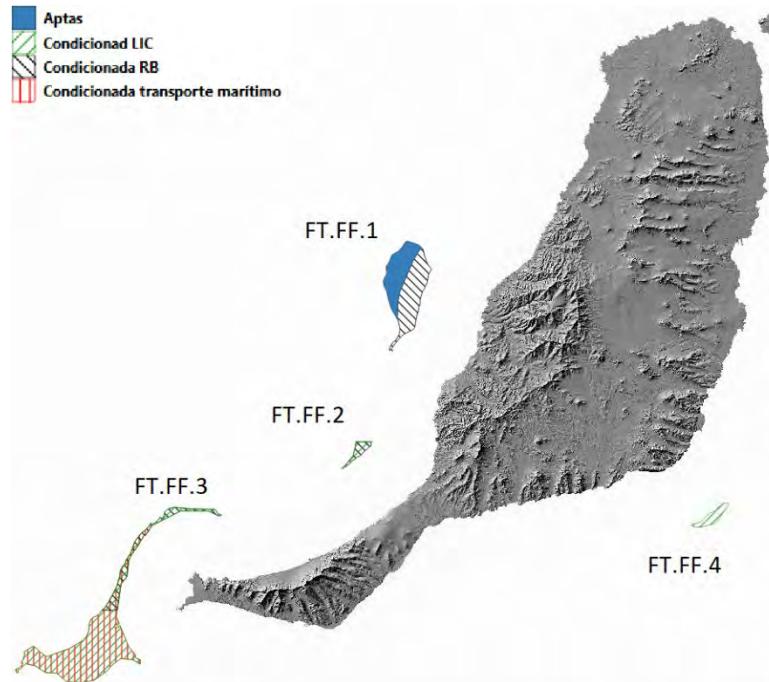


Figura 61: Zonas propuestas para el desarrollo de la eólica cimentada al lecho marino para Fuerteventura. Fuente: Elaboración propia.

La distancia mínima respecto de la costa para las zonas propuestas es de 8 km. Distancia con la que se persigue minimizar el impacto visual debido a la alta influencia que tiene el turismo en la economía en la isla mayorera.

Estas áreas entran en conflicto con otras actividades humanas, a parte de las ya comentadas. En Tabla 11 se recogen algunas de los condicionantes más importantes.

Tabla 11: Principales condicionantes para las zonas propuestas para el desarrollo de la eólica marina cimentada al lecho marino en la isla de Fuerteventura.

Zona	Condicionantes
<b>FT.FF.1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Invade caladeros de pesca</li> </ul>
<b>FT.FF.2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Invade espacio LIC</li> <li>· Invade caladeros de pesca</li> <li>· Colindante con espacios HIC</li> <li>· Colindante con espacios ZEC</li> </ul>
<b>FT.FF.3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Invade espacio LIC</li> <li>· Colindante con espacios HIC</li> <li>· Paso de cables submarinos</li> <li>· Invade caladeros de pesca</li> <li>· Densidad alta de tráfico marítimo e invade DST</li> </ul>
<b>FT.FF.4</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Invade espacio LIC</li> <li>· Invade parte de la servidumbre aeroportuarias</li> <li>· Invade caladeros de pesca</li> </ul>

Las mayores partes de las áreas condicionadas son las que se encuentran invadiendo demarcaciones LIC y RB. Esto no impide el desarrollo de la eólica marina, ya que el marco normativo en base a leyes o reglamentos no prohíbe que se puedan situar parques eólicos. El rechazo puede venir de colectivos ambientalistas o de la opinión pública en general. En la Figura 62 se puede apreciar en tono verde la demarcación LIC y en azul la RB.

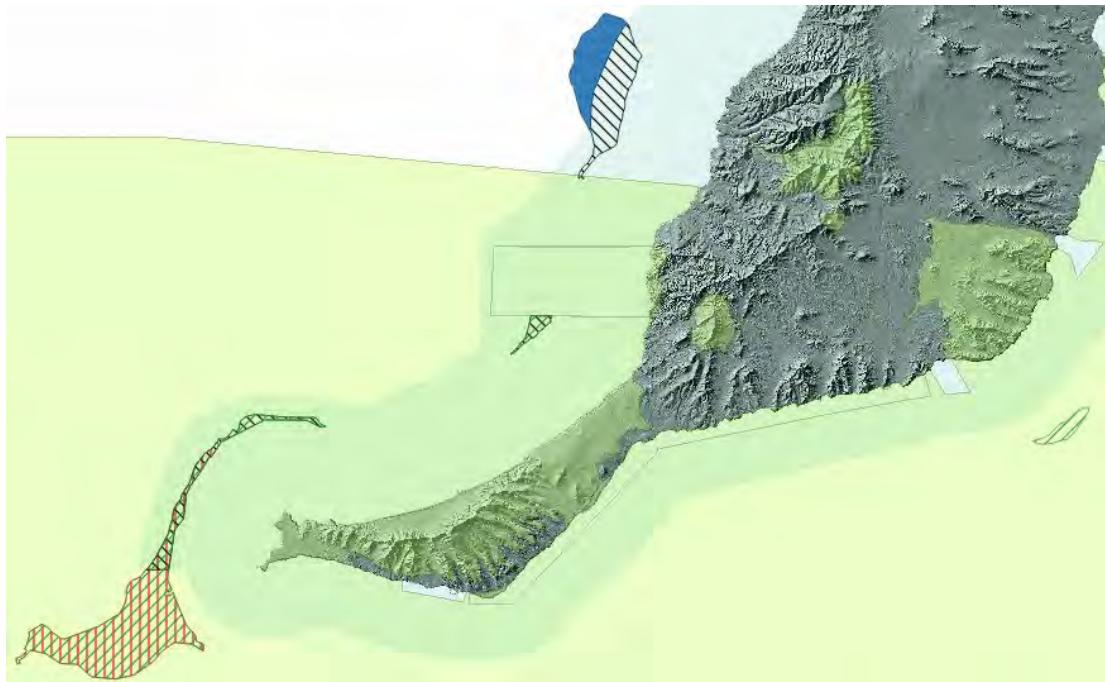


Figura 62: Áreas propuestas y condicionantes LIC y RB para la isla de Fuerteventura. Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado se encuentran las interacciones humanas con las zonas propuestas. Todas las áreas planteadas para el desarrollo de la eólica off-shore invaden caladeros de pesca. La fuente del problema no solo en la reducción de superficies hábiles para la pesca, sino posibles efectos adversos que se generan sobre las especies en términos de ruido. En la actualidad no hay documentación científica que certifique que los parques eólicos afectan de manera negativa a las labores de pesca debido al ruido y vibraciones que los aerogeneradores producen.

En la Figura 63 se representan las áreas propuestas junto a la densidad y rutas de tráfico marítimo y las superficies reservadas para caladeros de pesca.

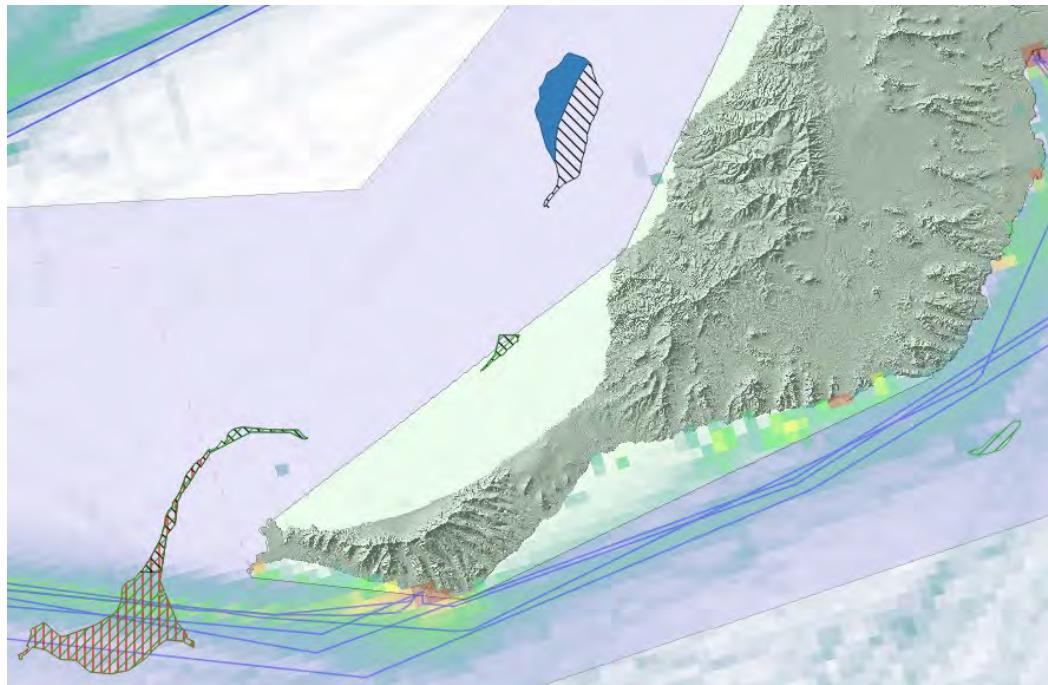


Figura 63: Áreas propuestas para el desarrollo eólico marino cimentada al lecho marino en Fuerteventura y zonas de pesca, densidad de tráfico y rutas marítimas. Fuente: Elaboración propia.

El desarrollo de la eólica marina debe ir acompañado de una mejora en las instalaciones eléctricas en la isla mayorera. La debilidad de los tendidos eléctricos de alta tensión y el escaso número de subestaciones eléctricas cercanas a las zonas propuestas hacen que la aptitud de dichas áreas se vea mermada por la debilidad del sistema eléctrico. En la Figura 64 se puede apreciar que, exceptuando FT.FF.4, las distancias a las subestaciones son elevadas.

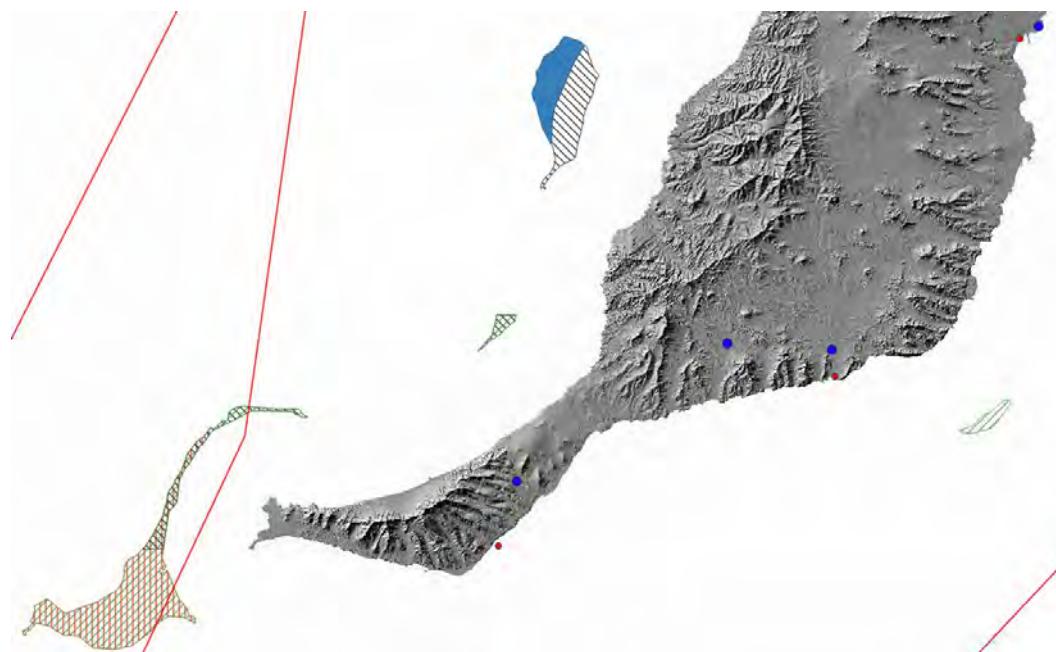


Figura 64: Zonas propuestas para el desarrollo de la eólica marina cimentada al lecho marino y las subestaciones, cables y emisarios submarinos en la isla de Fuerteventura. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, los tipos de suelos que se tienen en las zonas propuestas son los siguientes:

- Lodos y arenas. Tonos amarillo-anaranjados.
- Sedimentos gruesos. Tonos verdes claro.
- Arenas. Tonos rojos.
- Piedras. Tonos verdes oscuro.

En la Figura 65 se representan las tonalidades de color anteriormente descritas para las distintas tipologías de suelo en las áreas propuestas para Fuerteventura.



Figura 65: Caracterización del suelo de las zonas propuestas para el desarrollo de la eólica cimentada al lecho marino en Fuerteventura. Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.3.2. Eólica en fondo flotante en Fuerteventura.

La eólica flotante en el litoral de Fuerteventura tiene potencial implementación en prácticamente toda su costa oeste y parcialmente la este. Se proponen cinco áreas para el desarrollo de la eólica flotante en la isla de Fuerteventura:

- FT.LF.1: Frente a las costas del norte de La Oliva, Puerto del Rosario, Betancuria y el norte y oeste de Pájara.
- FT.LF.2: Frente a las costas del norte de Betancuria y el norte y oeste de Pájara.
- FT.LF.3: Frente a las costas del este de La Oliva y Puerto del Rosario.
- FT.FL.4: Frente a las costas sureste de Tuineje.
- FT.FL.4: Frente a las costas sureste de Tuineje y Antigua.

En la Figura 66 se detallan las áreas propuestas en la isla de Fuerteventura en función del límite de batimetría impuesto. La capa azul representa el límite 100 – 300 m, y la capa verde figura el límite 300 – 1000 m.

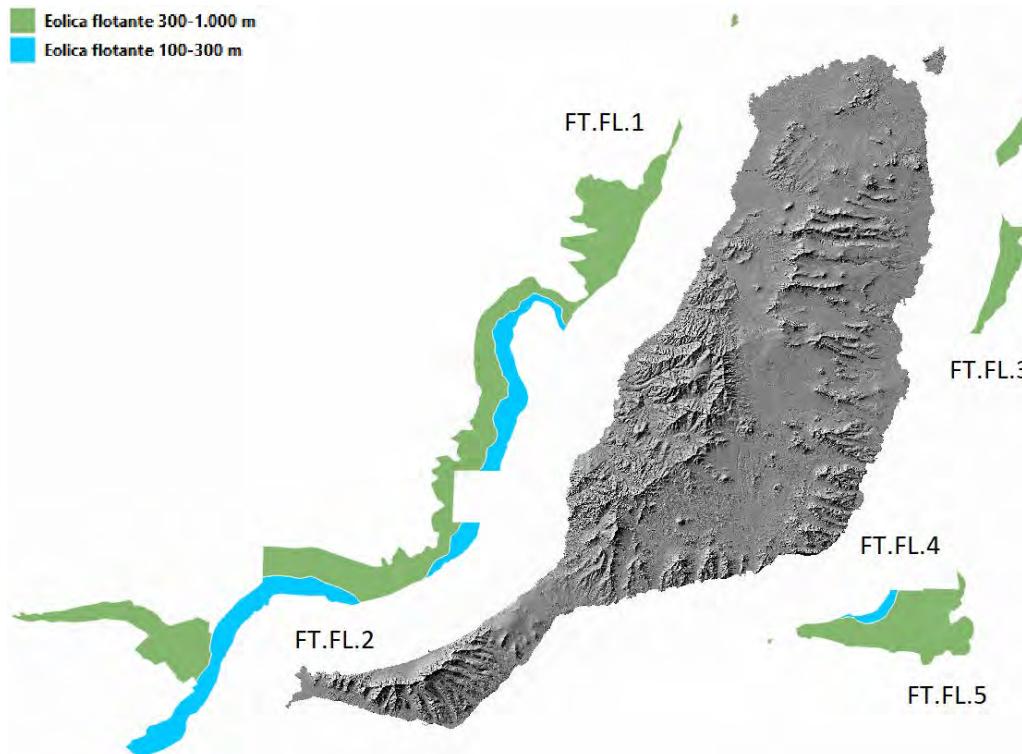


Figura 66: Zonas propuestas para el desarrollo de la eólica flotante en Fuerteventura. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 12 se detallan las principales características de las zonas escogidas.

