



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

PROYECTO BÁSICO COMPARATIVO TÉCNICO-
ECONÓMICO ENTRE AEROGENERADORES
MÓVILES Y AEROGENERADORES VORTEX
PARA EL ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO
PARCIAL DE UNA POBLACIÓN RURAL

Autor: Jesús María Mas Juan

Director: José Luis Pinela Ocaña

Madrid

Junio 2024

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
“Proyecto básico comparativo técnico-económico entre aerogeneradores móviles y
aerogeneradores Vortex para el abastecimiento energético parcial de una población
rural” en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2023/24 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.
El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Jesús María Mas Juan

Fecha: 15/06/2024

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: José Luis Pinela Ocaña

Fecha: 09/ 07/ 2024



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

PROYECTO BÁSICO COMPARATIVO TÉCNICO- ECONÓMICO ENTRE AEROGENERADORES MÓVILES Y AEROGENERADORES VORTEX PARA EL ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO PARCIAL DE UNA POBLACIÓN RURAL

Autor: Jesús María Mas Juan

Director: José Luis Pinela Ocaña

Madrid

Junio 2024

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia, el pilar fundamental de mi vida. Por ellos he llegado hasta aquí y siempre voy a agradecerles todos los esfuerzos y sacrificios que hicieron en su vida para que yo tuviera las oportunidades que ellos nunca tuvieron.

En segundo lugar, a mi tutor José Luis Pinela por confiar en mí para realizar este proyecto y todos los consejos que me han ayudado a completarlo.

Finalmente, a mis amigos, que son las personas que me han estado acompañando durante estos dos años tan maravillosos en Madrid.

Gracias.

PROYECTO BÁSICO COMPARATIVO TÉCNICO-ECONÓMICO ENTRE AEROGENERADORES MÓVILES Y AEROGENERADORES VORTEX PARA EL ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO PARCIAL DE UNA POBLACIÓN RURAL

Autor: Mas Juan, Jesús María.

Director: Pinela Ocaña, José Luis.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia de Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

El TFM consistirá en el diseño básico de un parque eólico con aerogeneradores móviles, y otro parque eólico con aerogeneradores Vortex. Se comparará el posible suministro energético parcial de cada parque a un núcleo rural que elegirá el alumno. A partir de ahí, se hará una comparativa entre los dos tipos de tecnología, rendimiento, producción energética, y viabilidad económica para abastecimiento de la población elegida. Se redactará también un estudio de impacto medioambiental en la zona de implantación. El estudio se realizará a partir del “estado del arte” actual de las dos tecnologías mencionadas.

Palabras Clave: Vortex, autoconsumo, PPA, viabilidad.

BASIC TECHNICAL-ECONOMIC COMPARATIVE PROJECT BETWEEN MOBILE WIND TURBINES AND VORTEX WIND TURBINES FOR THE PARTIAL ENERGY SUPPLY OF A RURAL POPULATION

Author: Mas Juan, Jesús María.

Supervisor: Pinela Ocaña, José Luis.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia de Comillas

ABSTRACT

This project will consist of the basic design of a wind farm with mobile wind turbines and another wind farm with Vortex wind turbines. The possible partial energy supply of each wind farm to a rural area of the student's choice will be compared. From there, a comparison will be made between the two types of technology, performance, energy production, and economic viability for supplying the chosen population. An environmental impact study will also be carried out in the area of implementation. The study will be based on the current "state of the art" of the two technologies mentioned

Keywords: Vortex, self-consumption, PPA, feasibility.

Índice

1.	MOTIVACIÓN DEL PROYECTO	20
2.	ESTADO DE LA CUESTIÓN	22
2.1.	POTENCIAL DEL RECURSO EÓLICO	23
3.	OBJETIVOS DEL PROYECTO	25
4.	ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS).....	26
5.	SELECCIÓN DE LA LOCALIDAD	27
5.1.	RECURSO SOLAR	27
5.2.	RECURSO EÓLICO	28
5.3.	PRECEDENTES Y RECHAZO DE LA COMUNIDAD.....	29
6.	ESTUDIO DE LA COMARCA	30
6.1.	COMARCA OSCOS-EO.....	30
6.2.	POBLACIÓN	31
6.3.	TIPO DE VIVIENDA.....	32
7.	ESTUDIO DE LA INSTALACIÓN EÓLICA CONVENCIONAL.....	33
7.1.	¿QUÉ ES UN PPA?	33
7.1.1.	Física on-site.....	34
7.1.2.	Física off-site.....	34
7.1.3.	Virtual.....	35
7.2.	ESTUDIO DE LA UBICACIÓN	37
7.2.1.	Selección de la ubicación	37
7.2.2.	Recurso eólico	39
7.3.	SELECCIÓN DEL AEROGENERADOR.....	41
7.3.1.	Consumo mensual en un hogar	42
7.3.2.	Comprobación de abastecimiento	43
7.4.	PRODUCCIÓN ANUAL.....	45
7.5.	CAPEX.....	47
7.6.	OPEX.....	48
7.7.	WACC	49
7.7.1.	SPV	49
7.7.2.	Estructura de capital y costes de financiación	50
8.	AEROGENERADORES VORTEX	53
8.1.	ESTRUCTURA Y MATERIALES.....	54
8.2.	CONVERSIÓN DE ENERGÍA.....	55

8.2.1.	Resonancia.....	55
8.2.2.	Sintonizado	58
8.2.3.	Alternador	61
8.3.	COMPARATIVA CON AEROGENERADORES CONVENCIONALES	62
8.3.1.	Componentes	62
8.3.2.	Sistemas de orientación	63
8.3.3.	Vida útil	63
8.3.4.	Capacidad de generación	63
9.	ESTUDIO INSTALACIÓN VORTEX	64
9.1.	SELECCIÓN DE LA UBICACIÓN	64
9.2.	ESTUDIO DEL RECURSO EÓLICO	67
9.3.	SELECCIÓN DEL NÚMERO DE DISPOSITIVOS.....	69
9.4.	PRODUCCIÓN ANUAL.....	74
9.5.	Coste de la instalación y su mantenimiento	75
10.	VIABILIDAD ECONÓMICA	76
10.1.	EVOLUCIÓN DEL PRECIO DE LA ENERGÍA.....	78
10.1.1.	Escenario “pesimista”	80
10.1.2.	Escenario “optimista”	81
10.2.	VIABILIDAD ECONÓMICA DE LA INSTALACIÓN EÓLICA.....	82
10.2.1.	Estimaciones	82
10.2.2.	Viabilidad del escenario “pesimista”	84
10.2.3.	Viabilidad del escenario “optimista”	87
10.2.4.	Ahorro previsto en cada vivienda de la comarca	90
10.2.5.	LCOE aerogenerador eólico	92
10.3.	VIABILIDAD ECONÓMICA DE LA INSTALACIÓN VORTEX.....	93
10.3.1.	Estimaciones	93
10.3.2.	Viabilidad del escenario “pesimista”	95
10.3.3.	Viabilidad del escenario “optimista”	98
10.3.4.	LCOE aerogenerador Vortex	101
11.	CONCLUSIONES	102
12.	BIBLIOGRAFÍA.....	104
	ANEXO I - ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL.....	109

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Estructura de generación de energía eléctrica de España en 2022. Fuente: Renewable Energy Magazine	20
Ilustración 2. Potencia instalada de autoconsumo fotovoltaico en 2022. Fuente: Endesa.....	22
Ilustración 3. Recurso solar en España en kWh/m2. Fuente: Solargis	23
Ilustración 4. Potencia contratada mediante PPA en Europa. Fuente: Iberdrola	24
Ilustración 5. HSP y la energía en kWh/año por m2 en España. Fuente:	28
Ilustración 6. Mapa del recurso eólico del Norte de España. Fuente: Global Wind Atlas.....	28
Ilustración 7. Comisión de Xente de Oscos-Eo en protesta en la sierra de Bobia. Fuente: El Occidental.....	29
Ilustración 8. Distribución de los concejos de la comarca Oscos-Eo. Fuente: Ceder Ocos-Eo ...	30
Ilustración 9. Evolución de la población en la comarca Oscos-Eo. Fuente: CEDER Oscos-Eo.....	31
Ilustración 10. Campana de la distribución poblacional de la comarca Oscos-Eo. Fuente: CEDER Oscos-Eo	32
Ilustración 11. PPA físico on-site. Fuente: TotalEnergies	34
Ilustración 12. PPA físico off-site. Fuente: TotalEnergies.....	34
Ilustración 13. PPA virtual. Fuente: TotalEnergies	35
Ilustración 14. Reparto del territorio español según la distribuidora de energía. Fuente: Lucera	36
Ilustración 15. Mapa aéreo de la sierra de Pumarín. Fuente: Google Maps.....	37
Ilustración 16. Catastro del municipio de Villanueva de Oscos. Fuente: Catastro	38
Ilustración 17. Selección de la ubicación del aerogenerador. Fuente: Global Wind Atlas	39
Ilustración 18. Variabilidad mensual de la velocidad media de la ubicación del aerogenerador. Fuente: Global Wind Atlas.....	39
Ilustración 19. Rosa de frecuencias de la ubicación del aerogenerador. Fuente: Global Wind Atlas	40
Ilustración 20. Consumo mensual en un hogar medio español en kWh. Fuente: REE.....	42
Ilustración 21. Curva de potencia del aerogenerador SG 2.1-114. Fuente: Siemens.....	44
Ilustración 22. Rango de costes de inversión en un proyecto eólico. Fuente: IDAE.....	47
Ilustración 23. Porcentaje de financiación en el modelo de Project Finance. Fuente: Project Finance	50
Ilustración 24. Estimación del IPC en España. Fuente: Bankinter	51
Ilustración 25. Logo de la compañía Vortex Bladeless. Fuente: Vortex Bladeless.....	53
Ilustración 26. Diseño y partes del aerogenerador Vortex. Fuente: Vortex Bladeless	54
Ilustración 27. Fenómeno de VIV. Fuente: Vortex Bladeless	55
Ilustración 28. Ley de Hellman. Fuente: Fundamentos Aerodinámicos.....	56

Ilustración 29. Diferencia de diámetro al aumentar la altura del aerogenerador Vortex. Fuente: Vortex Bladeless	57
Ilustración 30. Esquema de un oscilador armónico amortiguado sin sistema de sintonizado. Fuente: Vortex Bladeless	58
Ilustración 31. Esquema de un oscilador armónico amortiguado con sistema de sintonizado. Fuente: Vortex Bladeless	59
Ilustración 32. Imán permanente con polarización axial. Fuente: Vortex Bladeless	59
Ilustración 33. Lock-in del aerogenerador con y sin sintonizado. Fuente: Vortex Bladeless	60
Ilustración 34. Componentes y estructura del alternador del aerogenerador Vortex. Fuente: Vortex Bladeless	61
Ilustración 35. Tipos de aerogeneradores en la minieólica. Fuente: Vortex Bladeless	62
Ilustración 36. Fachada de la vivienda familiar. Fuente: Google Maps	64
Ilustración 37. Catastro de la vivienda seleccionada para la instalación de los aerogeneradores Vortex. Fuente: Catastro.....	65
Ilustración 38. Parte trasera de la vivienda. Fuente: Google Maps.....	66
Ilustración 39. Selección de la ubicación de la instalación de los aerogeneradores Vortex. Fuente: Global Wind Atlas.....	67
Ilustración 40. Rosa de frecuencias de la ubicación seleccionada para la instalación de los aerogeneradores Vortex. Fuente: Global Wind Atlas.....	67
Ilustración 41. Variabilidad mensual de la velocidad media en la ubicación seleccionada para la instalación de los aerogeneradores Vortex. Fuente: Global Wind Atlas	68
Ilustración 42. Consumo eléctrico por horas diario en un hogar medio en España en 2019 y 2020. Fuente: OCU	69
Ilustración 43. Relación entre velocidad del viento y producción del aerogenerador Vortex. Fuente: Propia	72
Ilustración 44. Evolución de la luz en España. Fuente: Tarifaluzhora	78
Ilustración 45. Programación del cierre nuclear en España. Fuente: Telecinco	79
Ilustración 46. Predicción del precio del OMIE del escenario "pesimista". Fuente: Propia	80
Ilustración 47. Predicción del precio del OMIE del escenario "optimista". Fuente: Propia	81
Ilustración 48. Estudio de sensibilidad del proyecto eólico del escenario "pesimista". Fuente: Propia	86
Ilustración 49. Estudio de sensibilidad del proyecto eólico del escenario "optimista". Fuente: Propia	89
Ilustración 50. Estudio de sensibilidad del proyecto de autoconsumo de aerogeneradores Vortex del escenario "pesimista". Fuente: Propia.....	97
Ilustración 51. Estudio de sensibilidad del proyecto de autoconsumo de aerogeneradores Vortex del escenario "optimista". Fuente: Propia.....	100
Ilustración 52. Delimitación del grupo de acción local Oscos-Eo. Fuente: CEDER	110
Ilustración 53. Plano e información catastral de la ubicación de la instalación del aerogenerador. Fuente. Catastro	111

Ilustración 54. Rosa de frecuencias y velocidades de la sierra de Pumarín. Fuente: Global Wind Atlas.....	114
Ilustración 55. Curva de potencia y altura de torre del aerogenerador SG2.1-114. Fuente: Siemens Gamesa	114
Ilustración 56. Variación mensual de la velocidad del viento en la sierra de Pumarín. Fuente: Global Wind Atlas.....	115
Ilustración 57. Variación horaria de la velocidad del viento en la sierra de Pumarín. Fuente: Global Wind Atlas	115
Ilustración 58. Tipo de suelo de la sierra de Pumarín. Fuente: ArcGIS	116
Ilustración 59. Calidad actual del aire en Villanueva de Oscos. Fuente: AccuWeather	117
Ilustración 60. Parámetros de la calidad de aire en Villanueva de Oscos y su comparativa con la ciudad de Gijón. Fuente: AccuWeather	117
Ilustración 61. Temperaturas medias y precipitaciones en Villanueva de Oscos. Fuente: meteoblu	118
Ilustración 62. Distribución de la población por municipio en la comarca de Oscos-Eo en 2021. Fuente: CEDER.....	120
Ilustración 63. Evolución de la población del 2000-2021. Fuente: CEDER.....	120
Ilustración 64. Campana demográfica de la comarca Oscos-Eo. Fuente: CEDER.....	120
Ilustración 65. Distribución del empleo por sectores en la comarca Oscos-Eo. Fuente: CEDER.....	121
Ilustración 66. Distribución del empleo del sector primario por ramas en la comarca Oscos-Eo. Fuente: CEDER.....	121

Índice de Tablas

Tabla 1. Precio medio de la electricidad en el mercado mayorista (OMIE). Fuente: OCU	21
Tabla 2. Habitantes por población de las localidades de la comarca Oscos-Eo. Fuente: CEDER Oscos-Eo	31
Tabla 3. Consumo medio diario por Hogar en España según zona climática. Fuente: IDAE	32
Tabla 4. Variabilidad y velocidad media mensual de la ubicación del aerogenerador. Fuente: Propia	40
Tabla 5. Distribución de la población de las localidades pertenecientes al acuerdo PPA. Fuente: Propia	41
Tabla 6. Evolución del consumo en porcentaje de un hogar medio español. Fuente: Propia.....	42
Tabla 7. Extrapolación del consumo medio a un hogar en un clima Atlántico. Fuente: Propia ..	43
Tabla 8. Cálculo de la producción del aerogenerador SG 2.1-114. Fuente: Propia	46
Tabla 9. Cálculo de excedentes del aerogenerador SG 2.1-114. Fuente: Propia.....	46
Tabla 10. Resumen de los costes de inversión en el proyecto eólico. Fuente: Propia	47
Tabla 11. Resumen de los costes anuales de mantenimiento y operaciones del proyecto eólico. Fuente: Propia	48
Tabla 12. Resumen de los parámetros del cálculo del retorno esperado por los accionistas. Fuente: Propia	52
Tabla 13. Resumen de los parámetros para el cálculo del wacc. Fuente. Propia	52
Tabla 14. Potencia de cada tipo de aerogenerador de la minieólica respecto a la velocidad del viento. Fuente: Propia	63
Tabla 15. Variación y velocidad media del viento en la ubicación seleccionada para la instalación de los aerogeneradores Vortex. Fuente: Propia.....	68
Tabla 16. Consumo eléctrico por horas diario en 2019. Fuente: Propia	70
Tabla 17. Consumo diario de la vivienda unifamiliar. Fuente: Propia	71
Tabla 18. Resumen del consumo a compensar y número de Vortex necesarios para cada hipótesis. Fuente: Propia.....	72
Tabla 19. Cálculo de la producción mensual de la instalación de aerogeneradores Vortex. Fuente: Propia	74
Tabla 20. Desglose de los costes de instalación y operación y mantenimiento de un aerogenerador Vortex. Fuente: Propia.....	75
Tabla 21. Resumen de la producción, consumo y exceso del proyecto eólico. Fuente: Propia ..	83
Tabla 22. Cálculo del ingreso anual del año 2034 en el proyecto eólico del escenario "pesimista". Fuente. Propia	84
Tabla 23. Flujo de caja del proyecto eólico del escenario "pesimista". Fuente: Propia	85
Tabla 24. Estudio de sensibilidad del proyecto eólico del escenario "pesimista". Fuente: Propia	86

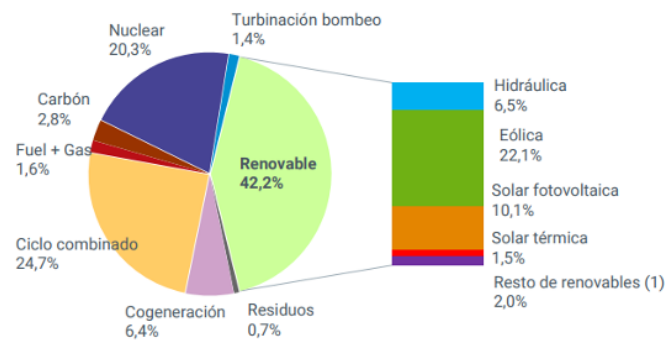
Tabla 25. Cálculo del ingreso anual del año 2034 en el proyecto eólico del escenario "optimista". Fuente: Propia	87
Tabla 26. Flujo de caja del proyecto eólico del escenario "optimista". Fuente: Propia.....	88
Tabla 27. Estudio de sensibilidad del proyecto eólico del escenario "optimista". Fuente: Propia	89
Tabla 28. Resumen de la producción, consumo del proyecto de autoconsumo de la instalación Vortex. Fuente: Propia.....	94
Tabla 29. Cálculo del ahorro anual del año 2034 en el proyecto de autoconsumo de aerogeneradores Vortex del escenario "pesimista". Fuente: Propia.....	95
Tabla 30. Flujo de caja del proyecto de autoconsumo de aerogeneradores Vortex del escenario "pesimista". Fuente: Propia	96
Tabla 31. Estudio de sensibilidad del proyecto de autoconsumo de aerogeneradores Vortex del escenario "pesimista". Fuente: Propia	97
Tabla 32. Cálculo del ahorro anual del año 2034 en el proyecto de autoconsumo de aerogeneradores Vortex del escenario "optimista". Fuente: Propia	98
Tabla 33. Flujo de caja del proyecto de autoconsumo de aerogeneradores Vortex del escenario "optimista". Fuente: Propia	99
Tabla 34. Estudio de sensibilidad del proyecto de autoconsumo de aerogeneradores Vortex del escenario "optimista". Fuente: Propia.....	100

1. MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

Nuestro mundo es dependiente de la energía eléctrica, lo que genera una creciente inquietud por el precio de la factura de la luz. Es evidente que en los últimos años, la población ha sido testigo del aumento progresivo y considerable en el coste de la electricidad, generado un impacto significativo en las empresas y en los hogares disminuyendo su poder adquisitivo. Es esencial conocer las principales razones que han ido provocando un aumento del precio de la energía eléctrica: [1]

- **Factores geopolíticos**

Las decisiones y la situación política del panorama mundial condiciona el precio y/o el suministro de diferentes recursos esenciales en la producción de energía eléctrica. El conflicto entre Rusia y Ucrania ha provocado un aumento del precio del gas natural debido a que este era utilizado como herramienta de presión ante el conflicto. Este conflicto ha supuesto un aumento de los precios de la factura de la luz en los países que tengan una dependencia energética de este recurso, como lo es España. En la Ilustración 1 se observa el mix energético español en 2022, donde se observa la dependencia energética del gas natural en la producción de energía mediante ciclo combinado. [2]



(1) Incluye biogás, biomasa, geotérmica, hidráulica marina, hidroeléctrica y residuos renovables.

Ilustración 1. Estructura de generación de energía eléctrica de España en 2022. Fuente: Renewable Energy Magazine

No solamente repercute la geopolítica actual al comercio del gas natural, los combustibles fósiles como el carbón, el gas y el petróleo han sido testigo de las restricciones gubernamentales y conflictos actuales provocando el aumento de los precios de estas materias primas (incrementando de manera directa o indirecta el precio de la factura de la luz).

- **Aumento del precio de las emisiones de CO2**

La Unión Europea ha instaurado durante los últimos años medidas económicas con la finalidad de abordar los problemas ocasionados por el cambio climático y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero con el objetivo de alcanzar el objetivo de neutralidad climática en la UE de aquí a 2050, recogido en el paquete de iniciativas políticas (Green Deal) cuyo objetivo es situar a la UE en el camino hacia una transición ecológica. [3]

Una de las medidas establecidas es imponer un coste por emisión de gases de efecto invernadero afectando a las empresas generadoras de energía mediante carbón o gas natural, provocando un gasto adicional en el coste de producción de energía. Por tanto, repercutiendo en un aumento del precio de la factura de la luz al consumidor.

- **Climatología**

La variación de las temperaturas en España en los últimos años ha seguido una tendencia en aumento, provocado por el incremento del calentamiento global. Esta situación ha desencadenado temperaturas extremas y con mayor prolongación causando un aumento de la demanda energética en verano e invierno, aumentando el precio de la factura de la luz.

En la Tabla 1 se ha plasmado la evolución del precio medio de la electricidad en el mercado mayorista (OMIE) en España para observar la considerable variación de la factura. En el año 2023 se observa una disminución respecto al año anterior del precio del mercado mayorista, pero esta variación se debe “coger con pinzas” debido a que estos precios han estado sujetos a medidas contra la crisis energética establecidas por el gobierno español que finalizaron en diciembre de 2023. [4]

Tabla 1. Precio medio de la electricidad en el mercado mayorista (OMIE). Fuente: OCU

Año	Precio (€/MWh)
2023	87.1
2022	167,59
2021	111,85
2020	33,96
2019	47,68
2018	57,29
2017	52,24
2016	39,67
2015	50,32
2014	42,13

Los consumidores españoles frente a la incertidumbre en el precio de su factura de la luz están completando diferentes opciones energéticas para evitar la dependencia energética condicionada por factores externos. En los últimos años, los consumidores se están decantando cada vez más por ser autosuficientes mediante instalaciones de autoconsumo en sus viviendas (individuales o colectivas) o empresas. Esta iniciativa contribuye a la transición hacia un mix energético más sostenible y descentralizada, donde la generación de energía está más repartida y se aprovecha los recursos renovables locales.[5]

Por otra parte, existe una solución que está cobrando importancia. La realización de un contrato bilateral entre un desarrollador renovable y un consumidor (con unos consumos considerables como podría ser una empresa o una comunidad de vecinos) para realizar un acuerdo de compra-venta de energía limpia durante un largo período de tiempo a un precio prefijado. Estas dos oportunidades para evitar el consumo de energía procedentes de fuentes no renovables pueden ayudar al aumento de la generación de energía renovable, aumentando la capacidad instalada debido al incremento de inversión y la reducción de las emisiones de efecto invernadero con el objetivo de alcanzar la meta de cero emisiones en 2050, objetivo que se comprometió la UE en el Acuerdo Internacional de París.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

La tecnología predominante en el autoconsumo de energía en España es la energía fotovoltaica, según datos de la empresa Endesa en la actualidad existe en España un total de 298.000 viviendas y más de 54.000 empresas con instalaciones de autoconsumo mediante energía solar, equivalente al 2% de la demanda eléctrica nacional, que cuentan ya con instalaciones de autoconsumo mediante energía solar. [6], [7]

Además, esta tendencia está en incremento en España, como se observa en la Ilustración 2 que refleja la potencia instalada de autoconsumo en megavatios (MW). Este incremento sustancial en España del autoconsumo se debe a la eliminación del conocido como “impuesto del sol” a finales de 2018 y la aprobación del Real Decreto ley 244/2019 que especifica la regulación de la actividad del autoconsumo de energía eléctrica y la eliminación de los cargos de autoconsumo, simplificación de las modalidades y permitir el autoabastecimiento colectivo. Además, impulsado por los casi 700 millones de euros destinados desde mediados de 2021 para la ayuda al impulso del autoconsumo.

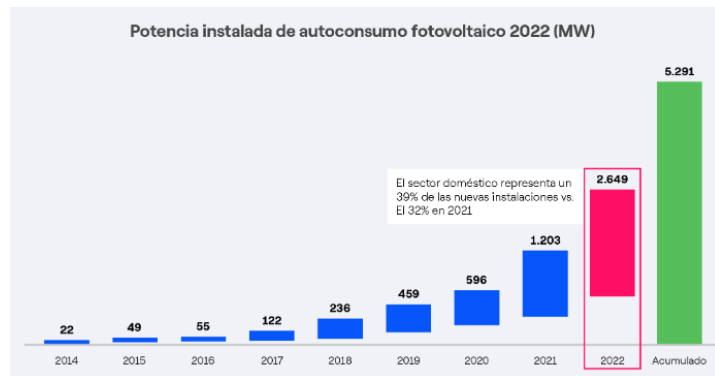


Ilustración 2. Potencia instalada de autoconsumo fotovoltaico en 2022. Fuente: Endesa

El motivo del aumento del autoconsumo de energía mediante fotovoltaica es la “rápida” recuperación de la inversión siendo rentable a corto plazo en empresas y a medio plazo en viviendas, los propietarios de los paneles solares recuperarán la inversión en un plazo de media de 4 a 7 años (variando dependiendo del tamaño de la instalación, la ubicación geográfica, la cantidad de energía que se consume en la instalación y las subvenciones recibidas para la construcción y explotación de esta). [8]

Teniendo en cuenta que la vida útil de una instalación fotovoltaica es cercana a los 20 años, después de la recuperación de la inversión la electricidad producida por los paneles se consideraría un beneficio neto en la economía de la familia o de la empresa. Por tanto, el autoconsumo mediante paneles solares es una realidad en el mix energético español. Sin embargo, España es un país con un potencial energético enorme donde existe la posibilidad de llegar a explotar otras fuentes de recursos energéticos para el aumento del autoconsumo.