Tabla 12: Zonas propuestas para el desarrollo de la eólica marina flotante y las principales características del entorno en la isla de Fuerteventura.

ZONA	RANGO DE BATIMETRÍA (m)	SUPERFICIE (km <sup>2</sup> )	DISTANCIA MÍNIMA A LA COSTA (km)	DISTANCIA A SUBESTACIÓN (km)	VELOCIDAD MEDIA DE VIENTO A 80 m (m/s).	
FT.FL.1	300-1000	241	64	8	7,00-8,50	
FT.FL.2	100-300	46	10	68	12-40	7,00-8,00
FT.FL.3	300-1000	10	25	8	8-15	6,50-7,50
FT.FL.4	100-300		6	8	15	8,00-8,50
FT.FL.5	300-1000		85	8	10-25	7,50-8,50

La eólica flotante tiene un mayor grado de implementación, en cuanto a superficie se refiere, que la eólica en cimentada al fondo marino. Si comparamos los 111,7 km<sup>2</sup> disponibles de la eólica cimentada al lecho marino, la eólica en fondo flotante dispone de un total de 555 km<sup>2</sup>, de los cuales 130 son potenciales para la tecnología que hay en la actualidad. El límite de 100-300 m supone un 22% de la superficie total disponible para la eólica flotante.

Al igual que para el caso de la eólica cimentada al fondo marino, la eólica flotante invade zonas con protecciones medioambientales y/o con áreas de uso y actividades recreativas o comerciales. En la Tabla 13 se detallan los puntos condicionantes.

Tabla 13: Principales condicionantes para las zonas propuestas para el desarrollo de la eólica marina flotante en la isla de Fuerteventura.

Zona	Condicionantes
<b>FT.FL.1</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>· Invade espacio LIC</li><li>· Invade espacio RB</li><li>· Invade caladeros de pesca</li></ul>
<b>FT.FL.2</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>· Invade espacio LIC</li><li>· Invade espacio RB</li><li>· Paso de cables submarinos</li><li>· Invade caladeros de pesca</li><li>· Densidad alta de tráfico marítimo</li></ul>
<b>FT.FL.3</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>· Invade espacio LIC</li><li>· Invade parcialmente servidumbre aeroportuaria</li></ul>
<b>FT.FL.4</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>· Invade espacio LIC</li><li>· Invade parcialmente servidumbre aeroportuaria</li><li>· Invade caladeros de pesca</li></ul>
<b>FT.FL.4</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>· Invade espacio LIC</li><li>· Invade parcialmente servidumbre aeroportuaria</li><li>· Invade caladeros de pesca</li></ul>

Al igual que pasa con la eólica cimentada al lecho marino, el desarrollo de la eólica flotante debe ir acompañada de una mejora en las infraestructuras eléctricas. Las limitaciones para el vertido a red puede ser un factor determinista para poder desplegar estas tecnologías en la isla mayorera.

La tipología de terreno existente no dista de lo encontrado para la eólica cimentada al lecho marino (véase la Figura 65), variando las concentraciones de terreno según las zonas donde se ubican las áreas propuestas.

### **3.4. Gran Canaria**

#### **3.4.1. Restricciones ambientales en Gran Canaria**

La isla de Gran Canaria tiene una fuerte protección marina en su costa suroeste, con prácticamente todo el litoral protegido. Además, la capital y la zona norte, en el término municipal de Agaete, se encuentran amparadas por la protección ZEC. Como se puede apreciar en la Figura 67 el resto de la isla tiene protecciones ambientales locales, como son la Bahía de Gando o la punta de Arinaga.

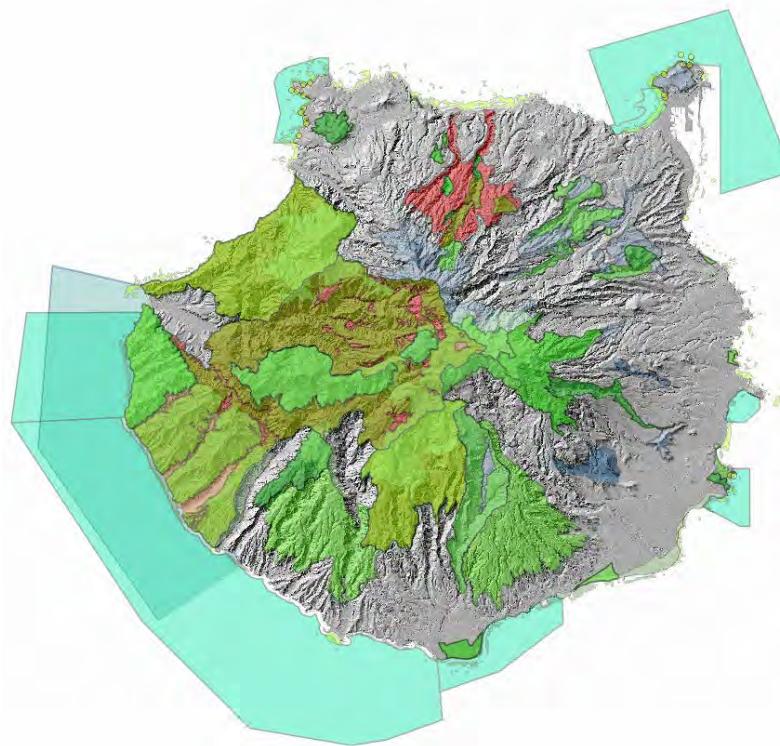


Figura 67: Espacios protegidos en la isla de Gran Canaria. Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta las restricciones ambientales, se preselecciona para el desarrollo de la eólica off-shore cimentada al lecho marino toda la cornisa este-sureste, y el noreste de la isla. A pesar de ello, no todo el litoral de esta preselección realizada se encuentra libre de restricciones ambientales. Existen dos que afectan directamente:

- Áreas HIC en prácticamente todo el litoral de la isla.
- ZEC en la Bahía de Gando y en la punta de Arinaga.

#### *3.4.2. Limitaciones técnicas en Gran Canaria*

En la costa sureste de la isla se encuentra el aeropuerto de Gran Canaria y el aeródromo de Berriel. A esto se le suman los puertos de Arinaga y de Salinetas. Las servidumbres, tanto aeroportuarias como portuarias limitan las áreas libres para el desarrollo de eólica marina en la isla. Como se puede apreciar en la Figura 68, ambas servidumbres, portuarias y aeroportuarias, comparten zonas de influencia debido a su cercanía entre ellas.

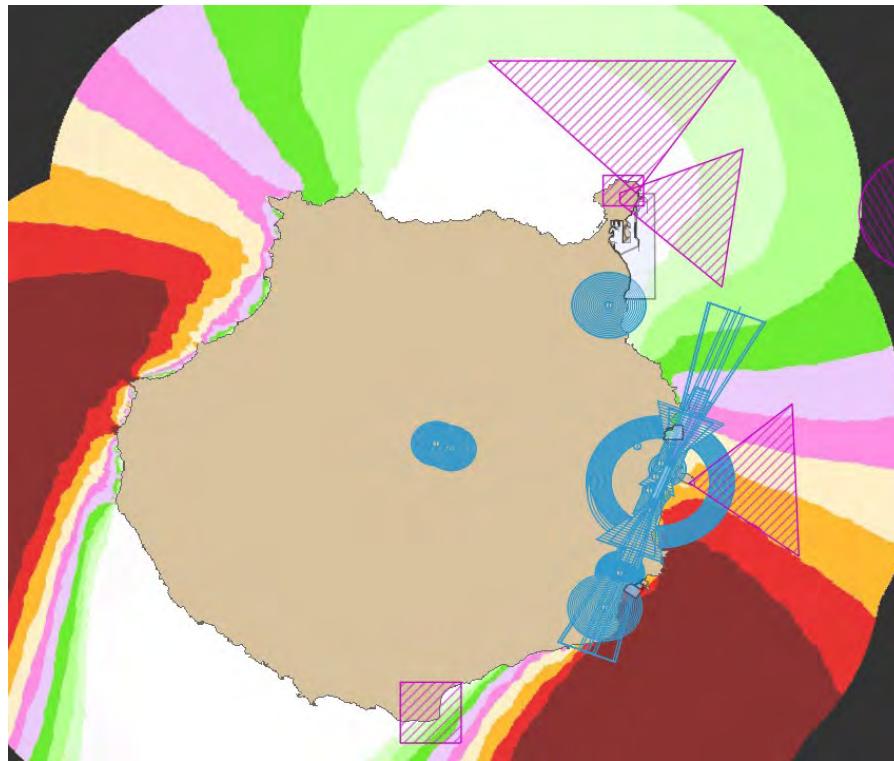


Figura 68: Servidumbres aeroportuarias, portuarias, militares y aprovechamiento eólico a 80 m. Fuente: Elaboración propia.

En la propia Figura 68 se representa también el aprovechamiento eólico y las áreas reservadas para defensa. El recurso eólico de Gran Canaria es uno de los mejores de todas las islas por disponer de velocidades medias relativamente altas y en grandes superficies. Las intensidades rojizas son predominantes en la práctica totalidad del litoral sureste y oeste.

Gran Canaria cuenta con varias zonas de exclusión para uso militar que acometen áreas en el mar (véase la Figura 68). Se localizan en cuatro grupos:

- Zona de La Isleta en la capital de la isla.
- Zona en alta mar al este de la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria.
- Zona en la Base Aérea de Gando.
- Zona de la Reserva Natural de las Dunas de Maspalomas.

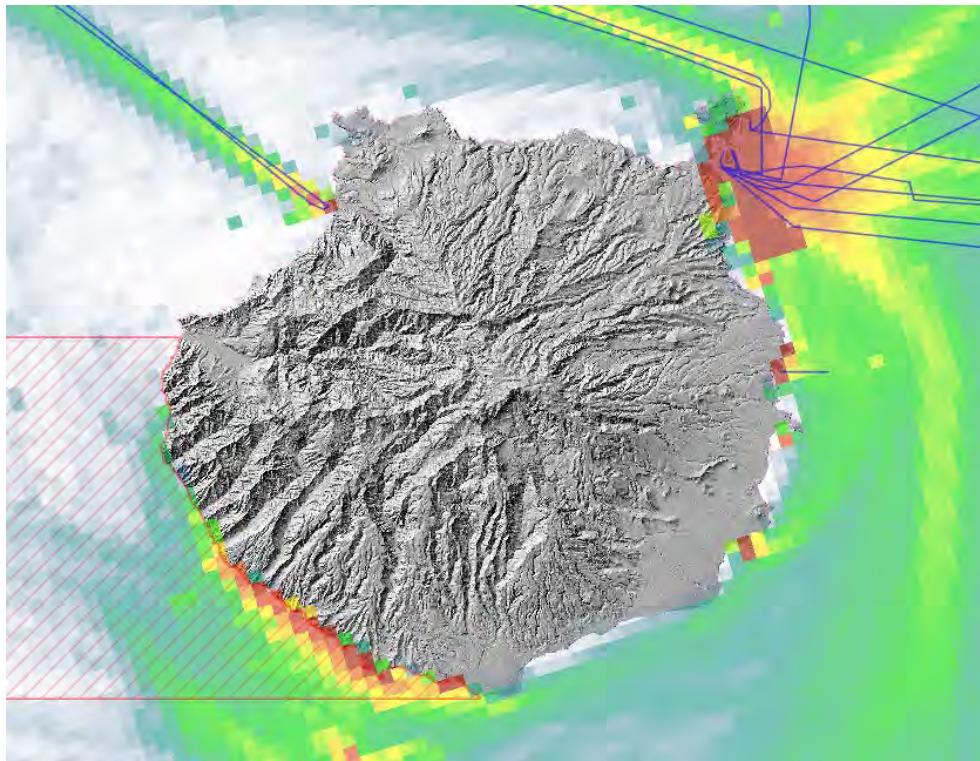


Figura 69: Rutas, densidad y zonas de exclusión de tráfico marítimo en la isla de Gran Canaria. Fuente: Elaboración propia.

Gran Canaria es una de las dos islas capitalinas de la Comunidad Autónoma de Canarias. Es también la segunda isla más poblada de todo el archipiélago. Es por ello por lo que la densidad de tráfico marino en esta isla es mucho mayor que en aquellas no capitalinas. Además, la isla se ubica entre las dos vías de separación de tráfico marítimo (DST) de los barcos que se encuentran de paso a través de las islas.

En la Figura 69 se detallan por un lado las rutas y por otro la densidad del tráfico marítimo en la isla. Cabe mención que:

- El puerto de Las Palmas es un puerto pesquero, comercial, de pasajeros y deportivo. Es uno de los más transitados de todo el archipiélago, siendo el más importante de toda Canarias y el cuarto de España. Es un puerto de avituallamiento para los barcos que se encuentran de paso por las islas. La zona de influencia de alta densidad de tráfico llega hasta 10 km desde la línea de puerto.
- Las actividades marítimas de recreo en el sur de la isla (frente a las costas de San Bartolomé de Tirajana y de Mogán), tanto de pesca como navegación de recreo son actividades muy frecuentes debido a la explotación del turismo en la zona.

Cabe destacar que prácticamente la totalidad de la zona suroeste de la isla se encuentra con la prohibición del tránsito de buques, exceptuando embarcaciones de recreo, pesca o aquellos barcos de gran tamaño que sea estrictamente necesario su paso en dicha zona. Esta prohibición comparte espacio con las zonas de protección de las aves ZEPA e IBA.

El sistema eléctrico en la isla de Gran Canaria se encuentra fuertemente armado en todo el litoral este de la isla, y no tanto en el oeste. Existe una amplia red de subestaciones y líneas de alta tensión donde realizar el vertido eléctrico desde los posibles parques eólicos marinos.

En la Figura 70 se aprecian que en todo el litoral, desde la capital hasta el sur de la isla, existe una alta densidad de subestaciones eléctricas (círculos azules).

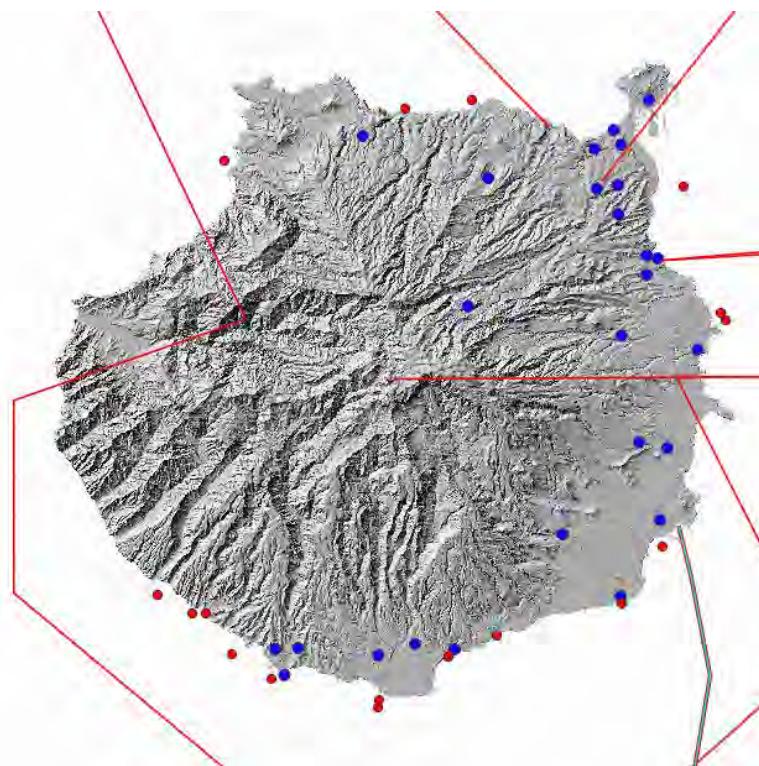


Figura 70: Emisarios y cables submarinos y subestaciones eléctricas en la isla de Gran Canaria. Fuente: Elaboración propia.