2.1. POTENCIAL DEL RECURSO EÓLICO

Aquí entra en juego la energía eólica, exactamente la minieólica (aerogeneradores con una potencia inferior a los 100 kW, aunque la mayoría de estos aerogeneradores tienen una capacidad mucho menor entre 1 y 5 kW). Las ventajas que puede ofrecer la minieólica está enfocada en que es capaz de aprovechar tanto el día como la noche en cualquier época del año para generar electricidad. Esta tecnología parecía que iba a ganar presencia en España en la época del “impuesto al sol” debido a la disminución considerable de nueva instalación fotovoltaica en el país. [7]

Sin embargo, es un hecho que no hubo un aumento considerable durante estos años de instalaciones de minieólica en España debido a que esta tecnología sigue teniendo unas cifras muy bajas debido a la poca rentabilidad económica de la instalación. Una instalación fotovoltaica de unos 3 kW tiene un coste medio de 5000 a 8000 euros, mientras que una instalación de 3 kW de un miniaerogenerador tendría un coste aproximado de 14000 euros con una generación de energía considerablemente menor. [7]

Esta diferencia de costes y una menor capacidad de producción frente a la energía fotovoltaica, claramente condicionada por la ubicación geográfica, ha hecho que el autoconsumo esté predominado principalmente por la fotovoltaica. No obstante, el nicho de mercado donde se puede introducir e impulsar la minieólica es la hibridación con la solar debido a que comparten elementos eléctricos y cada uno puede abarcar franjas horarias diferentes para una mayor capacidad de autoconsumo.

Este autoconsumo de viviendas o empresas mediante energía fotovoltaica o hibridación con minieólica está enfocada una zona climática mediterránea o continental donde ambos recursos están disponibles. En cambio, en la zona del atlántico el recurso solar no es el predominante y puede generar una buena ocasión para el desarrollo de la tecnología eólica y aumentar la capacidad de energía renovable en la zona. En la Ilustración 3 se muestra el recurso solar en España, donde se observa una disminución considerable de la radiación solar, color azul en el mapa, en la zona del atlántico. [9]

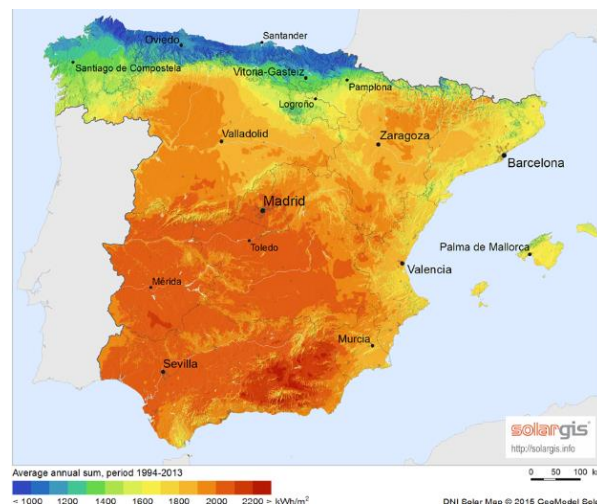


Ilustración 3. Recurso solar en España en kWh/m². Fuente: Solargis

En este contexto surge la posibilidad de la implementación de aerogeneradores de pequeño tamaño, la mayoría de estos que se encuentran en un entorno urbano son aerogeneradores de eje vertical (VAWT, Vertical Axis Wind Turbine). También existen en este entorno aerogeneradores de eje horizontal (HAWT, Horizontal Axis Wind Turbine) que se recomiendan debido a que su forma helicoidal les permite operar sin importar la dirección del viento y, por tanto, no disponer de un sistema de orientación integrado.

Se debe tener en cuenta que en un entorno urbano existen muchas turbulencias debido a la interacción del viento con elementos colindantes al aerogenerador provocando una pérdida de eficiencia y la disminución de la producción debido a los posibles cambios de la dirección del viento. [10]

Respecto a esta situación surge una nueva tecnología de minieólica conocida como Vortex Bladeless que trata de un aerogenerador sin palas que genera energía mediante la vibración de su estructura. El diseño de esta nueva tecnología maximiza su generación de energía con el aumento de la turbulencia, al contrario que los aerogeneradores convencionales comentados anteriormente, siendo un entorno urbano el ideal para su implementación.

Solamente se ha contemplado la instalación de dispositivos de generación de energía, tanto solar como eólica, para el autoconsumo, pero existe otra posibilidad que puede ayudar a conseguir la independencia de la variabilidad de la factura de la luz debido a factores externos de una comunidad de vecinos o empresas con consumos moderados de energía. Esta solución sería la realización de un contrato bilateral con un parque eólico o solar para la compra de energía mediante un Power Purchase Agreement, PPA, ofreciendo a estos consumidores un contrato a largo plazo con un precio fijo por la energía consumida llegando a la posibilidad de la satisfacción completa de las necesidades del consumidor. [11]

Además, los PPAs de energía son un instrumento clave para la viabilidad de los proyectos y, por tanto, del aumento de la potencia renovable instalada. Gracias a la realización de estos contratos, las empresas se aseguran una fuente de ingresos constantes y fijos durante un largo periodo de tiempo aportando más fiabilidad a los inversores de cara a la construcción y desarrollo de nuevos parques renovables. En la Ilustración 4 se observa que España lidera la lista de países europeos con más potencia sujeta a los contratos PPA firmados en 2022, alcanzando la cifra de 3,2 GW de energía renovable.

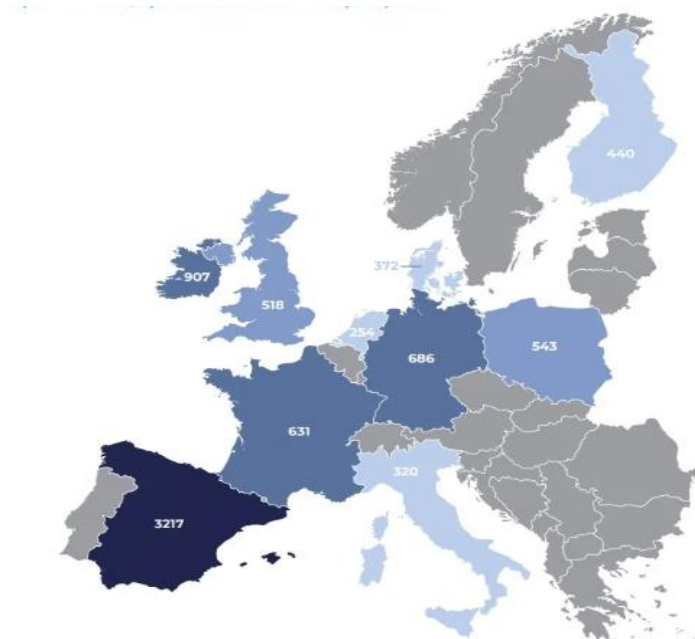


Ilustración 4. Potencia contratada mediante PPA en Europa. Fuente: Iberdrola

3. OBJETIVOS DEL PROYECTO

El proyecto consistirá en el diseño básico de un parque eólico con aerogeneradores móviles, y una instalación de autoconsumo con aerogeneradores Vortex. Se comparará el posible suministro energético parcial de cada instalación a un núcleo rural de la zona del Atlántico, realizándose una comparativa entre los dos tipos de tecnología que se enfocará en el rendimiento, la producción energética y la viabilidad económica para el abastecimiento de la localidad. Por otro lado, se redactará un estudio de impacto ambiental de la zona de implementación para averiguar las consecuencias de la ejecución y explotación de la instalación que proporcione una mayor viabilidad económica.

Los objetivos que busca la realización del proyecto se desglosan en los siguientes puntos:

- Establecer un precedente en la zona para la realización de un PPA entre el desarrollador renovable y una población rural para conseguir una disminución de la factura de la luz de la población de la localidad durante un largo periodo de tiempo prefijando el precio de la energía y, por tanto, siendo independientes a las variaciones del precio del mercado eléctrico. Además, aumentar la capacidad de energía renovable en el país al conseguir más fiabilidad a las empresas a la hora de iniciar nuevos proyectos renovables al obtener un flujo de ingresos constantes durante un largo periodo de tiempo.
- Estudiar la viabilidad económica del proyecto de la nueva instalación de aerogeneradores convencionales en la zona por parte de una empresa privada que proporcionaría a la población rural la energía a un coste prefijado mediante un acuerdo de compraventa de energía, PPA. Es decir, estudiar si la empresa obtendría beneficios económicos con la realización del proyecto teniendo en cuenta que deben proporcionar un ahorro económico a la población en su factura de la luz para prefijar el precio al que se les venderá la energía durante un largo periodo de tiempo.
- Estudiar la viabilidad técnico-económica de la instalación de los nuevos tipos de aerogeneradores Vortex en un entorno rural para el autoabastecimiento parcial de una vivienda, teniendo en cuenta que la inversión monetaria será realizada por el propietario de la vivienda, en la zona del atlántico donde la instalación de la fotovoltaica para el autoconsumo no tiene mucho peso debido a la poca producción debido a las condiciones climatológicas de la zona.
- Estudio del impacto ambiental que tendrá en cuenta tanto la fase de construcción como de explotación de la opción con más opciones de viabilidad económica para conocer el impacto sobre el ecosistema entorno a la población rural. Además, tener constancia de las peticiones de las diferentes asociaciones contra la nueva instalaciones de fuentes renovables en la zona para llevar a cabo el proyecto y que medidas se pueden tomar para cambiar la opinión pública sobre la nueva instalación de aerogeneradores en la zona.

4. ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)

En el contexto de la creciente preocupación de los desafíos globales y la profunda necesidad de abordarlos, Naciones Unidas elaboro un conjunto de objetivos relacionados entre sí para conseguir un futuro más sostenible e inclusivo para la sociedad. En este marco, el presente trabajo de fin de máster sobre la comparación del diseño básico técnico-económico entre aerogeneradores móviles y aerogeneradores Vortex para el abastecimiento total y/o parcial de una población rural tendrá un impacto directo sobre los siguientes ODS: [12]

9 INDUSTRIA, INNOVACIÓN E INFRAESTRUCTURAS



- El proyecto estudia la viabilidad de la instalación de un nuevo tipo de aerogenerador sin palas que genera energía con la vibración de su estructura, que es recomendable en entornos urbanos donde es capaz de maximizar la energía producida respecto al incremento de las turbulencias existentes a ras de suelo.

11 CIUDADES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES



- El proyecto tiene como finalidad la independencia energética de fuentes de energía fósiles mediante el recurso eólico reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, fomentando la descentralización energética implementando la instalación en las proximidades de la localidad.

13 ACCIÓN POR EL CLIMA



- La implementación de nueva capacidad de fuentes renovables en el mix energético español favorece en la transición energética hacia el objetivo marcado de cero emisiones en el 2050 y la disminución de los niveles de CO_2 (dióxido de carbono) que contribuye a la menor acumulación de gases de efecto invernadero y a frenar los cambios extremos en la climatología mundial.

Sin embargo, la instalación de estos tipos de tecnología en zonas con una biodiversidad de relevada importancia puede suponer el no cumplimiento de otros Objetivos de Desarrollo Sostenible como puede ser:

15 VIDA DE ECOSISTEMAS TERRESTRES



- La instalación de aerogeneradores en una zona rural puede provocar la degradación de los ecosistemas de la zona provocando daños irreversibles. Por tanto, se debe realizar un estudio con profundidad de impacto ambiental para comprobar que no ocasiona daños considerables al ecosistema rural del entorno.

5. SELECCIÓN DE LA LOCALIDAD

Este proyecto consiste en la comparativa entre dos opciones en una comunidad rural, para ser parcial o totalmente autosuficientes a nivel energético en los próximos años. En este apartado, se abordará el proceso de selección de la ubicación de la población, donde se realizará la selección de la ubicación centrándose en cuatro aspectos clave: la falta de recurso solar en la zona, el recuso eólico en la zona, los precedentes de anteriores construcciones de parques eólicos y el nivel de rechazo a la nueva construcción de parques eólicos por parte de la comunidad vecinal.

El análisis del recurso solar en la zona es fundamental para comprender la importancia de impulsar otras fuentes de energía renovable en España que sean capaces de aportar nuevas alternativas al autoconsumo de viviendas y/o empresas mediante placas fotovoltaicas. Por tanto, se va a seleccionar una ubicación donde la radiación y el número de horas de sol sean considerablemente más bajas que en otras partes de España y exista un recurso eólico considerable. Además, la evaluación de los precedentes de anteriores parques eólicos en la zona proporcionará información valiosa sobre la futura viabilidad económica del parque.

Por último, es crucial considerar la aceptación o rechazo vecinal a la nueva construcción de nuevos parques eólicos. Uno de los objetivos de este proyecto es el intentar cambiar la opinión de la comunidad hacia la incorporación de nuevas instalaciones eólicas en el área. Por consiguiente, se va a buscar una localidad o comarca donde exista un fuerte rechazo ante la instalación de eólicos con el objetivo de proporcionarles un ahorro económico en su factura de la luz para cambiar su opinión o reducir su rechazo hacia los parques eólicos.

En conclusión, se va a seleccionar un zona de España con un recurso solar limitado pero un alto potencial eólico alto, y donde ya existan antecedentes de anteriores construcciones de parques eólicos. Asimismo, se considerará la existencia de una oposición por parte de la población de la región hacia la instalación de nuevos parques eólicos.

5.1. RECURSO SOLAR

En el estudio del recurso solar en España se ha utilizado el mapa de la Ilustración 3 donde muestra un resumen del potencial eléctrico solar fotovoltaico (FV) estimado. Representa el promedio total diario/anual de la posible producción eléctrica de una planta solar FV de 1 kW-pico conectado a la red, calculado para un periodo de tiempo de 25 años (1994-2018). [13]

El cálculo de la producción eléctrica del estudio se basa en una instalación solar con una estructura independiente sobre el suelo con módulos de silicio cristalino montados en posición fija con una inclinación acorde a la orientación respecto al Ecuador. En el cálculo de la producción de los paneles se tienen en cuenta la radiación solar, las horas de sol anuales, la temperatura del aire y suelo, las pérdidas por conversión de energía, las pérdidas debidas al polvo y la suciedad y la eficiencia de los paneles.

La producción de energía mediante placas fotovoltaicas está directamente relacionada con la radiación solar y las horas de sol anuales en la ubicación geográfica seleccionada. En la Ilustración 5 se observa las Horas Sol Pico (HSP) y la energía en kWh/año por m^2 horizontal (primera cifra en la ilustración es el HSP y la segunda la energía en kWh/año), teniendo en el Norte de España los peores valores de la península y, por tanto, los sitios menos recomendables para una inversión segura y rentable en placas fotovoltaicas.

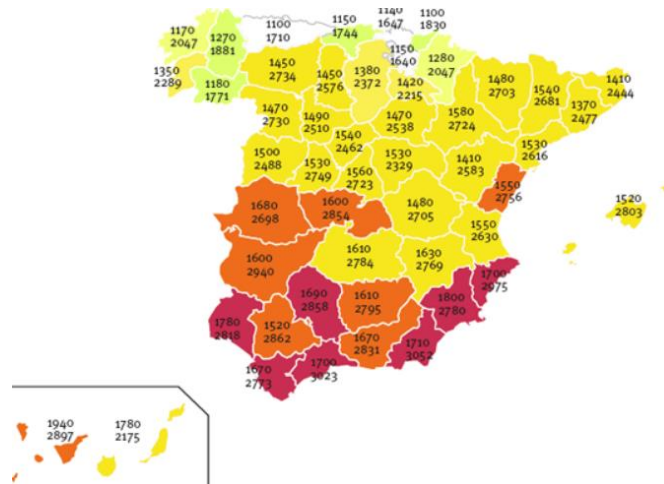


Ilustración 5. HSP y la energía en kWh/año por m² en España. Fuente:

Por consiguiente, las zonas que se considerarán en el estudio se encuentran en el norte de España.

5.2. RECURSO EÓLICO

La evaluación del recurso eólico es un componente crítico en el estudio de una instalación de un nuevo parque eólico, incluso para la instalación de pequeños aerogeneradores para el autoconsumo de una vivienda. Proporciona información vital para la identificación de zonas óptimas, estimaciones de producción de energía, diseño del parque eólico y el estudio de la viabilidad económica del parque.

Considerando el análisis de recurso solar, ya se ha restringido la posible ubicación del parque eólico y la instalación del Vortex a las regiones españolas más cercanas a la costa atlántica. Ahora, el objetivo es investigar aquellas áreas donde la densidad de potencia sea mayor y maximice la eficiencia de generación energética.

En la Ilustración 6 se muestra un mapa del norte de España que detalla las velocidades medias del viento en la península ibérica. Se destaca que, dentro de la región acotada por el recurso solar, el oeste de la provincia de Asturias se diferencia por tener una mayor concentración de altas velocidades medias de viento. [14]



Ilustración 6. Mapa del recurso eólico del Norte de España. Fuente: Global Wind Atlas

5.3. PRECEDENTES Y RECHAZO DE LA COMUNIDAD

Tras delimitar la zona de estudio del proyecto al oeste de la provincia de Asturias mediante el cruce del análisis del recuso solar y eólico, es importante realizar una búsqueda de antecedentes relacionados con la construcción de nuevos parques eólicos en la zona.

Tras la búsqueda de información sobre los proyectos existentes o futuros en el oeste de Asturias, destaca un proyecto sobre los demás: el proyecto del complejo eólico Escorpio en el municipio asturiano de Villanueva de Oscos. Este proyecto, que fue autorizado en el año 2005 por el principado de Asturias y con un evaluación del impacto ambiental de 2019, volvió a pedir la autorización al principado en 2022 para empezar la construcción del complejo.

Este complejo está compuesto por 6 aerogeneradores de 5 MW de potencia, un centro de transformación y dos circuitos subterráneos en alta tensión de 30 kV.

Esta nueva solicitud por parte de la promotora después de 3 años de la realización del impacto ambiental ha provocado el rechazo social de la comunidad porque piensan que el estudio realizado no está realmente dentro del plazo de vigencia. Por parte de la plataforma ciudadana Xente de Oscos-Eo comenzaron una alegación contra la nueva petición de la promotora de comenzar la construcción del complejo.

En la Ilustración 7 se observa a la comisión de Xente de Oscos-Eo en la sierra de Bobia, colindante al monte de Pumarín, donde se pretende la instalación del complejo Escorpio, manifestándose contra la incorporación de nuevos parques eólicos en su comarca. [15], [16]



Ilustración 7. Comisión de Xente de Oscos-Eo en protesta en la sierra de Bobia. Fuente: El Occidental

En conclusión, debido al interés de promotoras por intentar construir en esta zona y el creciente rechazo por parte de la comunidad hacia la nueva construcción de parques eólicos, se ha decidido que la ubicación seleccionada para el estudio de este proyecto sea en la población asturiana de Villanueva de Oscos. La intención es aprovechar las sinergias de la construcción de otros parques eólicos en la zona y conseguir disminuir el rechazo por parte de la comunidad de Xente de Oscos-Eo hacia la instalación de energías renovables en las inmediaciones de sus municipios.

6. ESTUDIO DE LA COMARCA

Tras la selección de la comarca donde se pretende realizar el estudio comparativo de este proyecto, es necesario realizar un análisis detallado de la comarca enfocado específicamente en la población de la comarca, considerando diferentes aspectos demográficos y características habitacionales.

6.1. COMARCA OSCOS-EO

La comarca Oscos-Eo se encuentra situada en el extremo occidental del Principado de Asturias, a unos 150 km de Oviedo y limitado geográficamente con la provincia gallega de Lugo.

La comarca está integrada por siete concejos: Castropol, San Martín de Oscos, San Tirso de Abres, Santa Eulalia de Oscos, Taramundi, Vegadeo y Villanueva de Oscos. Con una extensión total de la comarca cercana a los 500 kilómetros cuadrados, y una población que no supera los 10.000 habitantes censados en el 2021.[17], [18]

En la Ilustración 8 se muestra la distribución de los concejos de la comarca asturiana.

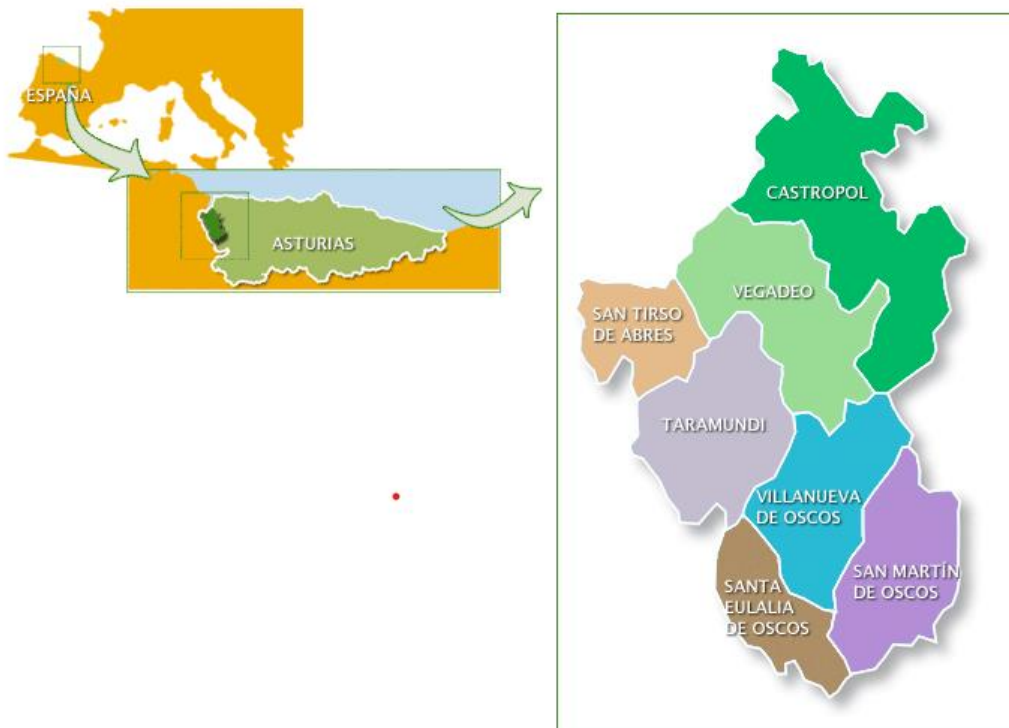


Ilustración 8. Distribución de los concejos de la comarca Oscos-Eo. Fuente: Ceder Ocor-Eo

6.2. POBLACIÓN

La población total de la comarca de Oscos-Eo en 2021 fue de 9.322 habitantes. La mayor parte de la población se concentra en las localidades de Vegadeo y Castropol, que juntos concentran el 78% de la población total de la comarca.

En la Tabla 2 se muestra en detalle los habitantes de cada concejo de la comarca.

Tabla 2. Habitantes por población de las localidades de la comarca Oscos-Eo. Fuente: CEDER Oscos-Eo

Población	Habitantes
San Tirso D'Abres	419
Santa Eulalia de Oscos	434
San Martín de Oscos	353
Villanueva de Oscos	275
Taramundi	592
Vegadeo	3914
Castropol	3335
Comarca Oscos-Eo	9322

En cuanto a la evolución de la población censada en la comarca, ha experimentado un descenso significativo en los últimos años. En la Ilustración 9 se muestra la evolución, en base 100, de la población en los diferentes concejos de la comarca donde se pasa de 12.043 habitantes en 2001 a los 9.32 habitantes en 2021.[17]

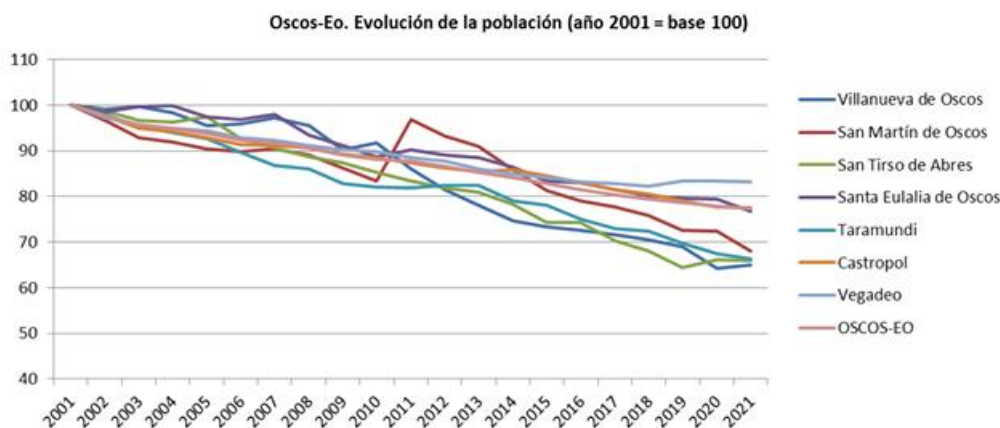


Ilustración 9. Evolución de la población en la comarca Oscos-Eo. Fuente: CEDER Oscos-Eo

Esta descenso de la población en la comarca ha sido encabezada por jóvenes asturianos hacia grandes ciudades, especialmente hacia Oviedo y Santiago de Compostela. Como resultado, esta situación ha provocado en la comarca que la edad media de la población aumente. En la Ilustración 10, se observa la campana demográfica de la comarca, donde se observa cómo se ensancha la campana a partir de los 40 años.