Estas zonas disponen, también, de una densidad alta de población. Por este motivo, estas áreas tienen un gran número de subestaciones y tendidos eléctricos de alta tensión, encontrándose en esta vertiente las dos únicas centrales térmicas existentes en la isla.

Además, en el litoral este de la isla hay una alta densidad de emisarios submarinos que pueden alterar las condiciones de salinidad y del terreno. Afectando de manera negativa a las cimentaciones, anclajes, catenarias y subestructuras de los aerogeneradores. Finalmente, otro aspecto a tener en cuenta es el tendido de cables submarinos que pasan cerca de las zonas de estudio.

En cuanto a la batimetría, la isla de Gran Canaria se asemeja a Fuerteventura en varios aspectos. Uno de ellos es la ubicación de una llanura subacuática en todo su litoral previo a una ruptura con pendientes batimétricas elevadas, tal y como se aprecia en la Figura 71 y en la Figura 72.

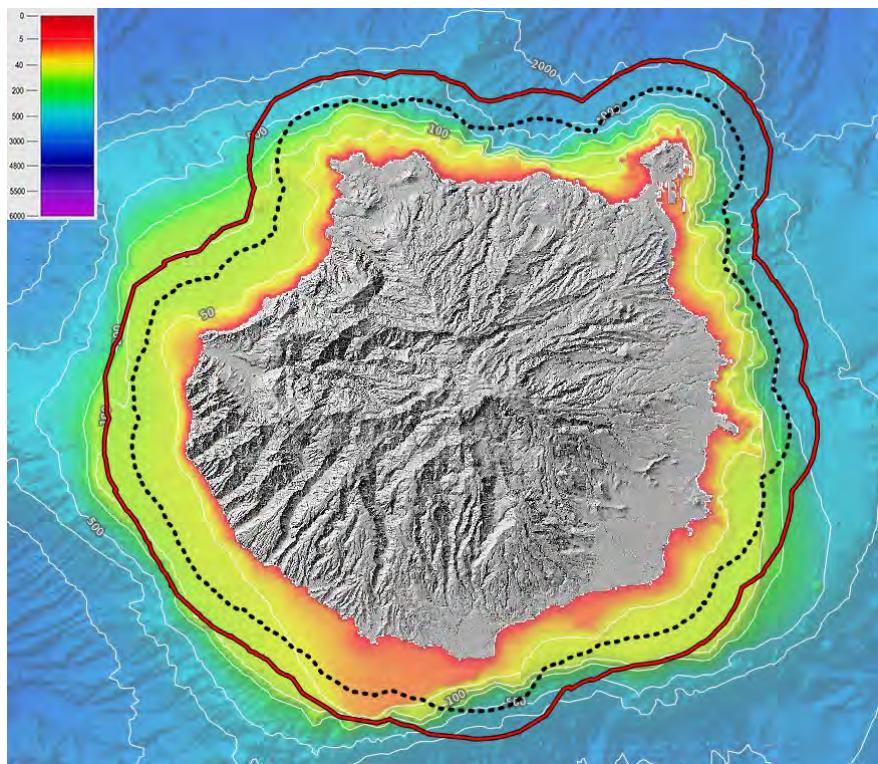


Figura 71: Batimetría con gradiente de color y líneas de 8 (continua roja) y 5 km (discontinua negra) en la isla de Gran Canaria. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 72, los gradientes de color que parten del tono rojizo a amarillo representan zonas aptas para aerogeneradores en base fija. La profundidad varia de 0 m (rojo) a aproximadamente 80 m (amarillo). En cambio, cuando se llega a tonos verdosos resulta ventajoso cambiar el tipo de subestructura y tender a tipología de eólica flotante.

Después de esta plataforma, la distancia libre desde la costa hasta el límite de 100 m de profundidad llega hasta los 6 kilómetros (zona noroeste de la isla tal y como se aprecia en la Figura 72).

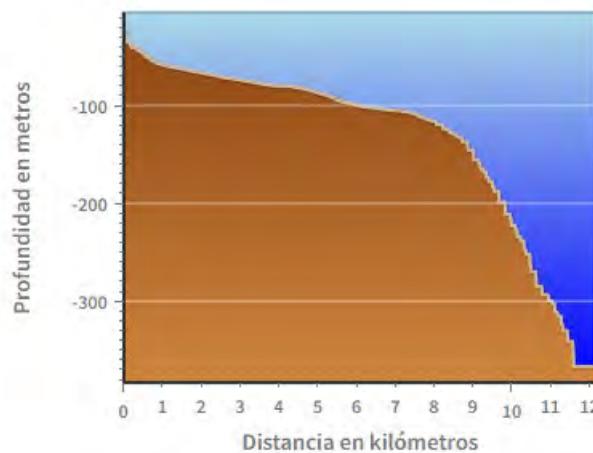


Figura 72: Perfil batimétrico del noroeste de la isla de Gran Canaria. Fuente: Adaptada de [10].

### 3.4.3. Conclusiones para Gran Canaria

#### 3.4.3.1. Eólica cimentada al lecho marino en Gran Canaria

Gran Canaria es la isla que mejores opciones ofrece para el desarrollo de la eólica marina de todas las Islas Canarias, tanto para tecnologías fijas al lecho marino como para flotantes. Se proponen dos zonas para el desarrollo de la eólica marina cimentada al lecho marino:

- GC.FF.1: Frente a las costas de Gáldar, Agaete, Artenara y La Aldea de San Nicolás. Se distinguen dos zonas, una apta y sin restricciones de ningún tipo y otra condicionada. Esta última por encontrarse dentro de rutas de tránsito de barcos.
- GC.FF.2: Frente a las costas de San Bartolomé de Tirajana, Santa Lucía de Tirajana, Agüimes e Ingenio. Se distinguen dos zonas, una apta y sin restricciones de ningún tipo y otra condicionada. Esta última por encontrarse dentro de rutas marítimas y como posible pasillo para que los barcos puedan acceder al puerto de Arinaga

En la Tabla 14 se detallan las principales características del emplazamiento de las zonas anteriormente comentadas.

Tabla 14: Zonas propuestas para el desarrollo de la eólica marina cimentada al lecho marino y las principales características del entorno en la isla de Gran Canaria.

ZONA	RANGO DE BATIMETRÍA (m)	SUPERFICIE (km <sup>2</sup> )		DISTANCIA MÍNIMA A LA COSTA (km)	DISTANCIA A SUBESTACIÓN (km)	VELOCIDAD MEDIA DE VIENTO A 80 m (m/s).
		Capa azul	Capa roja			
GC.FF.1	80-100	40,00	1,16	5	14-28	8,0 -> 9,5
GC.FF.2	50-100	66,00	7,60	5-8	8-6	8,5 - > 9,5

En la Figura 73 se encuentran las áreas propuestas para el desarrollo de la eólica marina cimentada al lecho marino para la isla de Gran Canaria, discretizando en función de si son zonas aptas o condicionadas.

Según lo descrito en el punto 2.2 *Impacto visual*, el límite donde el impacto visual disminuye de manera significativa es a partir de los 8 km desde la línea de costa. Teniendo en cuenta esta limitación, una parte muy pequeña del área propuesta sería apta para el desarrollo de la eólica off-shore cimentada al lecho marino. Debido a la gran aptitud en cuanto a batimetría y sobre todo al recurso eólico en la isla de Gran Canaria, sumado a la población y al alto consumo de energía eléctrica, se proponen dos distancias respecto a la línea de costa, una a 5 km y otra a 8 km.

Si se tiene en cuenta exclusivamente la línea de 8 km, la superficie libre alcanza casi los 10 km<sup>2</sup> conjuntamente ambas superficies propuestas (véase la Tabla 15).

Tabla 15: Superficies propuestas para la eólica cimentada al lecho marino en la isla de Gran Canaria con el límite de 8 y 5 km. Fuente: Elaboración propia.

ZONA	SUPERFICIE LIBRE 8 km (km <sup>2</sup> )	SUPERFICIE LIBRE 5 km (km <sup>2</sup> )	%
GC.FF.1	2,40	40,00	11,14
GC.FF.2	7,35	66,00	5,95

Teniendo en cuenta el gran potencial eólico de la isla de Gran Canaria y que las costas en frente a las zonas propuestas no son de gran afluencia de turismo, se escoge el límite de los 5 km como frontera respecto de la costa. El impacto visual es algo subjetivo, pudiéndose abordar el problema de distintas maneras, dándole uso al parque eólico como reclamo turístico o como imagen de isla verde y autosuficiente.

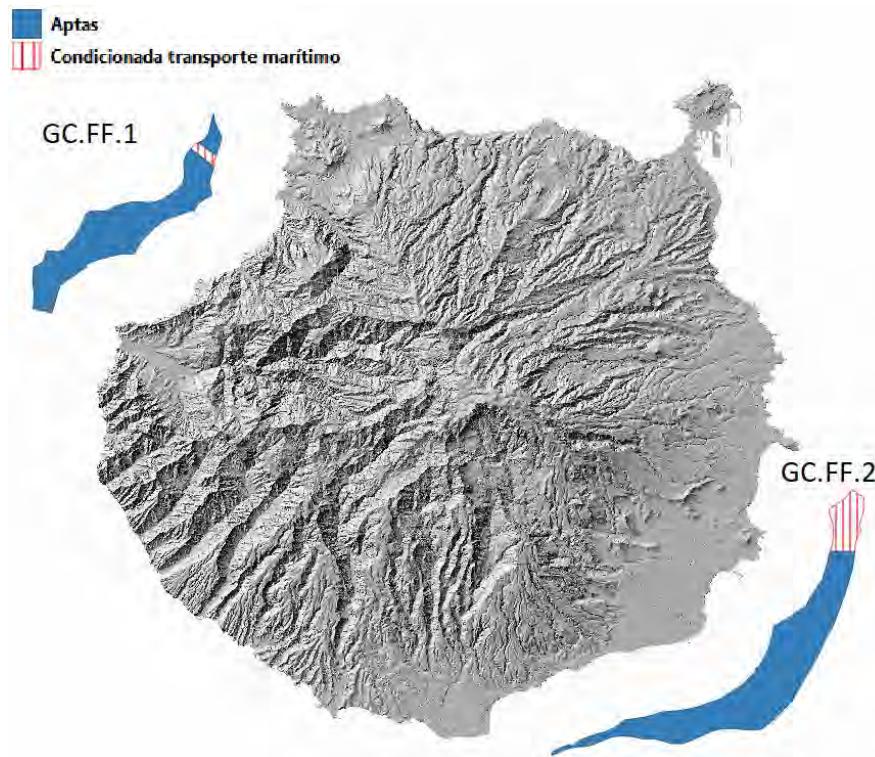


Figura 73: Zonas propuestas para el desarrollo de la eólica cimentada al lecho marino para Gran Canaria. Fuente: Elaboración propia.

Las áreas propuestas para el desarrollo de la eólica marina cimentada al lecho marino en Gran Canaria entran en interacción con otros elementos de actividades humanas que pueden hacer que su puesta en marcha se vea frustrada. En la Tabla 16 se recogen algunas de los condicionantes más importantes.

Tabla 16: Condicionantes para las zonas seleccionadas para la implementación de la eólica cimentada al lecho marino en Gran Canaria. Fuente: Elaboración propia.

Zona	Condicionantes
GC.FF.1	<ul style="list-style-type: none"><li>· Colindan con espacios de la RN 2000</li><li>· Paso de cables y emisarios submarinos cercanos</li><li>· Tránsito de barcos de recreo y de transporte de mercancías y personas.</li></ul>
GC.FF.2	<ul style="list-style-type: none"><li>· Paso de cables submarinos</li><li>· Colinda con concesiones acuícolas</li><li>· Emisarios submarinos cercanos</li><li>· Colinda con servidumbres aeroportuarias</li><li>· Densidad alta de tráfico marítimo e invade DST</li></ul>

En la Figura 74 se puede apreciar que la alta densidad de tráfico marítimo se concentra en toda la zona este y sur de la isla. Las zonas propuestas no invaden zonas con densidades en tonos rojizos o amarillos, indicadores de un mayor número de buques.

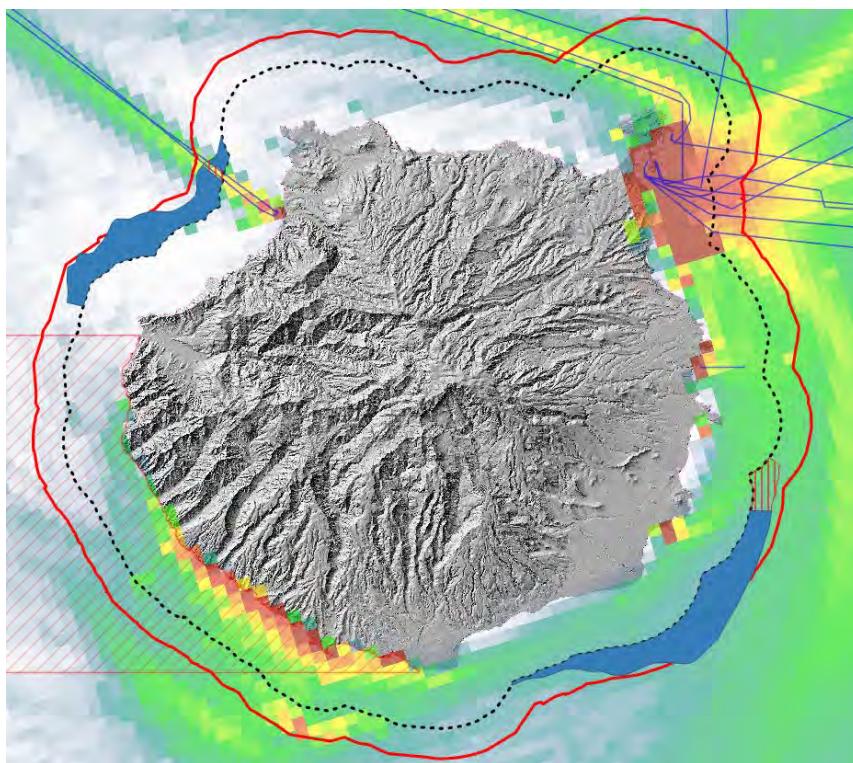


Figura 74: Zonas propuestas para la eólica cimentada al lecho marino en la isla de Gran Canaria, junto con las líneas de 8 y 5 km y la densidad y rutas de tráfico marítimas. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 74 se pueden apreciar las zonas condicionadas por el tránsito de barcos hacia los puertos de Arinaga y Agaete.

Para finalizar, la tipología de estrato predominante en la isla es de suelos arenosos (tonos naranjas en la Figura 75) y lodos (tonos rojos en la Figura 75).

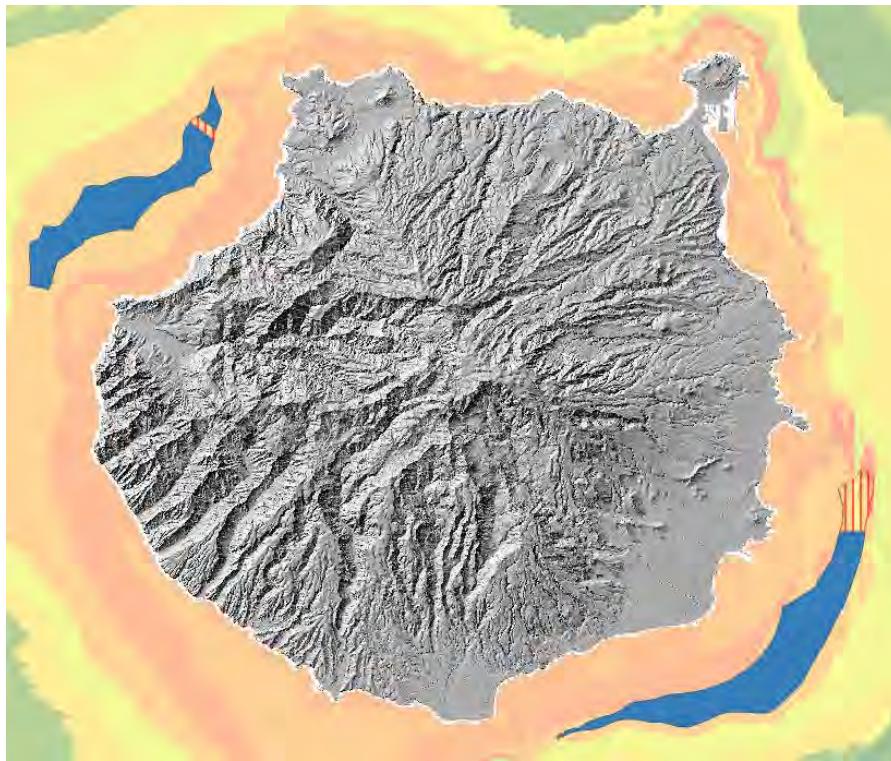


Figura 75: Caracterización del suelo de las zonas propuestas para el desarrollo de la eólica cimentada al lecho marino en Gran canaria. Fuente: Elaboración propia.

#### 3.4.3.2. *Eólica en fondo flotante en Gran Canaria*

La eólica flotante en el litoral de Gran Canaria tiene su desarrollo contiguo a las zonas propuestas cimentada al lecho marino. Se presentan dos áreas para el impulso de la eólica flotante en la isla de Gran Canaria:

- GC.LF.1: Frente a las costas de Gáldar, Agaete, Artenara y La Aldea de San Nicolás. Se distinguen dos zonas, una para batimetrías de 100 hasta 300 m, y otra que parte de 300 hasta los 1000 m.
- GC.LF.2: Frente a las costas de San Bartolomé de Tirajana, Santa Lucía de Tirajana, Agüimes e Ingenio. Al igual que en el caso anterior, se distinguen dos zonas en función de la profundidad, desde los 100 hasta los 300 m, y otra que parte de los 300 hasta los 1000 m.

En la Figura 76 se detallan las áreas propuestas para el desarrollo off-shore de la eólica flotante en la isla de Gran Canaria.

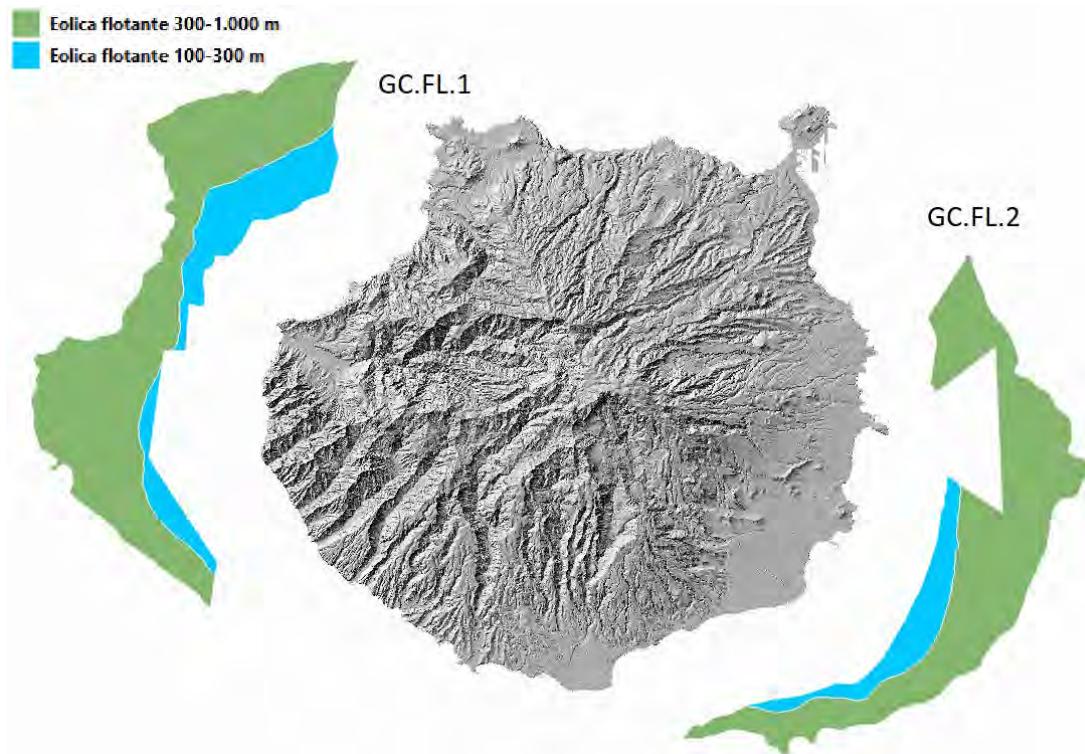


Figura 76: Zonas propuestas para el desarrollo de la eólica flotante en Gran Canaria. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 17 se detallan las principales características de las zonas escogidas para el desarrollo de la eólica flotante en la isla de Gran Canaria.

Tabla 17: Datos principales de las zonas propuestas para el desarrollo de la eólica flotante en la isla de Gran Canaria.

ZONA	SUPERFICIE (km <sup>2</sup> )		RANGO DE BATIMETRÍA (m)	DISTANCIA MÍNIMA A LA COSTA (km)	DISTANCIA A SUBESTACIÓN (km)	VELOCIDAD MEDIA DE VIENTO A 80 m (m/s).
	Capa azul	Capa verde				
GC.FL.1	83,50	262,00	300-1000	7-15	20-40	6,50 - >9,50
GC.FL.2	45,00	225,50	300-1000	9-15	9-15	6,50 - >9,50

Al igual que para el caso de la eólica cimentada al lecho marino, las subestructuras flotantes invaden zonas con protecciones medioambientales y/o con áreas de usos y actividades recreativas o comerciales. En la Tabla 18 se detallan los principales condicionantes.

Tabla 18: Condicionantes de las zonas propuestas para el desarrollo de la eólica marina flotante en la isla de Gran Canaria.

Zona	Condicionantes
GC.FL.1	<ul style="list-style-type: none"><li>· Colinda con espacios RB, LIC, ZEC, IBA y ZEPA</li><li>· Paso de cables submarinos</li><li>· Invade zonas a evitar por grandes buques</li><li>· Invade rutas marítimas</li></ul>
GC.FL.2	<ul style="list-style-type: none"><li>· Colinda con espacios reservados para la defensa</li><li>· Emisarios submarinos cercanos</li><li>· Paso de cables submarinos</li><li>· Colinda con servidumbres aeroportuarias</li><li>· Colinda con zonas de alta densidad de tráfico marítimo</li></ul>

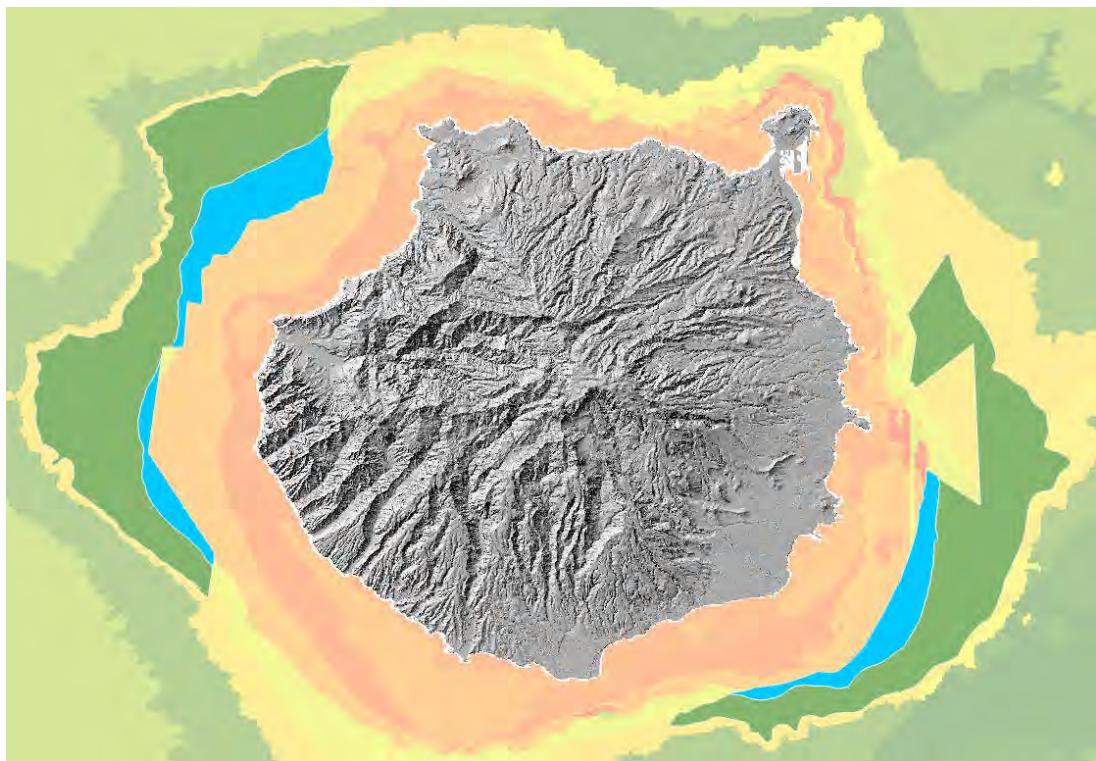


Figura 77: Caracterización del suelo de las zonas propuestas para el desarrollo de la eólica flotante en Gran Canaria. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, los estratos que hay en las zonas propuestas se distribuyen en lodos arenosos (tonos amarillo-anaranjados) y roca (tonos rojizos y amarillos).

Ambas tecnologías, la eólica cimentada al lecho marino y flotante, suponen un gran avance para la autosuficiencia de la isla. Juntado a otros vectores energéticos como el salto Chira-Soria, supondría una independencia energética de los combustibles fósiles y del uso de sistemas convencionales, actualmente con un alto porcentaje de uso en el mix-energético de la isla.

El desarrollo de la eólica en las zonas GC.FF.2 y GC.FL.2 es factible. Las áreas propuestas se enmarcan dentro de los mejores recursos eólicos disponibles de las Islas Canarias y de Europa en su conjunto. El sistema eléctrico, con subestaciones y líneas de media y alta tensión del este-sureste se encuentra fuertemente armado.

### *3.5. Tenerife*

#### *3.5.1. Restricciones ambientales en Tenerife*

Tenerife dispone de una extensa área de conservación en toda su costa oeste, desde la punta de Teno hasta el aeropuerto del sur de la isla. Como se aprecia en la Figura 78, la mayor parte del litoral chicharrero se encuentra libre de restricciones ambientales en el mar.

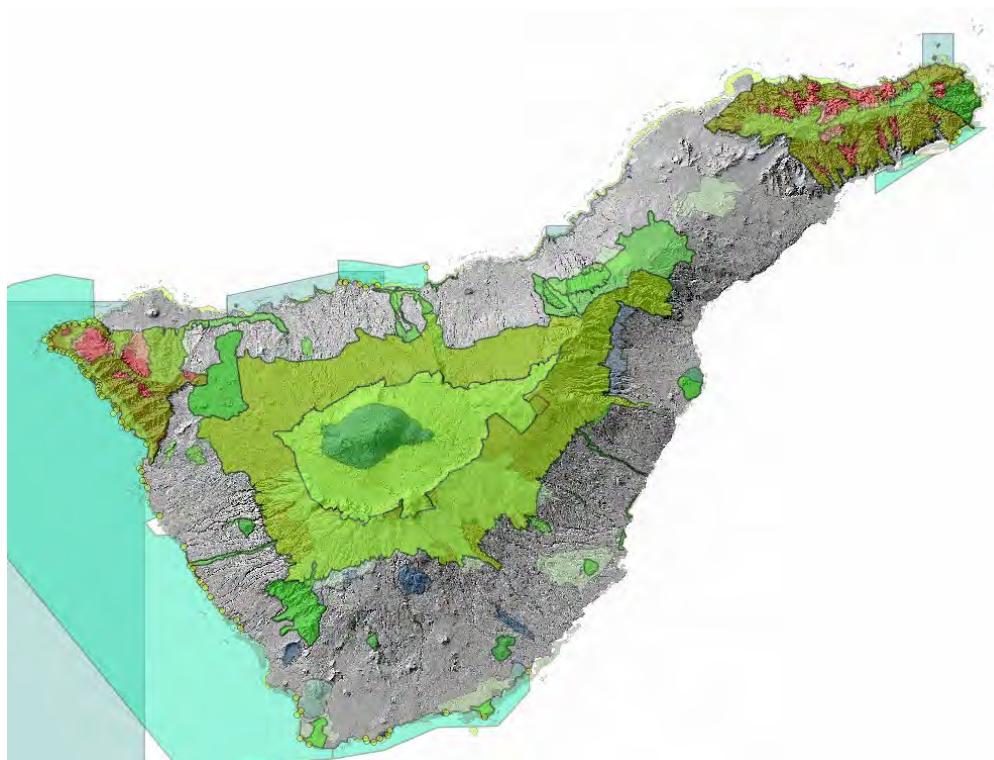


Figura 78: Espacios protegidos en la isla de Tenerife. Fuente: Elaboración propia.

#### *3.5.2. Limitaciones técnicas en Tenerife*

Tenerife pertenece al grupo de islas más jóvenes, geológicamente hablando, y que se originaron con erupciones volcánicas violentas. Estos factores hacen que las pendientes batimétricas sean elevadas desde prácticamente la línea de costa.

En la Figura 79 se pueden apreciar las líneas de batimetría y la tipología de terreno existente en la isla de Tenerife. Los tonos amarillo-verdosos representan roca y cantos rodados. Las líneas batimétricas se encuentran muy juntas entre sí, alcanzando 1000 m de profundidad en apenas 5 km desde la línea de costa.

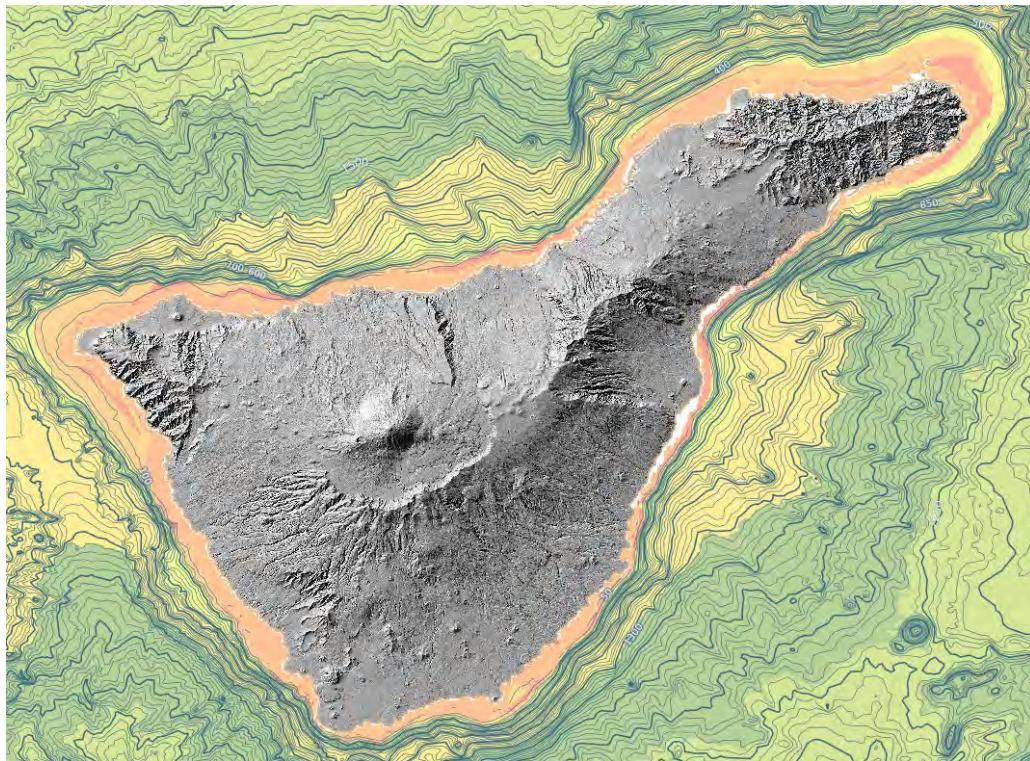


Figura 79: Mapa batimétrico y clasificación del suelo en la isla de Tenerife. Fuente: Elaboración propia.