Además, la Ilustración 10 compara la distribución poblacional de la comarca respecto a la media del principado de Asturias. Se observa como en la comarca en edades avanzadas entre los 70 y más años, es superior a la media.[17]

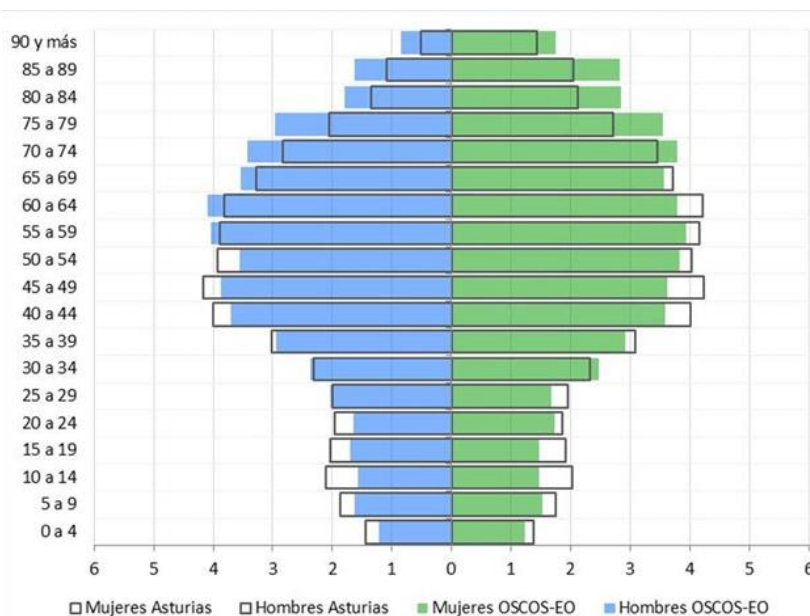


Ilustración 10. Campana de la distribución poblacional de la comarca Oscos-Eo. Fuente: CEDER Oscos-Eo

6.3. TIPO DE VIVIENDA

El conocimiento de los tipos de viviendas predominantes en la comarca y la distribución respecto a la población es crucial para realizar la futura estimación del consumo por vivienda y población para realizar un correcto dimensionamiento de ambos tipos de instalaciones.

Como se ha mencionado con anterioridad, la comarca cuenta con siete concejos, donde la gran mayoría de la población se concentra en dos de ellos: Vegadeo y Castropol. En estas dos concejos predominan los bloques de pisos de hasta cuatro plantas, con una media de tres habitaciones y un baño, diseñado para familias con dos hijos. Sin embargo, en los concejos restantes, las viviendas que predomina son las casas unifamiliares de dos plantas, pensadas para albergar una familia de dos a tres hijos. La Tabla 3 muestra el consumo medio por Hogar en España, según el tipo de vivienda y la zona climática en al que se sitúe la vivienda. Estos datos provienen del estudio realizado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA) sobre el consumo del sector residencial en España.[19]

Tabla 3. Consumo medio diario por Hogar en España según zona climática. Fuente: IDAE

kWh/hogar	Zona Climática			España
	Atlántico Norte	Continental	Mediterránea	
Pisos	7.306	9.796	6.128	7.544
Unifamiliares	14.987	19.653	13.239	15.513
España	9.293	12.636	8.363	9.922

Por tanto, en los municipios pertenecientes a la comarca de Oscos-Eo, un piso consume una media de 7,306 kWh/día y una casa unifamiliar unos 14,987 kWh/día, debido a que la comarca se encuentra en el clima del Atlántico Norte.

7. ESTUDIO DE LA INSTALACIÓN EÓLICA CONVENCIONAL

Este apartado del estudio se centra en la evaluación de una instalación eólica convencional en el en la comarca de Oscos-Eo, en la provincia de Asturias, la cual estará sujeta a un acuerdo de compra-venta de energía mediante un PPA. El objetivo principal es analizar las condiciones específicas de la ubicación seleccionada, llevar a cabo la selección del aerogenerador más adecuado y calcular tanto la producción anual esperada de la instalación como los costes asociados de inversión inicial, mantenimiento y la financiación. Esta evaluación preliminar proporcionará los datos necesarios para realizar un estudio de viabilidad detallado a posteriori, permitiendo determinar la rentabilidad y sostenibilidad de la instalación eólica.

7.1. ¿QUÉ ES UN PPA?

En los últimos años, ha surgido una herramienta crucial para facilitar la adopción de energías renovables y la reducción de emisiones de carbono: un acuerdo de compra-venta de energía limpia a largo plazo, también conocidos como PPA. Estos acuerdos se realizan entre un desarrollador renovable y un consumidor o un comercializador que revenderá la energía y, se establece la compra-venta de energía limpia a un precio prefijado. [20], [21]

La realización de estos acuerdos ofrece un conjunto de beneficios tanto para compradores como para los vendedores de energía:

Beneficios para los compradores (consumidor o comercializadora):

- Permite el acceso a energías renovables, disminuyendo las emisiones de efecto invernadero y cumplir con los objetivos de sostenibilidad.
- Protección frente a las variaciones del precio de la energía debido a las fluctuaciones del mercado.
- Establecer una mejor planificación financiera al conocer los costes anuales de energía.

Beneficios para los desarrolladores de energía

- Obtener financiación para el desarrollo del proyecto, reduciendo el riesgo financiero.
- Flujo de ingresos constante y conocido durante un largo periodo de tiempo.
- Permite obtener un retorno de la inversión esperado y predecible a la empresa y/o accionistas.

Estos acuerdos pueden realizarse mediante tres tipos de contrato de compra-venta de energía: física on-site, física off-site y virtual. La elección del tipo de PPA puede influenciar en la planificación y ejecución del proyecto, maximizando los beneficios para ambas partes involucradas en el acuerdo.[22]

7.1.1. Física on-site

El desarrollador de energía limpia instala directamente en las inmediaciones del cliente los generadores de energía renovable, ya sea en el tejado, aparcamientos o terrenos adyacentes al cliente. Luego esta energía limpia producida se consume in situ en las instalaciones del cliente.

Sin embargo, es necesario realizar el cableado entre las instalaciones del cliente y los generadores de energía. En la Ilustración 11 se observa de forma esquemática el concepto de PPA físico on-site.



Ilustración 11. PPA físico on-site. Fuente: TotalEnergies

7.1.2. Física off-site

El desarrollador de energía limpia es también el proveedor de electricidad. Las instalaciones de los generadores de energía limpia no se encuentran cerca de las instalaciones del cliente, la electricidad se inyecta a la red eléctrica, la cual luego abastece al cliente.

Al ser directamente inyectada a la red, el cliente puede tener dudas del origen de la energía que consume en sus instalaciones. El desarrollador de energía debe garantizar el origen de la energía limpia al cliente.

En la Ilustración 12 se observa de forma esquemática el concepto de PPA físico off-site.

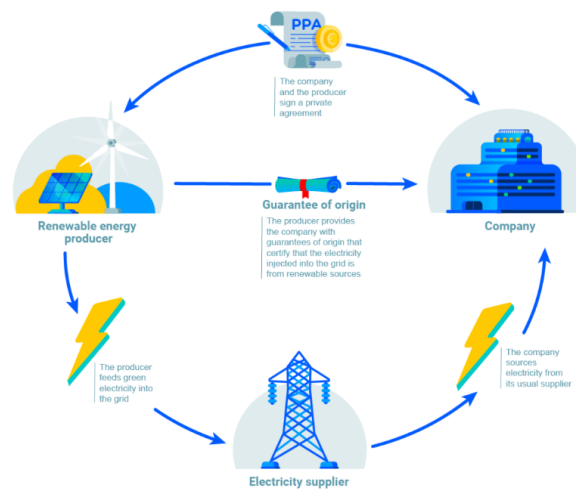


Ilustración 12. PPA físico off-site. Fuente: TotalEnergies

7.1.3. Virtual

Este modelo de PPA se diferencia de los PPA físico en que este no realiza una entrega física de la electricidad. La electricidad se vende directamente a la red, y el comprador se beneficia de las garantías de origen de energía limpia aseguradas por el desarrollador renovable.

La realización de un PPA virtual ofrece otra ventaja: vienen con un "contrato por diferencia". Es decir, si el precio en el mercado eléctrico supera el precio acordado entre las partes, el productor compensa la diferencia al comprador. Por otro lado, si el precio inyectado a la red es inferior al precio estipulado en el contrato, el comprador compensa la diferencia al productor.

Este tipo de PPA es realizado cuando el desarrollador renovable y el proveedor de electricidad del cliente no es el mismo.

En la Ilustración 13 observa de forma esquemática el concepto de PPA virtual.

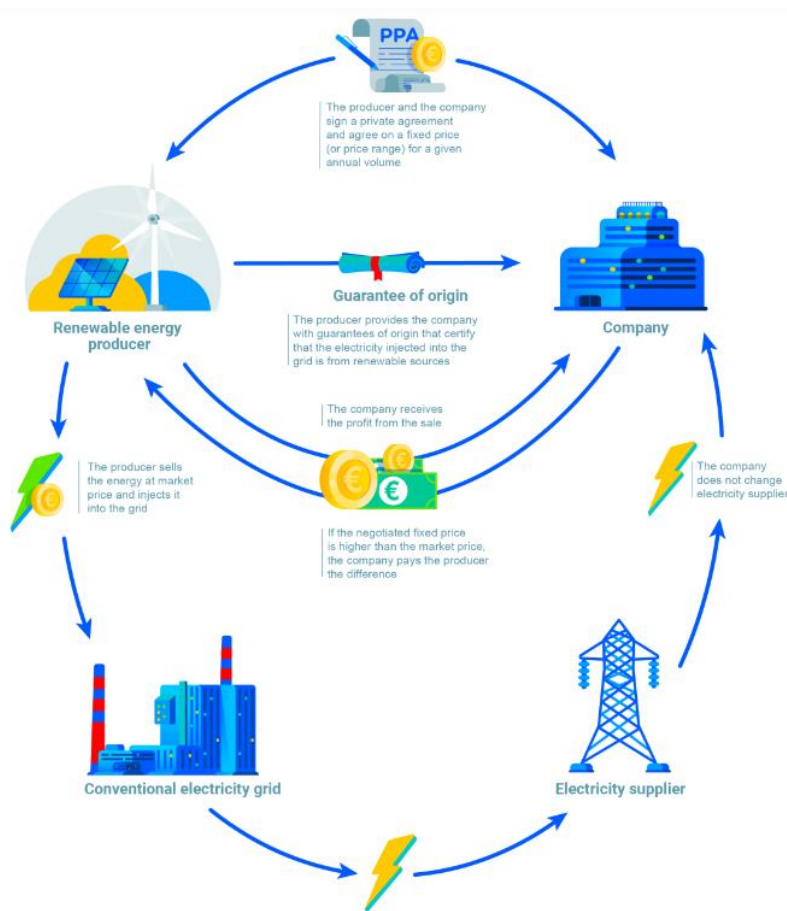


Ilustración 13. PPA virtual. Fuente: TotalEnergies

Respecto a este proyecto de autoconsumo de una población rural en Asturias, cuyo propósito es motivar y servir de precedente para el aumento de acuerdos PPA entre desarrolladores de energía limpia y comunidades rurales, se va a realizar un acuerdo virtual de PPA.

Por un lado, la decisión de utilizar un tipo virtual de contrato se debe a que no se puede realizar una conexión directa del aerogenerador al pueblo debido al alto costo y al aumento del impacto ambiental que supondría en la comunidad. Por otro lado, el distribuidor de energía en Asturias es EDP, como se muestra en la Ilustración 14, y este proyecto busca la inversión alejada de las distribuidoras y comercializadoras predominantes de España, con el objetivo de aumentar el número de empresas que se involucran en el desarrollo de energía limpia. [23]

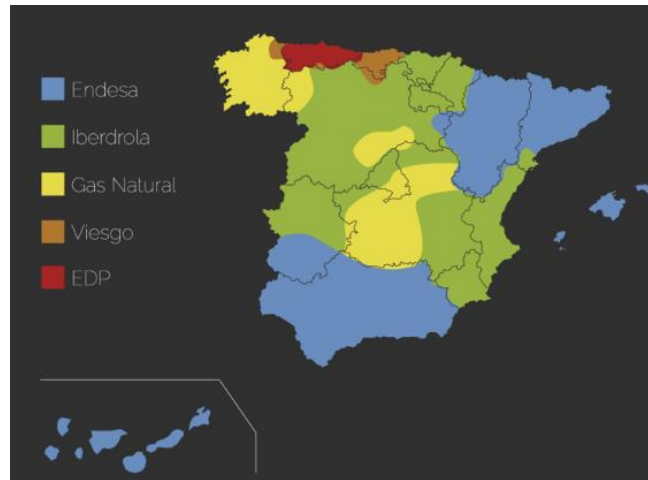


Ilustración 14. Reparto del territorio español según la distribuidora de energía. Fuente: Lucera

En resumen, los PPA son una herramienta hacia una transición más sostenible y respetuosa con el medio ambiente. Ofreciendo una solución de compra-venta de energía mediante un tipo de PPA virtual donde las dos partes salen beneficiadas por la realización de esta y, con el objetivo de servir como modelo para la introducción de estos acuerdos en comunidades rurales de España.

7.2. ESTUDIO DE LA UBICACIÓN

La selección adecuada de la ubicación para la instalación del aerogenerador es un paso crucial en el desarrollo del proyecto. En este apartado, se estudiará con detalle la localización exacta del aerogenerador y el recurso eólico disponible en la zona.