La batimetría es uno de los puntos limitantes de la isla para el desarrollo de la eólica offshore. Con la limitación de 100 metros para la cimentación al lecho marino y los 300-1000 para la eólica flotante resulta complicado encontrar zonas aptas en la isla.

En la Figura 80 se representan el aprovechamiento eólico y la línea de 8 km. Como se puede apreciar, la zona del norte y oeste de la isla tiene un recurso eólico muy escaso. La mejor franja, en cuanto a aprovechamiento eólico se refiere, se encuentra en el sureste de Tenerife pero, como se aprecia en la Figura 79, la distancia al fondo marino en esa zona es excesiva para las tecnologías de anclajes actuales.

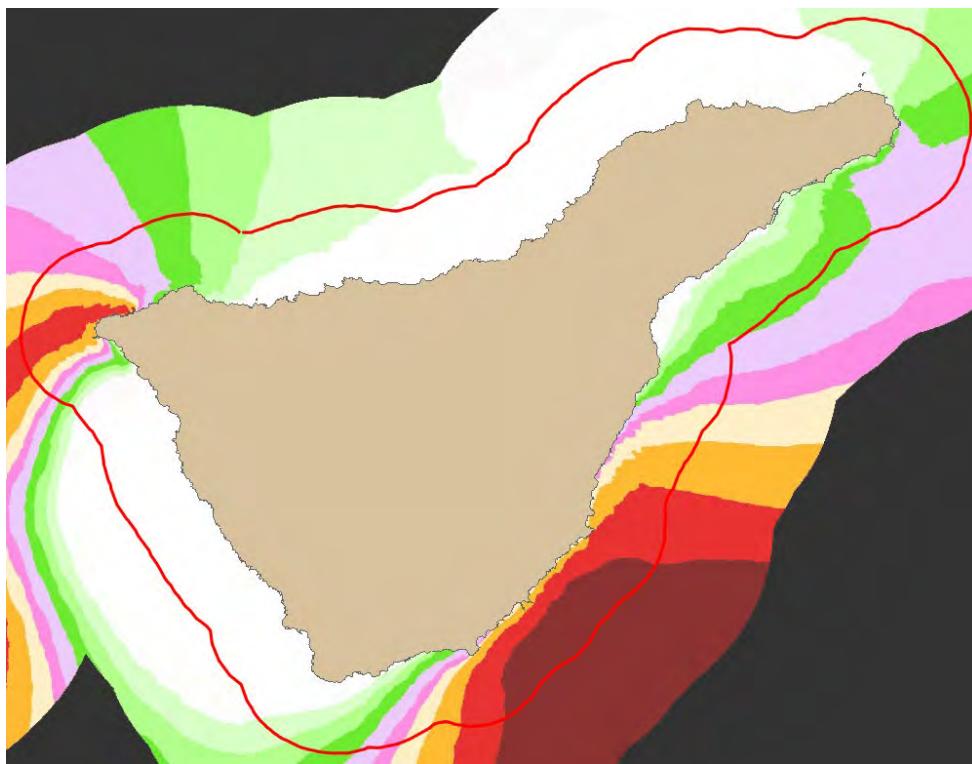


Figura 80: Aprovechamiento eólico y línea de 8 km de la isla de Tenerife. Fuente: Elaboración propia.

Esta zona sureste de la isla se ve condicionada también por la servidumbre aeroportuaria del aeropuerto de Tenerife Sur. En la Figura 81 se presentan las servidumbres aeroportuarias, portuarias y de defensa. Tenerife es la única isla que dispone de dos aeropuertos, factor limitante para la eólica marina por la reducción de superficies hábiles en el mar y por las posibles interferencias electromagnéticas con los sistemas de comunicación y radar.

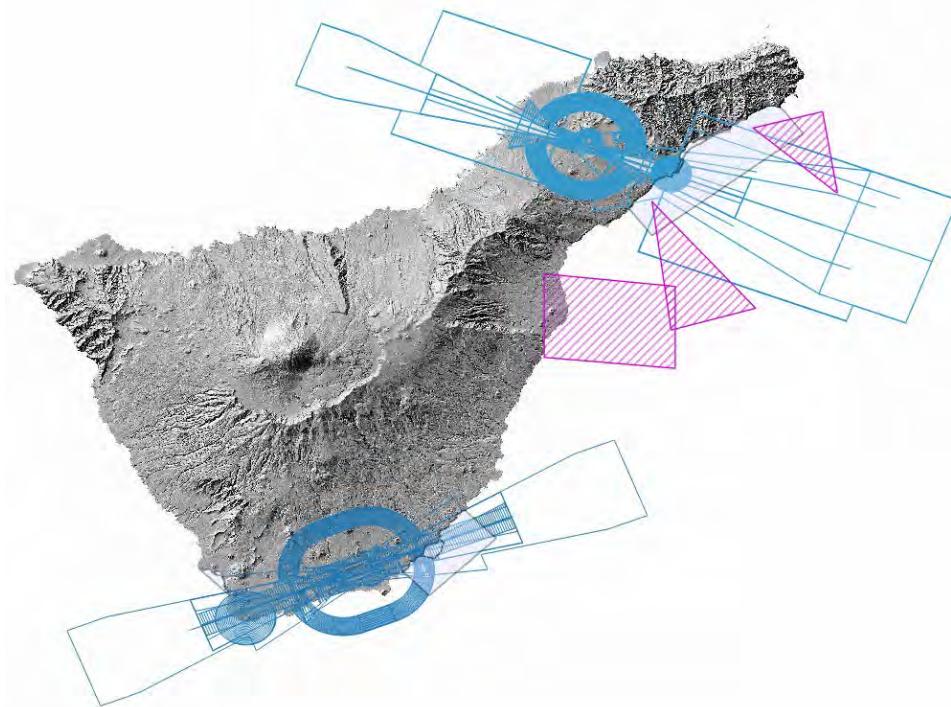


Figura 81: Servidumbres aeroportuarias, portuarias y de defensa de la isla de Tenerife. Fuente: Elaboración propia.

Tenerife es una de las dos islas capitalinas del archipiélago canario. Las densidades de tráfico marítimo y el número de rutas son dos cuestiones que pueden frenar el desarrollo eólico marino en la isla. En la Figura 82 se muestran las densidades y rutas de tráfico marítimo. En el norte de la isla es casi inexistente el tráfico de buques. Como ya se ha comentado previamente y como se puede observar en la Figura 80 el recurso eólico en dicha zona es escaso.

De la Figura 82 se aprecia también la gran influencia del desarrollo del turismo en la costa sur y sureste de la isla, con una gran densidad de tráfico en estas zonas, además de la ruta marítima que conecta Tenerife con La Gomera. En dicha figura también se puede observar la zona de exclusión de grandes buques que comparte territorio marino con la isla de La Gomera.

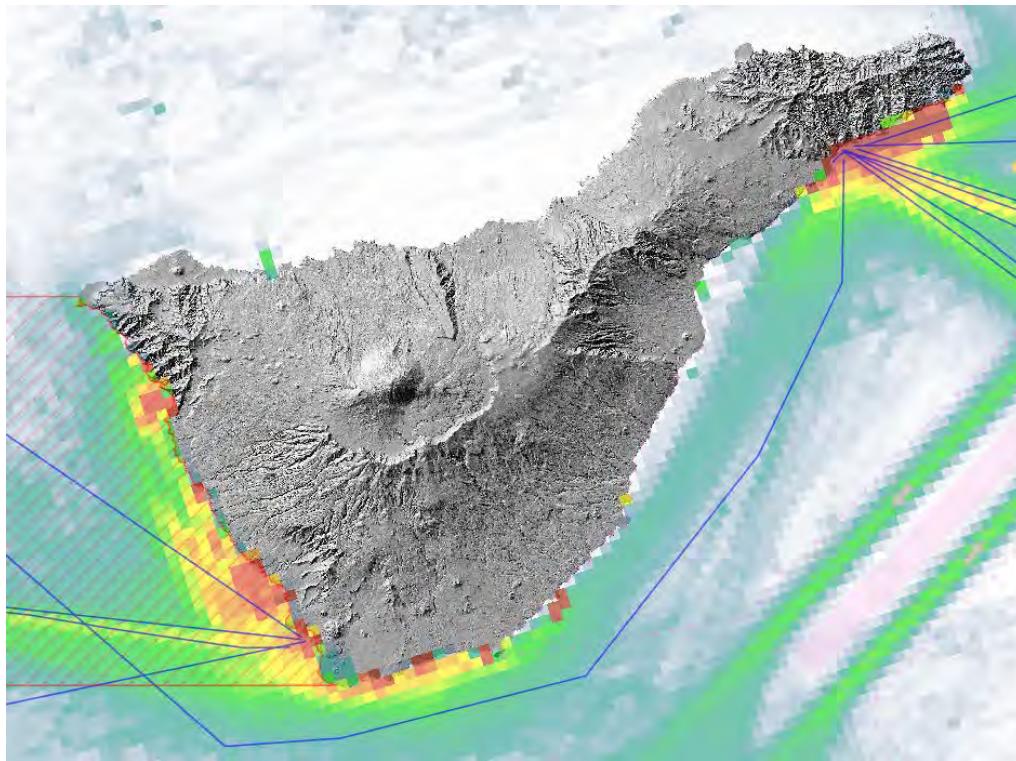


Figura 82: Densidad y rutas marítimas en la isla de Tenerife. Fuente: Elaboración propia.

Tenerife es la isla con mayor población de todo el archipiélago y la más extensa. Esto le confiere una ventaja estratégica al encontrarse más desarrollada en cuanto a infraestructuras eléctricas se refiere. En la Figura 83 se representan la ubicación de las subestaciones existentes (círculos azules). Se extienden por prácticamente todo el litoral de la isla, exceptuando el ENP de Anaga y el ENP de Teno. Estas cualidades de ser isla capitalina y la más poblada hace que las infraestructuras eléctricas y de telecomunicaciones se encuentren reforzadas, el número de cables submarinos que llegan o parten de la isla es de los mayores de todo el archipiélago.

El ser la isla más poblada hace que el número de emisarios sea elevado. Prácticamente todo el litoral chicharrero exceptuando los ENP de Anaga y Teno tiene emisarios para el vertido de aguas residuales tratadas al mar.

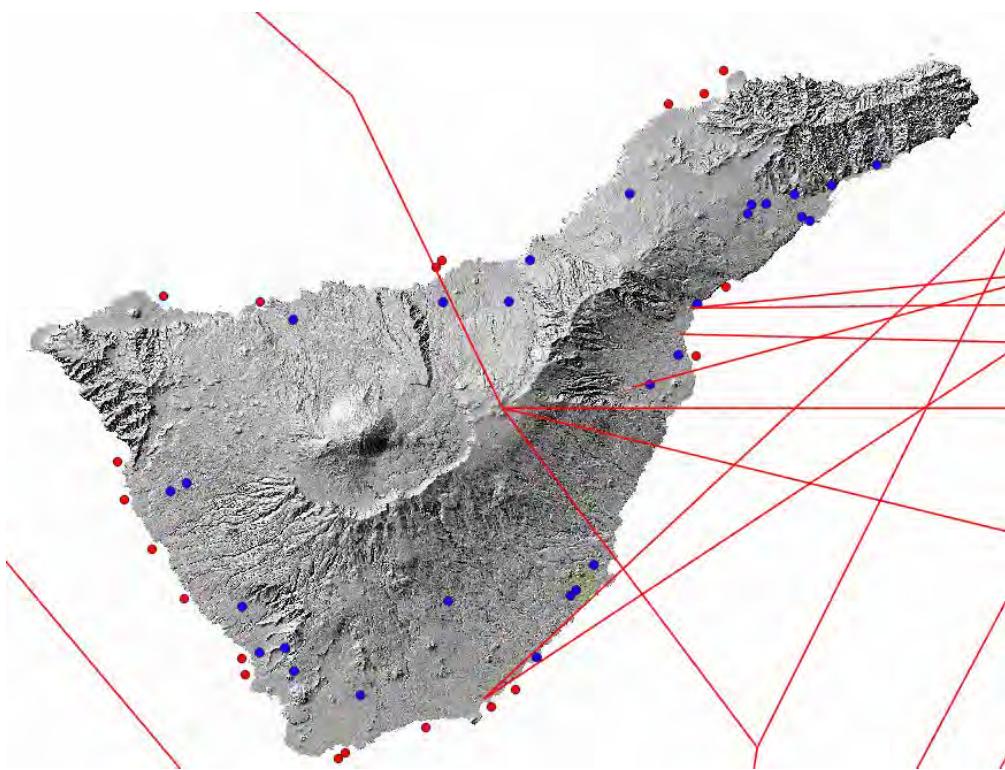


Figura 83: Emisarios (círculos rojos) y cables submarinos y subestaciones eléctricas (círculos azules) en la isla de Tenerife. Fuente: Elaboración propia.

### *3.5.3. Conclusiones para Tenerife*

#### *3.5.3.1. Eólica cimentada al lecho marino en Tenerife*

Debido a las restricciones ambientales, al impacto visual y a las limitaciones técnicas referentes a las subestructuras, no se proponen áreas para el desarrollo de la eólica marina con cimentaciones fijas en el litoral de la isla de Tenerife.

#### *3.5.3.2. Eólica flotante en Tenerife*

Debido a las limitaciones ambientales y técnicas referentes al tipo de anclaje, no se proponen áreas para el desarrollo de la eólica marina flotante en el litoral de la isla de Tenerife.

## *3.6. La Gomera*

#### *3.6.1. Restricciones ambientales en La Gomera*

La isla de La Gomera es similar a La Graciosa en cuanto a protecciones ambientales se refiere. Prácticamente todo su litoral se encuentra protegido por restricciones ambientales ZEPA. Además, La Gomera se enmarca dentro de la protección RB ya que cuenta con más de 300 especies de aves y más de 50 de ellas nidifican en la isla [33]. En la Figura 84 se puede apreciar que todo el litoral gomero se encuentra dentro de algún tipo de protección ambiental.