El municipio seleccionado para realizar la instalación del aerogenerador es Villanueva de Oscos, Asturias, determinado gracias al cumplimiento de los requisitos clave estudiados con anterioridad en el proyecto para determinar la localidad.

Ahora se pretende determinar con exactitud la zona, dentro del concejo de Villanueva de Oscos, donde se va a realizar la construcción del eólico.

7.2.1. Selección de la ubicación

La selección de la ubicación exacta del aerogenerador en este proyecto está basada en el estudio de la existencia de parques eólicos existentes o que hayan solicitado permisos para la construcción de estos en las inmediaciones de la población de Villanueva. El motivo de estudiar proyectos existentes es utilizar las instalaciones ya existentes o que están en fase de construcción para reducir costes asociados con la infraestructura eléctrica y la construcción de caminos necesarios para la instalación de los aerogeneradores.

El proyecto “Escorpio” realizó la solicitud del comienzo de la construcción del parque eólico en la sierra de Pumarín en el 2022. En la Ilustración 15, se observa que la sierra de Pumarín es el monte colindante al núcleo de la población de Villanueva de Oscos. [15]



Ilustración 15. Mapa aéreo de la sierra de Pumarín. Fuente: Google Maps

Tras realizar una investigación en el catastro de los terrenos ubicados en de la sierra de Pumarín, se descubre que los terrenos pertenecen al ayuntamiento del municipio. Este descubrimiento proporciona información sobre la propiedad del terreno, lo cual es necesario para determinar cómo se llevará a cabo el posible alquiler de los terrenos mediante un contrato que tenga la misma duración que la vida útil del parque, o si se considerará la opción de la compra directa de una parte de la parcela. En la Ilustración 16 se muestra el catastro del municipio de Villanueva, donde el terreno perteneciente a la sierra de Pumarín es la parcela 181 del polígono 19, con una extensión de 1 km². [24]



PARCELA CATASTRAL 33075A01900181 3D

<p>Croquis</p> 	<p>Fotografía fachada</p>  <p>FOTOGRAFÍA NO DISPONIBLE</p>
<p>Polígono 19 Parcela 181 MTE CORTIN Y LLEIRO. VILLANUEVA DE OSCOS (ASTURIAS) 1.081.178 m²</p> <p>Más información de la parcela ▼</p>	

INFORMACIÓN DE LOS INMUEBLES ⓘ

Ilustración 16. Catastro del municipio de Villanueva de Oscos. Fuente: Catastro

Tras conocer la existencia de una licitación de construcción de un nuevo parque eólico, que indica el interés de otros inversores en la zona debido a su potencial financiero, y considerando que los terrenos son propiedad del ayuntamiento, lo que puede proporcionar facilidades si se llega a un buen acuerdo para la comunidad de vecinos, se ha decidido llevar a cabo la construcción del proyecto en la sierra de Pumarín.

7.2.2. Recurso eólico

Tras determinar la zona donde se va a realizar la instalación de la eólico, se establece que la ubicación exacta del eólico será en la cresta de la sierra de Pumarín, en las coordenadas geográficas 43.319053, -6.974063. Mediante la utilización del software de la DTU, Global Wind Atlas, se han determinado las velocidades medias de la ubicación, las variaciones mensuales respecto a las velocidades medias del viento y la dirección del viento mediante la utilización de la rosa de frecuencias. La Ilustración 17 muestra la selección de la ubicación en el software. [14]

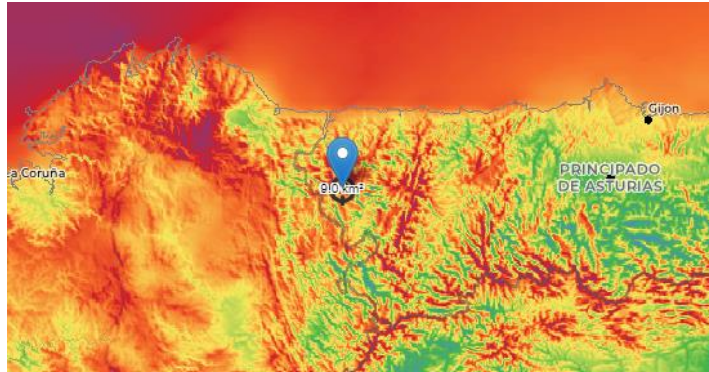


Ilustración 17. Selección de la ubicación del aerogenerador. Fuente: Global Wind Atlas

En la cresta de la sierra de Pumarín tiene una velocidad media del viento de 9,4 m/s, a una altura de 100 metros sobre el nivel del suelo, y una variabilidad mensual de la velocidad media que se muestra en la Ilustración 18. [14]

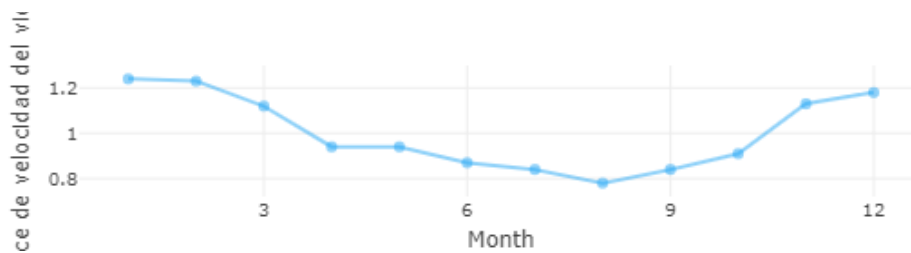


Ilustración 18. Variabilidad mensual de la velocidad media de la ubicación del aerogenerador. Fuente: Global Wind Atlas

En el estudio de la producción mensual del aerogenerador, la variabilidad de la velocidad media del viento es un factor clave que condicionara la potencia producida por el aerogenerador durante su funcionamiento. La Tabla 4 se muestra las velocidades medias del viento en cada mes del año respecto a la velocidad media de 9,4 m/s, así como la variabilidad mensual de la ilustración anterior.

Tabla 4. Variabilidad y velocidad media mensual de la ubicación del aerogenerador. Fuente: Propia

	Variación	Vel. media (m/s)
ENERO	1,25	11,78
FEBRERO	1,2	11,30
MARZO	1,15	10,83
ABRIL	0,95	8,95
MAYO	0,95	8,95
JUNIO	0,9	8,48
JULIO	0,85	8,01
AGOSTO	0,8	7,54
SEPTIEMBRE	0,85	8,01
OCTUBRE	0,95	8,95
NOVIEMBRE	1,15	10,83
DICIEMBRE	1,2	11,30

Además, el software ofrece la rosa de frecuencias de la ubicación seleccionada. La rosa de frecuencias es una herramienta fundamental en la evaluación del potencial eólico de una localización en la posible instalación de un parque eólico en una zona determinada, proporciona información sobre la dirección predominante del viento a lo largo del tiempo.

Esta información es necesaria para el diseño y disposición de los aerogeneradores porque permite optimizar la colocación de los aerogeneradores para captar la mayor cantidad de energía eólica y poder maximizar la producción de energía eléctrica.

En la Ilustración 19 se muestra la rosa de frecuencias de la ubicación seleccionada, donde se observa la predominancia de los vientos en dirección suroeste. [14]

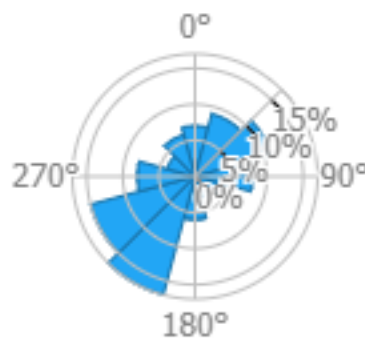


Ilustración 19. Rosa de frecuencias de la ubicación del aerogenerador. Fuente: Global Wind Atlas

Las palas del aerogenerador estarán colocadas en perpendicular a la dirección predominante del viento en la sierra de Pumarín y el buje estará de frente a la dirección del viento.

7.3. SELECCIÓN DEL AEROGENERADOR

La selección del aerogenerador del proyecto está directamente condicionado con el objetivo a cumplir. En este proyecto, se pretende realizar el autoconsumo total de los concejos del sur de la comarca de Oscos-Eo.

Se ha decidido realizar el autoconsumo mediante energía eólica de las comarcas de Villanueva de Oscos, San Martín de Oscos y Santa Eulalia, haciendo un total de 1244 habitantes. La distribución de la población se muestra en la Tabla 5, donde las pedanías son la concentración de todos los habitantes de los diferentes municipios colindantes, pertenecientes a los tres concejos. [17]

Tabla 5. Distribución de la población de las localidades pertenecientes al acuerdo PPA. Fuente: Propia

Población	N.º habitantes
Villanueva	269
Santa Eulalia	431
San Martín	344
Pedanías	200
	1244

El aerogenerador tendrá que ser capaz de abastecer la potencia pico demandada por el total de esta población. Tras investigar la demografía de la comarca, se constató la presencia de una población envejecida y una predominancia de viviendas unifamiliares en los concejos del sur de la comarca. Por tanto, se ha realizado la suposición en este proyecto que el total de viviendas de estas comarcas son viviendas unifamiliares, con una media de 1,5 personas por hogar.

Esta suposición supone que existen un total de 832 hogares unifamiliares que se tendrán que abastecer mediante el aerogenerador instalado en la sierra de Pumarín.

Tras calcular el número total de hogares en los tres concejos y considerando el consumo diario promedio de una vivienda unifamiliar en un clima Atlántico, determinado según el IDEA en el estudio de la comarca en 14,987 kWh/día, se va a calcular el consumo diario de los habitantes. Este cálculo permitirá determinar el aerogenerador adecuado, que se ajuste a los requisitos de producción necesarios, para abastecer completamente con energía renovable a la población rural.

Sin embargo, la selección del aerogenerador no se puede basar únicamente en el cálculo del consumo diario de una vivienda, multiplicando por el número de viviendas y por los 30 días que tiene de promedio un mes y después, comparar con la producción media mensual del aerogenerador con la intención de observar si abastece totalmente el consumo de los concejos.

El consumo en las viviendas varía según los meses debido al aumento de consumo provocado por el uso de calefacción, aire acondicionado y mayor tiempo en casa. Por lo tanto, es necesario conocer la variación de consumo mensual en una vivienda unifamiliar en el Norte de España. Después, comprobar que el aerogenerador es capaz de abastecer en su totalidad el consumo mensual de las viviendas.

7.3.1. Consumo mensual en un hogar

Establecer el consumo mensual en un hogar en los concejos de la comarca de Oscos-Eo requiere la extrapolación del estudio realizado por Red Eléctrica Española (REE) sobre la variación del consumo mensual de un hogar medio en España. En la Ilustración 20 se observa la variación del consumo mensual de un hogar medio. Por ejemplo, el consumo en el mes de febrero es de 280 kWh. [25], [26]

El consumo anual de un hogar medio en España, según REE, es de 2899 kWh.

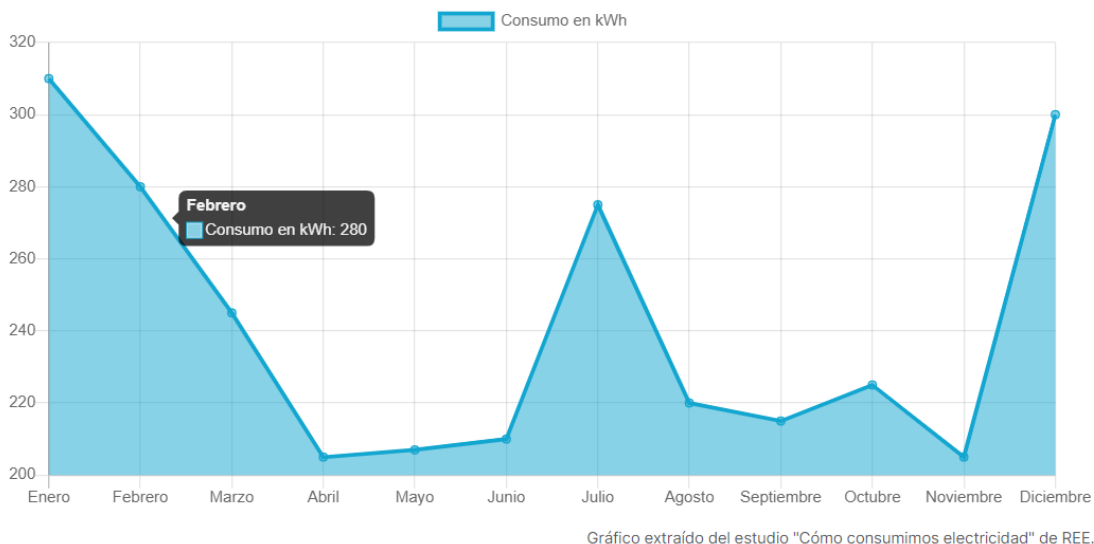


Gráfico extraído del estudio "Cómo consumimos electricidad" de REE.

Ilustración 20. Consumo mensual en un hogar medio español en kWh. Fuente: REE

Para poder realizar la extrapolación a una vivienda unifamiliar se necesita conocer el porcentaje de consumo mensual respecto al anual de un hogar medio. En la Tabla 6 se obtiene la evolución del consumo en porcentaje de un hogar medio, donde se observa que el mes de enero es el mes con un mayor consumo a lo largo del año.

Tabla 6. Evolución del consumo en porcentaje de un hogar medio español. Fuente: Propia

	Consumo mensual (kWh)	%
ENERO	310	10,69
FEBRERO	280	9,66
MARZO	245	8,45
ABRIL	205	7,07
MAYO	207	7,14
JUNIO	210	7,24
JULIO	275	9,49
AGOSTO	220	7,59
SEPTIEMBRE	217	7,49
OCTUBRE	225	7,76
NOVIEMBRE	205	7,07
DICIEMBRE	300	10,35
TOTAL ANUAL	2899	

En la Tabla 7 se muestra la variación mensual del consumo en una vivienda unifamiliar en la comarca de Oscos-Eo, extrapolada a partir de los datos proporcionados por REE. Considerando un consumo anual total de 5470 kWh (14,987 kWh/día por 365 días), se puede observar cómo este consumo se distribuye a lo largo de cada mes. Por ejemplo, en el mes de marzo, el consumo representa el 8,45% del total anual, lo que equivale a 462,3 kWh.

Tabla 7. Extrapolación del consumo medio a un hogar en un clima Atlántico. Fuente: Propia

	%	kWh mensuales
ENERO	10,69	584,95
FEBRERO	9,66	528,34
MARZO	8,45	462,30
ABRIL	7,07	386,82
MAYO	7,14	390,60
JUNIO	7,24	396,26
JULIO	9,49	518,91
AGOSTO	7,59	415,13
SEPTIEMBRE	7,49	409,47
OCTUBRE	7,76	424,56
NOVIEMBRE	7,07	386,82
DICIEMBRE	10,35	566,08
TOTAL ANUAL		5470,26

El mes con mayor consumo es enero con 584,94 kWh/vivienda. Por tanto, el consumo total del mes de enero de los 1244 habitantes que se pretende abastecer con un aerogenerador es de 487 MWh.

7.3.2. Comprobación de abastecimiento

Se trata de comprobar que el aerogenerador es capaz de abastecer en su totalidad el consumo mensual de las viviendas. En primer lugar, se elegirá un aerogenerador y se comprobará que es capaz de abastecer el consumo de los habitantes. En caso de que no sea suficiente, se considerará la opción de buscar un aerogenerador de mayor potencia nominal o la instalación de dos aerogeneradores en la sierra de Pumarín.

El aerogenerador seleccionado como primera iteración es el aerogenerador, de la marca Siemens Gamesa, SG 2.1-114. Se trata de un aerogenerador, recomendado para emplazamientos de vientos bajos y medios, con un rotor de 114 metros y un potencia nominal de 2,1 MW. [27]

La curva de potencia proporcionado por el proveedor se muestra en la Ilustración 21, donde a velocidades de viento cercanas a los 8,5 m/s se obtiene la potencia nominal del aerogenerador.

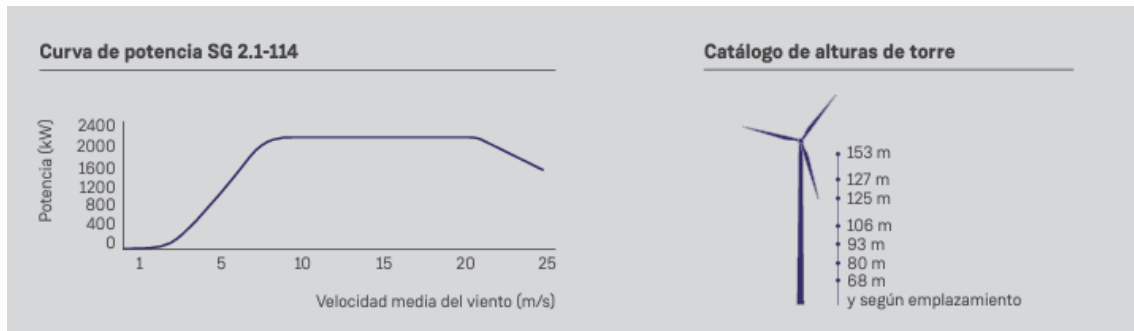


Ilustración 21. Curva de potencia del aerogenerador SG 2.1-114. Fuente: Siemens

En la ubicación seleccionada para la instalación del aerogenerador en el mes de enero hay una velocidad media de 11,78 m/s, dato sacado de la Tabla 4, y, por tanto, equivale a una potencia nominal de 2,1 MW. Un aerogenerador promedio está en funcionamiento un total de 2900 horas al año, aproximadamente un 33% del año está funcionando (equivale a un factor de horas-equivalentes de 0,33).

La producción del aerogenerador se calcula:

$$\text{Producción} = N.^\circ \text{ días} \cdot \text{Pot. nominal} \cdot \text{Factor horas. equivalente} \cdot 24 \text{ horas} \quad [1]$$

$$\text{Producción enero} = 31 \frac{\text{día}}{\text{enero}} \cdot 2,1 \text{ MW} \cdot 0,33 \cdot 24 \text{ h/día} = 515,6 \text{ MWh}$$

En conclusión, el aerogenerador elegido tiene la capacidad de abastecer, en su totalidad, energía renovable a los habitantes de los tres concejos asturianos. Sin embargo, solamente se ha comprobado que el aerogenerador es capaz de abastecer en el mes de enero, que presenta el consumo más alto. Para garantizar que el aerogenerador es capaz de abastecer todo el consumo a lo largo del año, es necesario calcular la producción de energía del aerogenerador de todos los meses y compararla con el consumo correspondiente.

En caso de que el aerogenerador no sea capaz de abastecer a la población, se deberá cambiar de aerogenerador. Se probará con el aerogenerador SG 2.6-114.

7.4. PRODUCCIÓN ANUAL

El cálculo de la producción anual de un aerogenerador es el primer paso para conocer la viabilidad económica de la posible construcción de un nuevo aerogenerador. Se pretende calcular la producción mensual y anual del aerogenerador SG 2.1-114, teniendo en cuenta la variabilidad de la velocidad media del viento dependiendo del mes, la potencia nominal que aporta el aerogenerador respecto a la velocidad media del viento, así como el número de días y horas de funcionamiento a lo largo del mes.

Recordando, la velocidad media del viento a una altura de 100 metros sobre el nivel del suelo en la ubicación seleccionada es de 9,4 m/s. Esta velocidad media del viento irá cambiando según los diferentes meses a lo largo del año debido a la variabilidad de la velocidad media del viento.

En la Tabla 8 se observa los principales factores condicionantes para el cálculo de la producción mensual del aerogenerador y la producción mensual. Cada columna corresponde a:

- **Variación:** la velocidad media del viento varía según el mes del año, influyendo directamente en la producción del aerogenerador. Por ejemplo, en el mes de septiembre, la velocidad media del viento es el 85% de la velocidad media anual. Por tanto, si consideramos una velocidad media anual de 9,4 m/s, en septiembre la velocidad media sería de 8,01 m/s, obtenida al multiplicar 9,4 m/s por 0,85.
- **Velocidad media (m/s):** es la velocidad media del viento respecto a cada mes.
- **N.º días:** corresponde al número de días de cada mes.
- **Potencia nominal (MW):** es la potencia proporcionada por el aerogenerador respecto a la velocidad media de cada mes. A partir de la Ilustración 21, se estima que:
 - o Velocidad del viento es superior a 8,5 m/s, la potencia del aerogenerador equivale a la potencia nominal del aerogenerador.
 - o Velocidad del viento es superior a 7,5 m/s e inferior a 8,5 m/s, la potencia del aerogenerador equivale a 1,9 MW.
- **Factor:** un aerogenerador tiene un promedio de horas en funcionamiento anual en el norte de España de 2900 horas. Es decir, solo un tercio del año está funcionando el eólico.
- **Producción mensual (MWh):** corresponde a la producción mensual del aerogenerador.

El aerogenerador SG 2.1-114 proporciona en la ubicación seleccionada en la sierra de Pumarín una producción anual de 5878 MWh.

Tabla 8. Cálculo de la producción del aerogenerador SG 2.1-114. Fuente: Propia

	Variación	Vel. Media (m/s)	N.º días	Pot. Nominal (MW)	Factor	Producción mensual (MWh)
ENERO	1,25	11,78	31	2,1	0,33	515,592
FEBRERO	1,2	11,30	28	2,1	0,33	465,696
MARZO	1,15	10,83	31	2,1	0,33	515,592
ABRIL	0,95	8,95	30	2,1	0,33	498,96
MAYO	0,95	8,95	31	2,1	0,33	515,592
JUNIO	0,9	8,48	30	1,9	0,33	451,44
JULIO	0,85	8,01	31	1,9	0,33	466,488
AGOSTO	0,8	7,54	31	1,9	0,33	466,488
SEPTIEMBRE	0,85	8,01	30	1,9	0,33	451,44
OCTUBRE	0,95	8,95	31	2,1	0,33	515,592
NOVIEMBRE	1,15	10,83	30	2,1	0,33	498,96
DICIEMBRE	1,2	11,30	31	2,1	0,33	515,592
						5877,432

Tras conocer la producción mensual del aerogenerador, se debe comprobar si es capaz de contrarrestar el consumo mensual a lo largo del año de la población de los concejos. En la Tabla 9 se compara el consumo mensual de la población con la producción mensual del aerogenerador. Al existir excedentes de energía en todos los meses del año, significa que el aerogenerador es capaz de abastecer a la población y no hay necesidad de cambiar de aerogenerador.

Estos excedentes serán vertidos a la red para ser vendidos en la casación diaria de la venta de energía en España.

Tabla 9. Cálculo de excedentes del aerogenerador SG 2.1-114. Fuente: Propia

	Consumo (MWh)	Producción (MWh)	Excedentes (MWh)
ENERO	486,68	515,59	28,91
FEBRERO	439,58	465,70	26,11
MARZO	384,63	515,59	130,96
ABRIL	321,84	498,96	177,12
MAYO	324,98	515,59	190,61
JUNIO	329,69	451,44	121,75
JULIO	431,73	466,49	34,75
AGOSTO	345,39	466,49	121,10
SEPTIEMBRE	340,68	451,44	110,76
OCTUBRE	353,24	515,59	162,36
NOVIEMBRE	321,84	498,96	177,12
DICIEMBRE	470,98	515,59	44,61

7.5. CAPEX

La evaluación de la inversión inicial, CAPEX, proporciona información sobre los costes estimados respecto a la adquisición e instalación del aerogenerador, la creación de una infraestructura eléctrica que lo conecte a la red, construcción de accesos, obra civil, y otros gastos relacionados.

El objetivo de este apartado es comprender el desglose de los costes de la inversión necesaria para la instalación del aerogenerador en la localidad de Villanueva de Oscos. En la Ilustración 22, sacada del estudio de energías renovables del IDAE, hace un desglose de los costes según la inversión inicial total. [28]



Ilustración 22. Rango de costes de inversión en un proyecto eólico. Fuente: IDAE

Según el estudio realizado por el IDAE, el precio de un aerogenerador (incluyendo transporte e instalación) varía en función de la potencia del generador eléctrico y la altura de la torre. El aerogenerador seleccionado para el proyecto tiene una altura de más de 100 metros de altura y una potencia superior a los 2 MW y, por tanto, el coste oscila entorno a los 980.000 €/MW. [28]

El coste de este aerogenerador de 2,1MW de potencia nominal y una altura de 114 metros, incluyendo transporte e instalación, es de 2.058.000 €, que equivale al 75% de la inversión inicial.

En la Tabla 10 se muestra un resumen de los costes de inversión en la instalación de un aerogenerador convencional, con un gasto inicial total de 2.744.000 €.

Tabla 10. Resumen de los costes de inversión en el proyecto eólico. Fuente: Propia

	% Inversión inicial	Coste (€)
Aerogenerador	75%	2.058.000,00 €
Obra civil e ingeniería	8%	219.520,00 €
Instalación eléctrica	5%	137.200,00 €
Subestación y conexión	10%	274.400,00 €
Otros	2%	54.880,00 €
Total		2.744.000,00 €

7.6. OPEX

Los gastos operativos y de mantenimiento, OPEX, anuales abarcan todos los costes asociados con el mantenimiento regular del aerogenerador, el monitoreo y supervisión del rendimiento, seguros, gastos administrativos y otros costes operativos asociados.[28]

El objetivo de este apartado es comprender el desglose de gastos de operativa y mantenimiento que tendrá el aerogenerador. Teniendo en cuenta los siguientes datos:

- Potencia nominal del aerogenerador es de 2,1 MW
- La producción anual del aerogenerador es de 5878 MWh
- La inversión inicial es de 2.744.000 €

La Tabla 11 resume de los gastos anuales de mantenimiento y operaciones necesarias en la realización de este proyecto, que incluye los costos relacionados con el mantenimiento eléctrico y del aerogenerador, seguro de responsabilidad obligatorio por ley, el alquiler (se ha optado por el pago anual de una cantidad determinada al Ayuntamiento de la localidad y no realizar un convenio respecto a los beneficios obtenidos), gastos de gestión y administración de la disposición del eólico y las tasas pertenecientes.