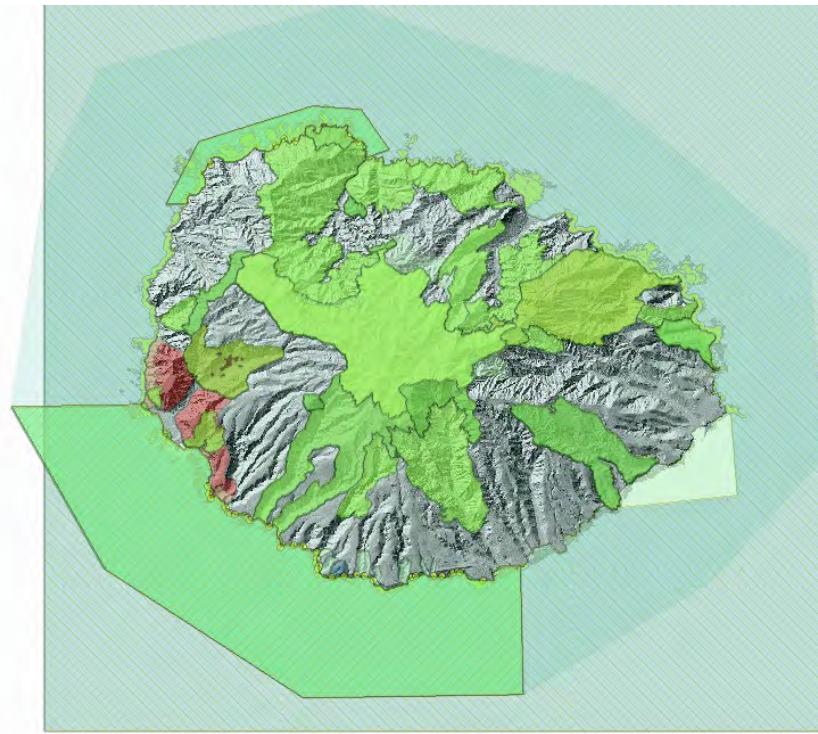


Figura 84: Zonificaciones ambientales en la isla de La Gomera. Fuente: Elaboración propia.

### *3.6.2. Limitaciones técnicas en La Gomera*

Las protecciones ambientales comentadas en el punto anterior, especialmente la de las aves, tienen sus repercusiones en aspectos técnicos. En la Figura 85 se puede apreciar que todo el litoral de la isla de La Gomera se encuentra dentro de la restricción de tránsito de grandes buques.

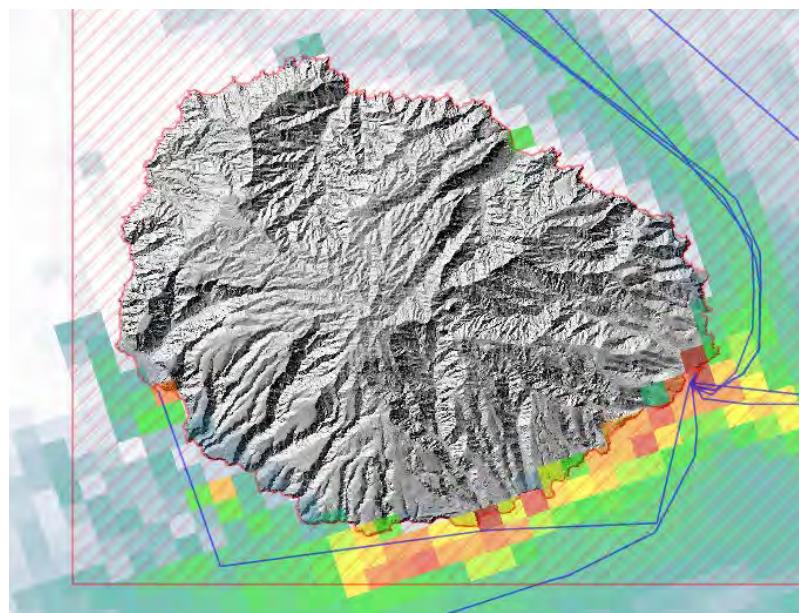


Figura 85: Densidad y rutas marítimas en la isla de La Gomera. Fuente: Elaboración propia.

La isla de La Gomera se aleja, en su cara norte, de la tendencia que marcan las islas occidentales en cuanto a grandes pendientes batimétricas se refiere. En la Figura 86 se representa, en gradiente de color y líneas la batimetría y la línea de 8 km.

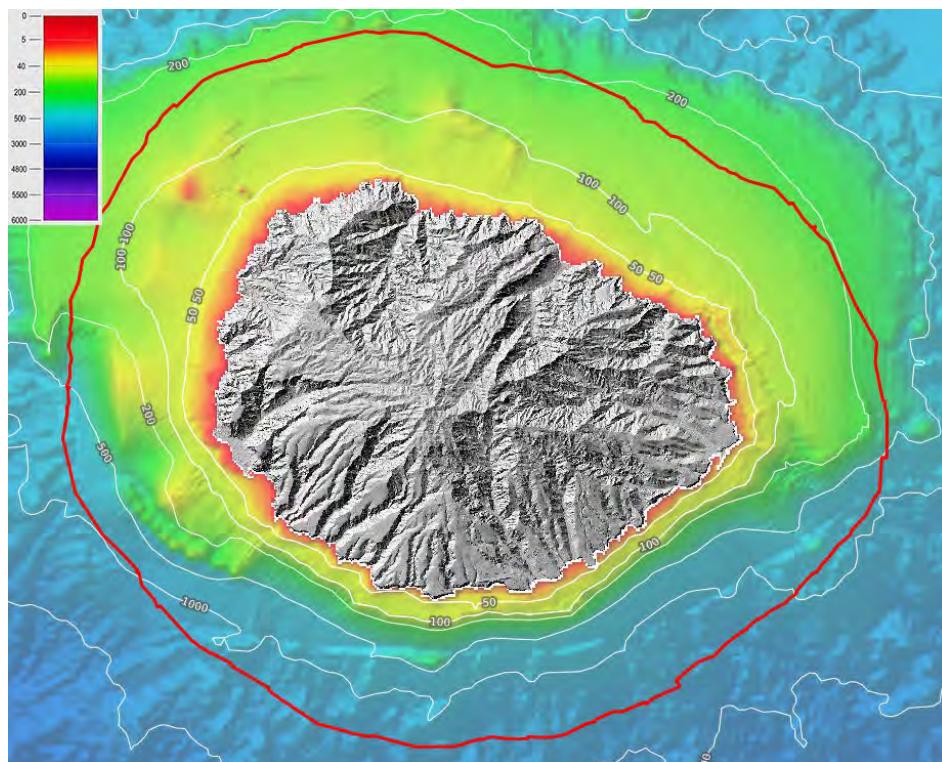


Figura 86: Batimetría y línea de 8 km en la isla de La Gomera. Fuente: Elaboración propia.

La pendiente batimétrica es abrupta a pocos kilómetros de la costa en las caras sur, este y oeste. En cambio, en la cara norte la pendiente batimétrica no es tan pronunciada. A pesar de ello, la elevada distancia al fondo marino deja sin opciones al desarrollo de la eólica off-shore cimentada al lecho marino, todo esto sin contar con las restricciones ambientales.

La Gomera es la tercera isla menos habitada, por detrás de El Hierro y La Graciosa. El número de infraestructuras eléctricas de alta potencia en la isla es pobre, teniendo una única subestación eléctrica. Actualmente existe un proyecto para la interconexión eléctrica con Tenerife [34]. Esto les supone una ventaja estratégica para las dos islas ya que no serían sistemas eléctricos aislados, sino que podrían compartir excedentes. La isla cuenta con un solo emisario submarino y con ningún cable submarino en un radio de 25 km desde su centro, tal y como se puede apreciar en la Figura 87.

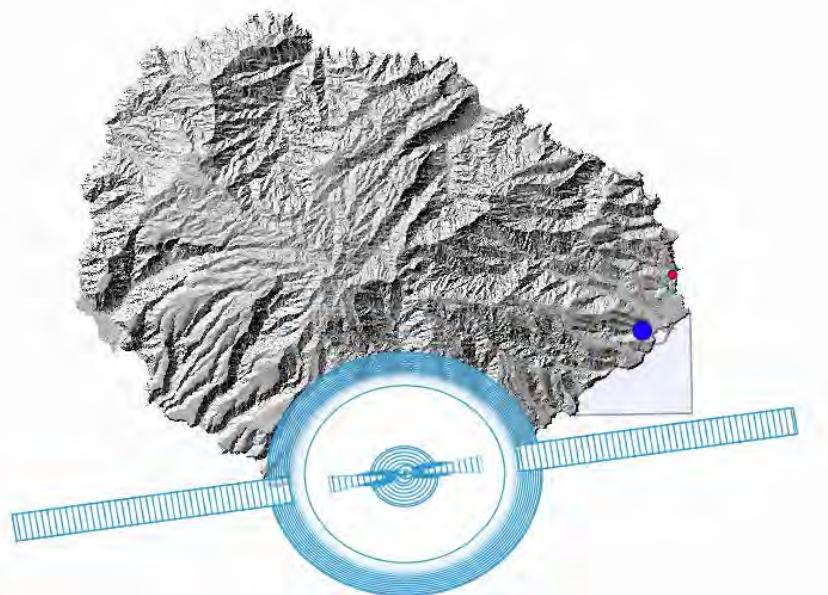


Figura 87: Servidumbres portuarias y aeroportuarias, subestaciones eléctricas (círculo azul) y emisarios submarinos (círculo rojo). Fuente: Elaboración propia.

La isla cuenta con potencial eólico en sus costas este y oeste. La densidad de tonos rojizos en la Figura 88 es alta en dichas costas.

Esta aptitud por parte del recurso eólico de la zona este se ve influenciado por las servidumbres aeroportuarias y portuarias que invade estas aguas (véase la Figura 87 y la Figura 88).

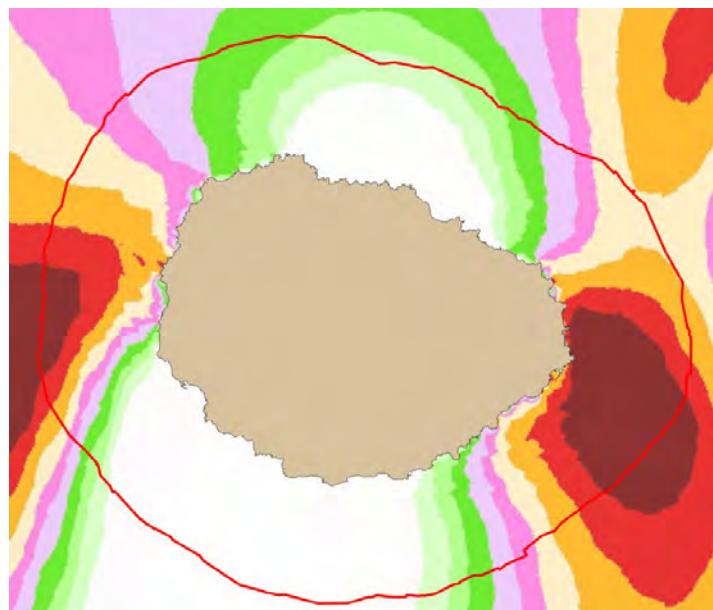


Figura 88: Recurso eólico y línea de 8 km en la isla de La Gomera. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, la distribución del tipo de suelo a lo largo de la isla se distribuye en dos grupos, roca, representados con tonos rojizos en la Figura 89, y sedimentos gruesos representados con los tonos naranja en la Figura 89.

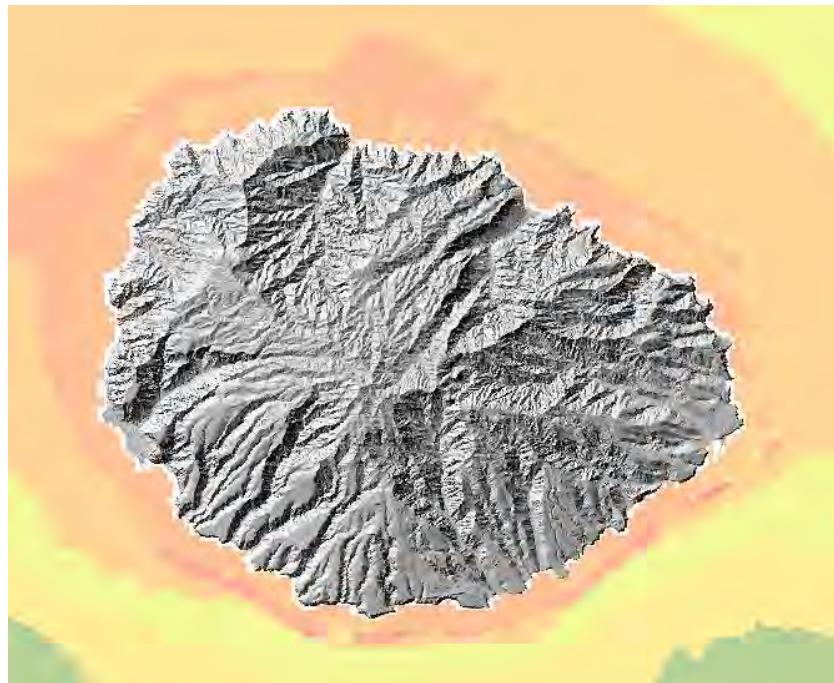


Figura 89 Caracterización del suelo de La Gomera. Fuente: Elaboración propia.

### *3.6.3. Conclusiones para La Gomera*

#### *3.6.3.1. Eólica cimentada al lecho marino en La Gomera*

Debido a las restricciones ambientales y técnicas relativas a las subestructuras de los aerogeneradores marinos, no se proponen áreas para el desarrollo de la eólica marina con cimentaciones fijas en el litoral de la isla de La Gomera.

#### *3.6.3.2. Eólica flotante en La Gomera*

Debido a las limitaciones ambientales y técnicas relativas a la escasa densidad de subestructuras y del desarrollo demográfico, no se proponen áreas para el desarrollo de la eólica marina flotante en el litoral de la isla de La Gomera.

## *3.7. La Palma*

#### *3.7.1. Restricciones ambientales en La Palma*

La isla de La Palma es una de las más jóvenes geográficamente hablando. La orografía abrupta en forma de riscos en el norte de la isla le confiere un panorama ideal para que las aves nidifiquen. Gran parte de las aves de las islas utilizan las aguas septentrionales como lugar de

descanso y reproducción [35]. Es por ello por lo que toda la zona norte se encuentra protegida y categorizada como zona ZEPA.

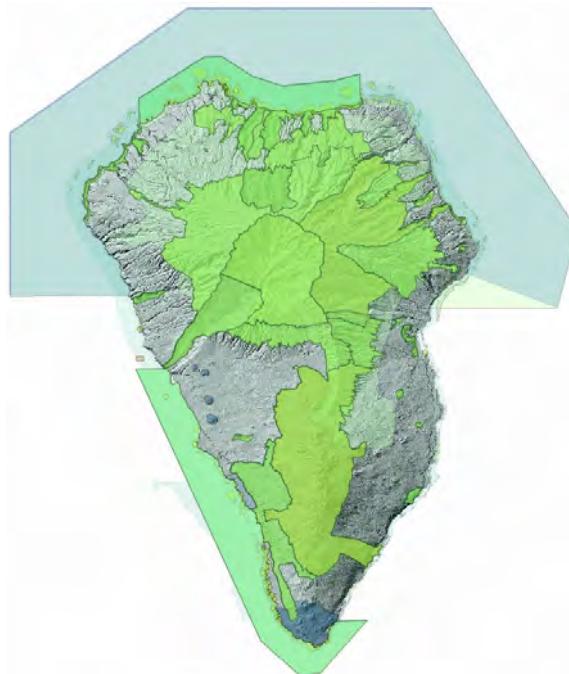


Figura 90: Zonificaciones ambientales en la isla de La Palma. Fuente: Elaboración propia.

### *3.7.2. Limitaciones técnicas en La Palma*

Para poder proteger la biodiversidad de las aves, y del conjunto de la flora y fauna, especialmente la marina, la isla de La Palma se engloba en su conjunto dentro de las restricciones para el paso de barcos de grandes dimensiones, tal y como se aprecia en la Figura 91. Al igual que sucede en La Gomera, el oeste de Gran Canaria y de Tenerife, solo pueden acceder buques que sean estrictamente necesarios.

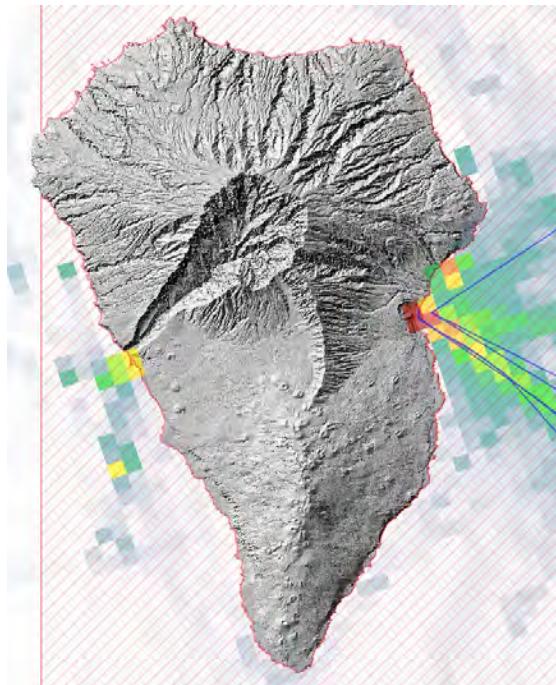


Figura 91: Densidad y rutas marítimas en la isla de La Palma. Fuente: Elaboración propia.

Esta restricción hace que las densidades de tráfico en las costas palmeras no sean tan elevadas como el resto de las islas. Así pues, la zona con mayor tránsito de barcos corresponde al puerto de la capital, Santa Cruz de La Palma, con rutas que conectan la isla con la península, La Gomera y Tenerife. El puerto de Tazacorte, ubicado al oeste de la isla, es el segundo punto de mayor densidad de barcos en la isla.

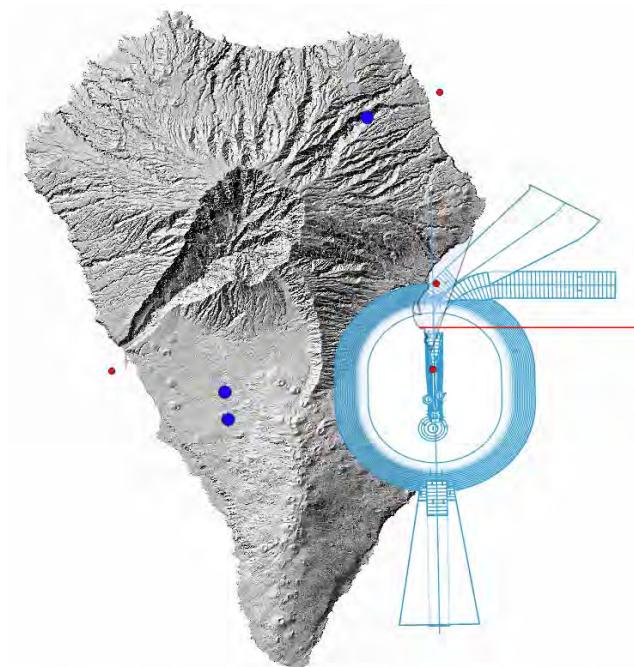


Figura 92: Servidumbres aeroportuarias y portuarias, subestaciones (círculos azules) y cables y emisarios submarinos (círculos y líneas rojas). Fuente: Elaboración propia.

El aeropuerto y el puerto comparten la zona geográfica de las limitaciones por sus servidumbres. Además, cercanas a la ubicación de estas áreas restringidas se encuentran dos emisarios y un cable submarino. En la Figura 92 se puede apreciar que la servidumbre aeroportuaria cubre casi por completo la costa este de la isla.

Como pasa con las islas no capitalinas, los tendidos eléctricos de alta tensión y el número de subestaciones son dos limitaciones técnicas a la hora del desarrollo de la eólica marina en la isla de La Palma. En la Figura 92 se puede apreciar la escasez de subestaciones eléctricas (círculos azules).

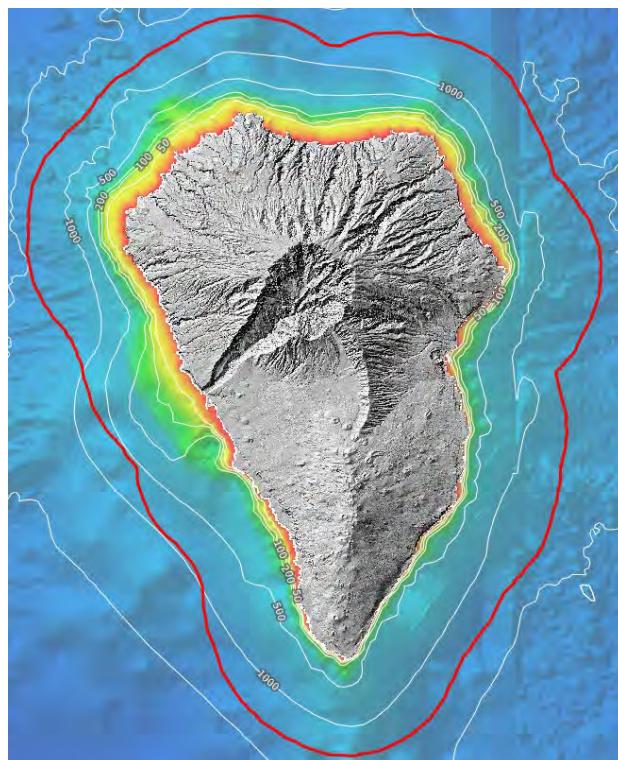


Figura 93: Batimetría en gradiente de color y línea de 8 km. Fuente: Elaboración propia.

El punto más limitante de la isla para el desarrollo de la eólica marina, tanto flotante como cimentada al lecho marino es la batimetría a 8 km de la costa. Prácticamente la totalidad de la isla se quedaría fuera de límite superior de los 1000 m impuesto para la eólica flotante. En la Figura 93 se puede apreciar que la línea de 1000 se encuentra dentro de la de 8 km (línea roja que sigue el contorno de la isla).

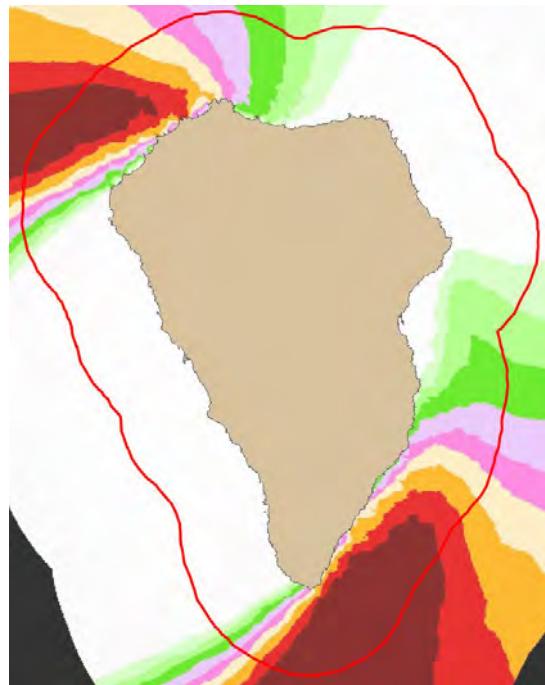


Figura 94: Recurso eólico a 80 m y línea de 8 km en la isla de La Palma. Fuente: Elaboración propia.

El recurso eólico a 80 m en La Palma tiene dos zonas potenciales, el sureste y al noroeste de la isla. Los tonos rojizos de la Figura 94 representan velocidades medias de viento en torno a 9,5 m/s a más de 80 m de altura. De lo que se ha comentado previamente, las zonas potenciales fuera de la línea de 8 km respecto de la costa quedan descartadas por el exceso de profundidad, superior al límite puesto de 1000 m (véase la Figura 93).



Figura 95: Caracterización del suelo de La Palma. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, la distribución de suelos en el litoral palmero se distribuye en sedimentos finos y arenas (tonos rojos – anaranjados de la Figura 95) y rocas (tonos amarillos de la Figura 95).

### *3.7.3. Conclusiones para La Palma*

#### *3.7.3.1. Eólica cimentada al lecho marino en La Palma*

Debido a las restricciones ambientales, al impacto visual y a las limitaciones técnicas relativas a la subestructura, no se proponen áreas para el desarrollo de la eólica marina con cimentaciones fijas en el litoral de la isla de La Palma.

#### *3.7.3.2. Eólica flotante en La Palma*

Debido a las limitaciones ambientales presente y a las limitaciones técnicas relativas a la tipología de anclaje, no se proponen áreas para el desarrollo de la eólica marina flotante en el litoral de la isla de La Palma.

### *3.8. El Hierro*

#### *3.8.1. Restricciones ambientales en El Hierro*

La isla de El Hierro es rica por la diversidad de especies vegetales y animales, viéndose influenciada por los microclimas que existen en la isla. Esta variedad de especies vegetales atrae a numerosas aves. La zona oeste de El Hierro, la denominada Mar de Las Calmas, es un enclave perfecto para el asentamiento de flora y fauna marina [36].

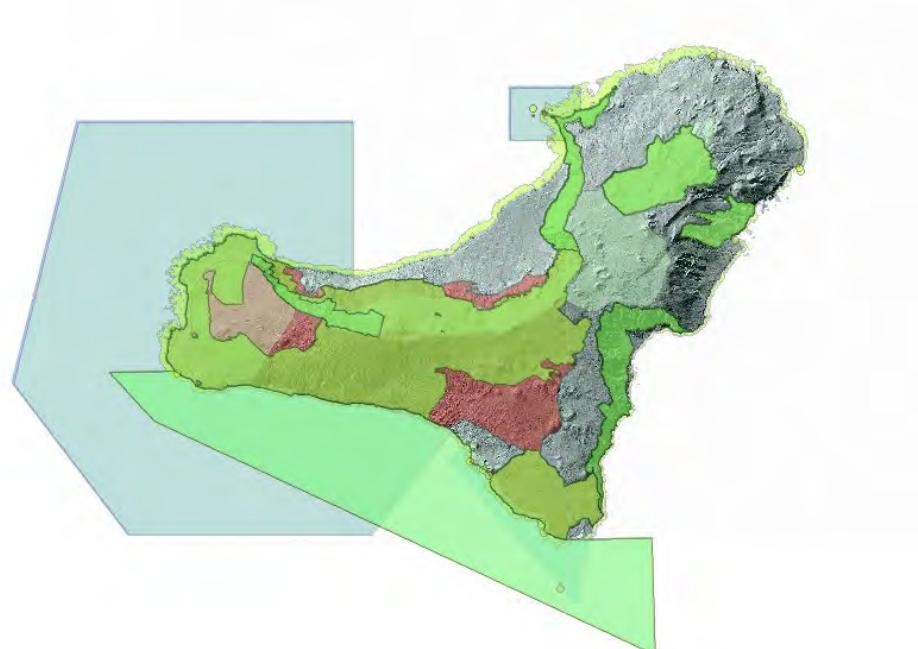


Figura 96: Zonificaciones ambientales en la isla de El Hierro. Fuente: Elaboración propia.

Por este motivo y para preservar todo el enclave endémico de la isla, gran parte de esta se encuentra protegida. Por lo tanto, el desarrollo de la eólica marina se ve muy afectado. En la Figura 96 se puede apreciar que la zona oeste se encuentra totalmente protegida.

### *3.8.2. Limitaciones técnicas en El Hierro*

Al igual que pasa en las islas de La Palma y La Gomera, El Hierro al ser un enclave de importancia para la protección de las aves dispone de mecanismos para mitigar los posibles efectos adversos que actividades humanas puedan realizar sobre estas especies. Es por ello por lo que la totalidad del espacio marino de El Hierro se encuentra dentro de la protección de tráfico marino de grandes barcos, tal y como se aprecia en el rallado rojo de la Figura 97.

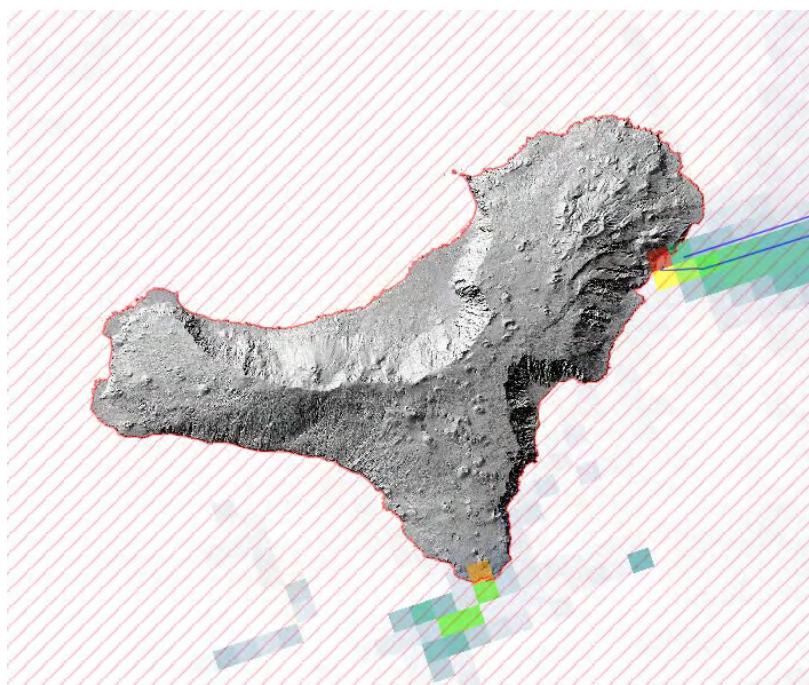


Figura 97: Rutas y densidad del transporte marítimo en la isla de El Hierro. Fuente: Elaboración propia.

El mayor volumen de tráfico marítimo se centra en los puertos de la Estaca, el que conecta El Hierro por vía marítima con La Gomera y Tenerife, y el de la Restinga. Este último tiene actividad pesquera y recreativa.

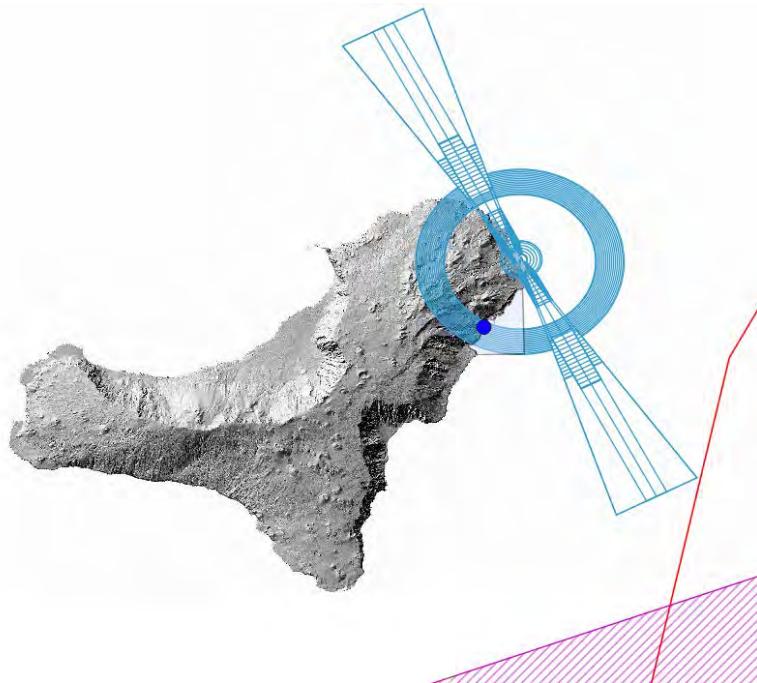


Figura 98: Servidumbres aeroportuarias, portuarias y de defensa, subestación eléctrica (circulo azul), cables (línea roja) y emisarios submarinos (circulo tojo) en El Hierro. Fuente: Elaboración propia.

El Hierro concentra las servidumbres aeroportuarias y portuarias en el noreste de su territorio. Además, a 6 km de su costa sur se encuentran las servidumbres para maniobras de defensa (rallado rosa en la Figura 98).

La debilidad del entrampado eléctrico de alta tensión y el escaso número de centrales de transformación y de subestaciones, solo existiendo una en las cercanías al puerto de la Estaca, hace que el posible desarrollo eólico en la isla deba ir acompañado de un refuerzo de infraestructuras eléctricas.

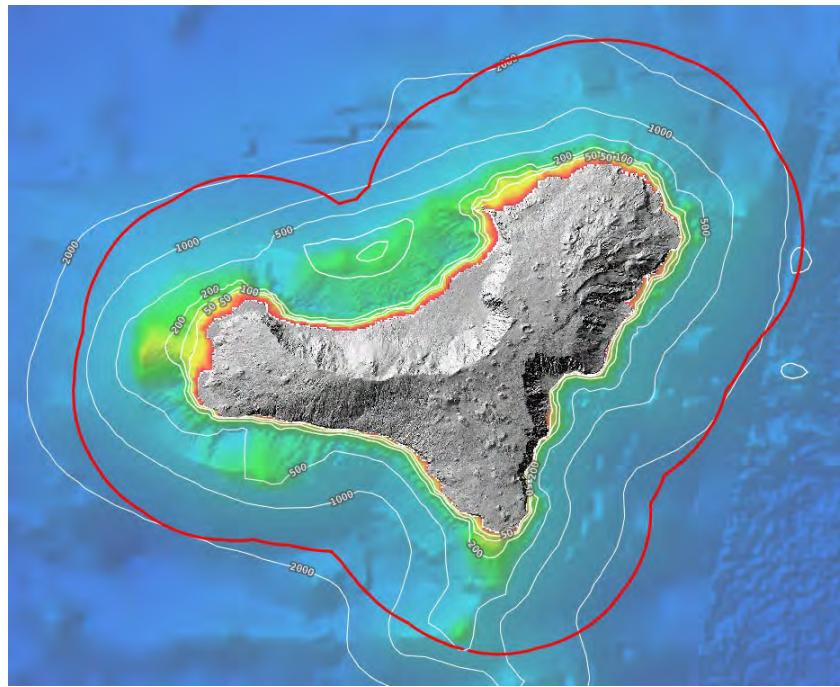


Figura 99: Batimetría en escala de color y la línea de 8 km respecto de la costa en la isla de El Hierro. Fuente: Elaboración propia.

El gran hándicap para el desarrollo eólico off-shore en la isla, tanto cimentada al lecho marino como flotante, es la batimetría y la limitación de 8 km respecto de la costa. En la Figura 99 se puede apreciar que la línea de 8 km rebasa el límite de la eólica flotante de 1000 m, llegando incluso en zonas a duplicar ese valor.



Figura 100: Recurso eólico a 80 m y línea de 8 km en la isla de El Hierro. Fuente: Elaboración propia.

Las mejores zonas, en cuanto a recurso eólico se refiere, de El Hierro se centran en el sur sureste y en el oeste de la isla. La intensidad rojiza de la Figura 100 le confiere velocidades medias a 80 m de altura en torno a 9,5 m/s o superiores. Como se ha comentado previamente, la batimetría de la isla hace que el desarrollo eólico en estas zonas, con la tecnología actual, sea imposible (véase la Figura 99).

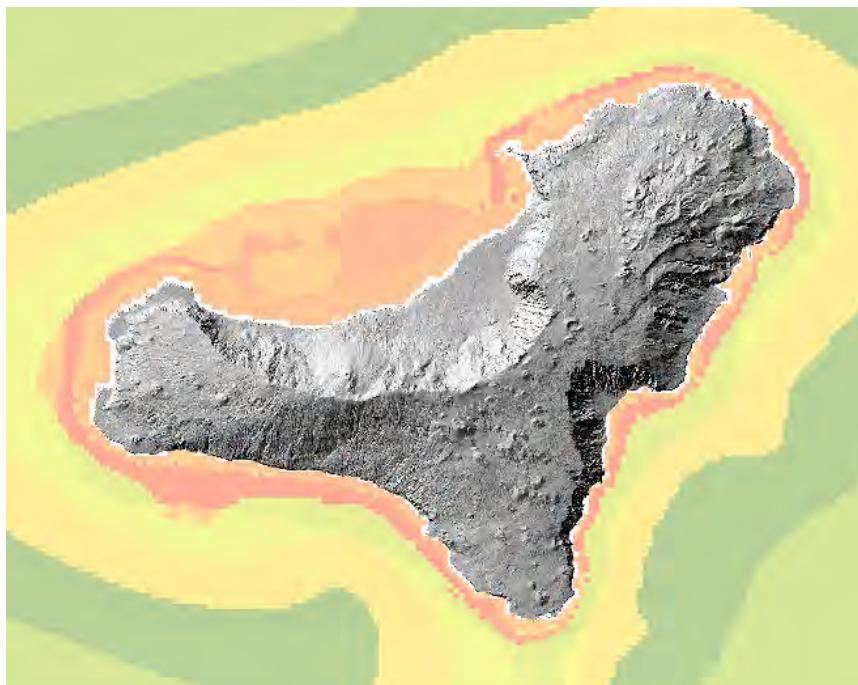


Figura 101: Caracterización del suelo de El Hierro. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, la tipología de suelos que hay en la isla se distribuye en suelos en base a arenas y lodos (tonos rojos y naranjas de la Figura 101) y rocas (tonos verdes y amarillos de la Figura 101).

### *3.8.1. Conclusiones para El Hierro*

#### *3.8.1.1. Eólica cimentada al lecho marino en El Hierro*

Debido a las restricciones ambientales, al impacto visual y a las limitaciones técnicas respecto a las subestructuras de los aerogeneradores marinos, no se proponen áreas para el desarrollo de la eólica marina con cimentaciones fijas en el litoral de la isla de El Hierro.

#### *3.8.1.2. Eólica flotante en El Hierro*

Debido a las limitaciones ambientales y técnicas relativas a la tipología de anclaje, no se proponen áreas para el desarrollo de la eólica marina flotante en el litoral de la isla de El Hierro.

## Bibliografía

- [1] Red Eléctrica de España, «El sistema eléctrico español. Sistema eléctrico 2021,» RED ELÉCTRICA, Madrid, 2022.
- [2] AB, Nord-Lock International, «LA ENERGÍA EÓLICA MARINA FLOTANTE AVANZA A GRAN VELOCIDAD,» [En línea]. Available: <https://www.nord-lock.com/es-es/insights/knowledge/2020/offshore-floating-wind-energy/>. [Último acceso: 2022].
- [3] Equinor ASA, «Floating wind,» Equinor, [En línea]. Available: <https://www.equinor.com/energy/floating-wind>. [Último acceso: 2022].
- [4] A. Durakovic, «Fixed Bottom Offshore Wind Farms 90 Metres Deep? Offshoretronic Says Yes,» *offshoreWIND.biz*, 29 noviembre 2021.
- [5] Instituto Tecnológico de Canarias S.A., «Estrategia de las energías renovables marinas de Canarias,» Las Palmas de Gran Canaria, 2022.
- [6] Gobierno de Canarias, «Estrategia de las energías renovables marinas de Canarias,» *El Español*, 2021 noviembre 2021.
- [7] E. Lobillo, «Seaplace, una apuesta decidida por la eólica marina flotante,» *CincoDías*, 4 agosto 2022.
- [8] Iberdrola, «EÓLICA MARINA FLOTANTE. La energía eólica marina flotante: un hito para impulsar las renovables gracias a la innovación,» [En línea]. Available: <https://www.iberdrola.com/innovacion/eolica-marina-flotante>. [Último acceso: 2022].
- [9] GRAFCAN, «Visor GRAFCAN,» Consejería de Transición Ecológica, Lucha contra el Cambio Climático y Planificación Territorial del Gobierno de Canarias, [En línea]. Available: <https://visor.grafcan.es/visorweb/>. [Último acceso: 2022].
- [10] Gobierno de España, «Visor Cartográfico Marino,» Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, [En línea]. Available: <https://sig.mapama.gob.es/marino/>. [Último acceso: 2022].
- [11] N. Dominguez y M. Zafra, «Un punto caliente bajo Canarias alimenta el volcán de La Palma y creará nuevas islas,» *El País*, 2 Octubre 2021.
- [12] C. Lavanya y N. Darga Kumar, «Foundation Types for Land and Offshore Sustainable Wind Energy Turbine Towers,» de *2nd International Conference on Design and Manufacturing Aspects for Sustainable Energy*, Hyderabad, 2020.
- [13] J. Jonkman, S. Butterfield, W. Musial, y G. Scott, «Definition of a 5-MW Reference Wind Turbine for Offshore System Development,» National Renewable Energy Laboratory, Colorado, 2009.

- [14] M. Borg, M. Mirzaei y H. Bredmose, «Qualification of innovative floating substructures for 10MW wind turbines and water depths greater than 50m,» DTU Risø Campus, Roskilde, 2015.
- [15] Evan Gaertner, Jennifer Rinker, et. al, «Definition of the IEA 15-Megawatt,» National Renewable Energy Laboratory, Colorado, 2020.
- [16] ENERGYDATA, «Atlas Eólico Mundial,» Energydata.info, 2022. [En línea]. Available: <https://globalwindatlas.info/es/>. [Último acceso: 2022].
- [17] Azorin-Molina, C., Menendez, M., McVicar, T.R. et al., «Wind speed variability over the Canary Islands, 1948–2014: focusing on trend differences at the land–ocean interface and below–above the trade-wind inversion layer.,» *Clim Dyn*, nº 50, p. 4061–4081, 2018.
- [18] Red Eléctrica de España, «EL SISTEMA ELÉCTRICO CANARIO,» Gráficas SABATER, San Cristóbal de la Laguna y Las Palmas de Gran Canaria, 2016.
- [19] Consejería de Educación, Universidades, Cultura y Deportes, «Red Canaria de Espacios Naturales Protegidos,» Gobierno de Canarias, 13 octubre 2015. [En línea]. Available: [https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/wiki/index.php?title=Red\\_Canaria\\_de\\_Espacios\\_Naturales\\_Protegidos](https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/wiki/index.php?title=Red_Canaria_de_Espacios_Naturales_Protegidos). [Último acceso: 2022].
- [20] Agencia Europea de Medio Ambiente, «Potencial de energía eólica terrestre y marina de Europa. Evaluación de las restricciones ambientales y económicas,» Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid, 2012.
- [21] Universidad de Newcastle, «Visual Assessment of Windfarms: Best Practice,» Universidad de Newcastle, Edimburgo, 2002.
- [22] J. Quesada, «Pesca rechaza el parque eólico marino de Equinor por sus «graves consecuencias» en la acuicultura,» *Canarias7*, 21 noviembre 2021.
- [23] Secretaría General de Energía y Secretaría General del Mar, «Estudio Estratégico Ambiental del litoral español para la instalación de parques eólicos marinos,» Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Madrid, 2009.
- [24] Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico, «PLANES DE ORDENACIÓN DEL ESPACIO MARÍTIMO, DEMARCACIÓN MARINA CANARIA,» Ministerio para la Transición Ecológica, Secretaría General Técnica, Centro de Publicaciones, Madrid, 2022.
- [25] NACLE, «Zona económica exclusiva de España con las reclamaciones más importantes,» 9 abril 2017. [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Zona\\_econ%C3%B3mica\\_exclusiva\\_de\\_Espa%C3%B1a#/media/Archivo:Zee\\_spain.png](https://es.wikipedia.org/wiki/Zona_econ%C3%B3mica_exclusiva_de_Espa%C3%B1a#/media/Archivo:Zee_spain.png). [Último acceso: 2022].
- [26] Comisión Europea, «Atlas Europeo del Mar,» [En línea]. Available: [https://ec.europa.eu/maritimeaffairs/atlas/maritime\\_atlas/mindmap\\_es.html](https://ec.europa.eu/maritimeaffairs/atlas/maritime_atlas/mindmap_es.html). [Último acceso: 2022].

- [27] Comisión Europea, «Documento de orientación sobre los proyectos de energía eólica y la legislación de la UE,» Bruselas, 2020.
- [28] Gobierno de España, «MEMORIA. ZONIFICACIÓN AMBIENTAL PARA LA IMPLANTACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES: EÓLICA Y FOTOVOLTAICA,» Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid, 2020.
- [29] A. Durakovic, «World's Deepest Fixed-Bottom Offshore Wind Farm Reaches Construction Milestone,» *offshoreWIND.biz*, 23 septiembre 2022.
- [30] Diario de Ferrol, «Salida de las primeras “jackets” de Navantia y Windar para St. Brieuc,» *Diario de Ferrol*, 14 junio 2022.
- [31] Lijun Zhang, Ye Li, Wenhao Xu, Zhiteng Gao, Long Fang, Rongfu Li, Boyin Ding, Bin Zhao, Jun Leng, Fenglan He, «Systematic analysis of performance and cost of two floating offshore wind,» *Applied Energy*, vol. 327, 2022.
- [32] E.I. Zountouridou, G.C. Kiokes, S. Chakalis, P.S. Georgilakis, N.D. Hatziyargyriou, «Offshore floating wind parks in the deep waters of Mediterranean Sea,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 51, pp. 433-448, 2015.
- [33] Gobierno de Canarias, «Avistamiento de aves en La Gomera,» PROMOTUR TURISMO CANARIAS SA, [En línea]. Available: <https://lagomera.travel/experiencias/avistamiento-de-aves-en-la-gomera/>. [Último acceso: 2022].
- [34] N. Chijeb, «La Gomera y Tenerife estarán “unidos por la luz” con un cable submarino de 42 kilómetros,» *Diario de Avisos*, 25 febrero 2022.
- [35] Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias, La Palma Agua, tierra, fuego y cielo, Puerto de la Cruz, Tenerife: Julio Afonso-Carrillo, 2018.
- [36] WWF, «OCÉANOS: PEDIMOS LA DECLARACIÓN DEL PRIMER PARQUE NACIONAL 100% MARINO EN EL MAR DE LAS CALMAS DE EL HIERRO.,» [En línea]. Available: [https://www.wwf.es/nuestro\\_trabajo/oceanos/areas\\_marinas\\_protegidas/el\\_hierro\\_el\\_primer\\_parque\\_nacional\\_100\\_marino/](https://www.wwf.es/nuestro_trabajo/oceanos/areas_marinas_protegidas/el_hierro_el_primer_parque_nacional_100_marino/). [Último acceso: 2022].

## Glosario

CE: Comisión Europea

DST: Dispositivo de Separación de Tráfico

ENP. Espacios naturales Protegidos

HIC: Hábitats de Interés Comunitario

IBA: Áreas Importantes para las Aves (Important Bird Area en sus siglas en inglés)

MAPA: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación

MITECO: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

MP: Área Marina Protegida

PN: Parque Nacional

POEM: Plan de Ordenación del Espacio Marítimo

R.D.: Real Decreto

RAMPE: Red de Áreas Marinas Protegidas de España

RB: Reserva de la Biosfera

RM: Reserva Marina

RN 2000: Red Natura 2000

ZEC: Zona de Especial Conservación

ZEE: Zona Económica Exclusiva

ZEPA: Zonas de Especial Conservación para las Aves



INSTITUTO UNIVERSITARIO  
**SIANI**  
INGENIERIA COMPUTACIONAL

Edificio Central del Parque Tecnológico  
Campus Universitario de Tafira  
35017 Las Palmas de Gran Canaria  
e-mail: info@siani.es · www.siani.es



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS  
DE GRAN CANARIA