*Tabla 11. Resumen de los costes anuales de mantenimiento y operaciones del proyecto eólico.
Fuente: Propia*

	Coste	Medida	Coste OP&M (€)
Mantenimiento aerogenerador	12	€/MWh	70.536,00 €
Mantenimiento inst.eléctrica	1200	€/MW	2.520,00 €
Seguro	0,75%/inv.ini	€	20.580,00 €
Alquiler	6000	€/MW	12.600,00 €
Gestión y administración	6000	€/MW	12.600,00 €
Tasas	3000	€/MW	6.300,00 €
Total			125.136,00 €

El gasto operacional anual del aerogenerador equivale a 21,29 €/MWh.

7.7. WACC

“Weighted Average Cost of Capital” (WACC) desempeña un papel fundamental en la evaluación financiera del proyecto. El cálculo del WACC permite determinar el rendimiento financiero y la viabilidad económica del proyecto, especialmente en el caso de un “Special Purpose Vehicle” (SPV) asociado a la propuesta de una nueva instalación de un aerogenerador.[29]

La determinación de este indicador implica la análisis de la estructura de capital y los costes de financiación de la SPV vinculada a la realización del proyecto

7.7.1. SPV

La finalidad de una SPV es establecer una entidad legal separada de la empresa matriz con el fin de llevar a cabo un proyecto particular. Esta estructura financiera es comúnmente empleada en casos donde se pretende limitar los riesgos y proteger los activos de los accionistas o inversionistas involucrados implicados.[30]

Es decir, la empresa matriz, “sponsor”, crea una nueva compañía, una SPV, para que este opere independientemente a la empresa matriz. Sus objetivos son llevar a cabo, gestionar y controlar la evolución del proyecto, así como cumplir con los compromisos del pago de las deudas vinculados al proyecto y la remuneración de los accionistas implicados en él.

Estas compañías se caracterizan por tener una estructura de capital en la que el patrimonio, “equity”, representa un pequeño porcentaje del total necesario para realizar la inversión necesaria para llevar a cabo la financiación del proyecto. Además, un SPV facilita la gestión financiera al permitir una mayor transparencia en la contabilidad y una mejor asignación de recursos que proporciona un mayor ajuste en las posibles necesidades específicas del proyecto sin impactar en la empresa matriz.

En la forma tradicional de financiación en las empresas tenían que llevar a cabo la emisión de nuevas acciones o bonos para financiar los proyectos o deuda mediante la solicitud a entidades financieras (bancos y entidades de crédito).

7.7.2. Estructura de capital y costes de financiación

La estructura de capital en una SPV es diferente al modelo tradicional de financiación donde la gran parte de la inversión era mediante capital propio. En la Ilustración 23 muestra la relación entre la deuda y el patrimonio propio, comparando compañías que financian sus proyectos de forma tradicional o mediante el sistema de creación de una empresa independiente a la empresa matriz.

La Ilustración 23 refleja que más del 20% de total de compañías observadas en el estudio relacionadas con el modelo de Project Finance (creación de una SPV) tiene una relación entre la deuda total y la inversión total del proyecto del 70%. Por tanto, es común en la realización de una SPV que entre el 30 al 40% de la financiación venga de fondos propios y un 60 al 70% procedentes de solicitud de deuda a entidades financieras. Este es la estimación de estructura de capital que se va a llevar a cabo en el proyecto del aerogenerador.[31]

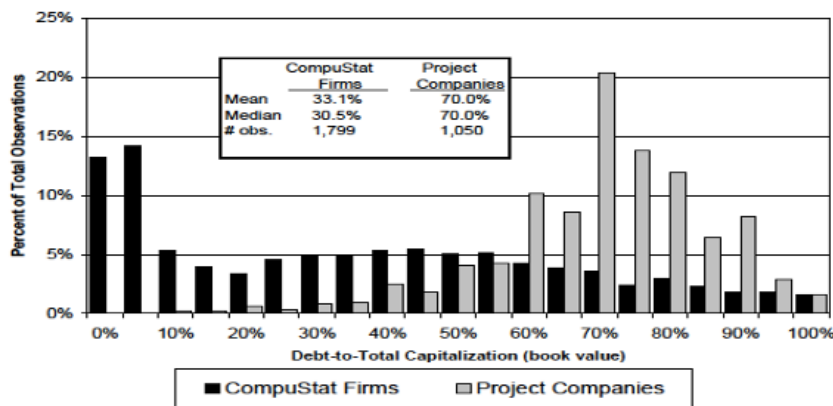


Ilustración 23. Porcentaje de financiación en el modelo de Project Finance. Fuente: Project Finance

Es necesario establecer los parámetros relacionados con el costo de capital que tienen una relación directa con el cálculo del WACC. Se tiene que determinar la inflación prevista en los próximos años, el interés de la deuda solicitada a una entidad financiera, la tasa impositiva corporativa de la empresa y el cost of equity.

Inflación

La inflación del 2023 se situó de media en un +3,6%, los análisis de las previsiones del IPC para España se ha proyectado que estará cerca del +3,0%. En la Ilustración 24 se muestra la previsión del IPC en los próximos años. Se estima que la inflación vinculada a la vida del proyecto será del 3% al igual que las estimaciones realizadas por Bankinter. [32]

Estimaciones IPC	2023 est.	2024 est.	2025 est.
IPC España	5,7	3,1	3,4
IPC Eurozona	9,2	2,8	2,9

Ilustración 24. Estimación del IPC en España. Fuente: Bankinter

Interés de la deuda

La financiación mediante deuda emitida por una entidad financiera tendrá un tipo de interés de deuda después de impuestos del 5%. [33]

Tasa impositiva corporativa de la empresa

El tipo de gravamen aplicables a las empresas en España está sujeta al impositivo general del 25%. [34]

Cost of Equity

Es el retorno esperado por los accionistas de una empresa o proyecto por invertir en estos. En otros términos, es el rendimiento mínimo que los accionistas esperan obtener como retribución por asumir el riesgo de invertir en la empresa o proyecto. [35], [36]

En este estudio se va a utilizar el método de "Security Market Line" (SML) donde:

- R_E : retorno esperado por los accionistas
- R_f : riesgo nulo de mercado
- β_E : riesgo sistemático de un activo
- R_M : riesgo del mercado

$$R_E = R_f + \beta_E(R_M - R_f) \quad [2]$$

En la Tabla 12 se hace un resumen de los parámetros para el cálculo del retorno esperado por los accionistas. El retorno esperado por los accionistas es del 8%.

Tabla 12. Resumen de los parámetros del cálculo del retorno esperado por los accionistas.
Fuente: Propia

Riesgo nulo de mercado (%)	3
Riesgo del mercado (%)	8
Beta	1
Retorno esperado (%)	8

El WACC está definido por, simplificado debido a la no existencia de “preferred stocks”:

- $\left(\frac{E}{V}\right)$: porcentaje de patrimonio propio en la estructura de capital
- R_E : retorno esperado por el accionista
- $\left(\frac{D}{V}\right)$: porcentaje de deuda en la estructura de capital
- R_D : interés de la deuda
- T_C : tasa impositiva corporativa

$$WACC = \left(\frac{E}{V}\right) \cdot R_E + \left(\frac{D}{V}\right) \cdot R_D \cdot (1 - T_C) \quad [3]$$

La Tabla 13 se hace un resumen de los parámetros para el cálculo WACC. El WACC calculado para el proyecto es del 5,025%.

Tabla 13. Resumen de los parámetros para el cálculo del wacc. Fuente. Propia

Estructura de capital	
Fondos propios (%)	30
Deuda (%)	70
Costes de financiación	
Inflación (%)	3
Interés de la deuda (%)	5
Tasa impositiva (%)	25
Cost of equity (%)	8
WACC	5,025

8. AEROGENERADORES VORTEX

En el panorama actual de las energías renovables, la búsqueda constante de tecnologías innovadoras y eficientes para la generación de energía sostenible es una prioridad. En este contexto, nacen los aerogeneradores Vortex con una propuesta radical que desafía los paradigmas conocidos de la energía eólica. Al prescindir de palas, engranajes y ejes, estos nuevos aerogeneradores presentan un nuevo reto en la captura de la energía del viento, aprovechando el fenómeno de los vórtices aeroelásticos. [10]

Esta nueva tecnología, desarrollada por la empresa española Vortex Bladeless, persigue la creación de un aerogenerador que respete al medio ambiente y pueda contribuir al incremento del uso de las energías renovables basándose en la resonancia aeroelástica para generar energía.



Ilustración 25. Logo de la compañía Vortex Bladeless. Fuente: Vortex Bladeless

La innovación en esta nueva tecnología radica en su diseño único. A diferencia de los aerogeneradores convencionales, que dependen de la rotación de sus palas para la captura de la energía del viento, el Vortex consiste en un cilindro anclado al suelo que oscila de manera controlada. Esta vibración en el cilindro es inducida por la generación de vórtices alrededor de su cuerpo, generando diferencia de presiones entre los extremos del cilindro. Este movimiento es convertido en energía mediante un sistema innovador, patentado por la empresa española, de conversión electromagnética.

Estos dispositivos están especialmente diseñados, actualmente, con las intenciones de aumentar el rango de tamaño para competir contra los aerogeneradores convencionales en la conversión de energía a gran escala, así como para la generación in situ de energía en entornos residenciales o rurales. Su fácil integración para complementar otras fuentes de energía, como la solar, ofrece un amplio repertorio de posibilidades en el autoconsumo de viviendas y/o infraestructuras comunitarias o públicas.

En este proyecto se pretende estudiar y analizar el potencial de los aerogeneradores Vortex para transformar el panorama de la energía renovable, destacando sus ventajas, desafíos y viabilidad económica del prototipo desarrollado por la empresa española.

8.1. ESTRUCTURA Y MATERIALES

El diseño de los aerogeneradores Vortex difiere significativamente del aerogenerador convencional que cuentan con aspas, góndola y una torre. Este dispositivo está compuesto de un único mástil de forma cilíndrica, anclado al suelo mediante una base. [10]

En la Ilustración 26 se contempla el diseño del aerogenerador y la diferenciación entre las dos partes del dispositivo, mástil y base. Ambas partes están construidas principalmente mediante polímero reforzado de fibra de carbono (CFRP). Este material proporciona unas características indispensables al dispositivo, ya que proporciona una resistencia excepcional ante la fatiga debido a la alta flexibilidad remanente en este polímero. La fatiga es un aspecto crítico y condicionante en el diseño del aerogenerador al que tuvieron que enfrentarse la empresa española debido a que el aerogenerador estará sometido a movimientos oscilatorios prolongados que pueden llegar a provocar un desgaste progresivo en sus componentes.

Además, las fibras de carbono contribuyen a minimizar las pérdidas de energía, fundamental para aumentar la capacidad de producción del dispositivo. Por tanto, el uso de este polímero asegura la durabilidad y eficiencia operativa a lo largo de la vida útil del Vortex.

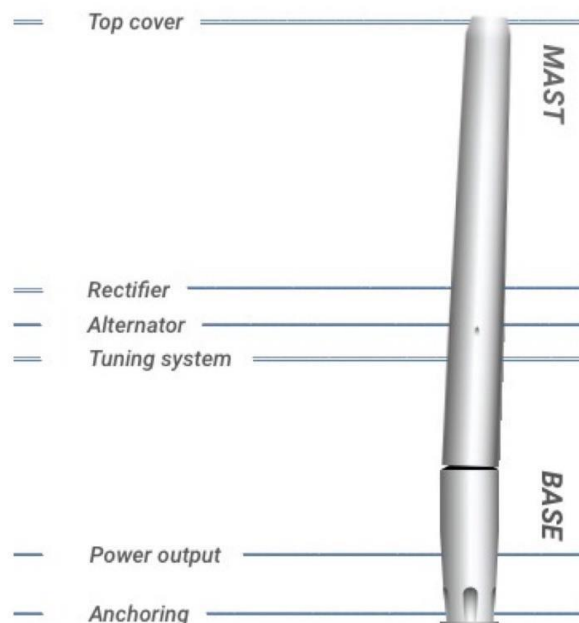


Ilustración 26. Diseño y partes del aerogenerador Vortex. Fuente: Vortex Bladeless

8.2. CONVERSIÓN DE ENERGÍA

La conversión de energía en los aerogeneradores Vortex es un proceso que aprovecha el fenómeno de la resonancia aeroelástica y la formación de vórtices inducidos por el viento para la generación de energía mediante un sistema de conversión electromagnética. En este apartado, se realiza una sinopsis condensada de los aspectos más generales del funcionamiento y la interacción fluido - estructura debido al Vortex Induced Vibration (VIV).

8.2.1. Resonancia

La resonancia se produce cuando una oscilación es amplificada por un movimiento periódico con el tiempo. El aire puede inducir un movimiento oscilatorio sobre un cuerpo en reposo cuando la frecuencia natural del cuerpo y la frecuencia de aparición de vórtices en la estela del cuerpo son similares. Las vibraciones de un cuerpo inducidas por la aparición de vórtices en su estela es conocido como fenómenos de VIV.

En la Ilustración 27 se observa la generación de vórtices, apareciendo fuerzas en dirección normal a la corriente de aire incidente, en la estela del aire tras el cuerpo del aerogenerador Vortex.

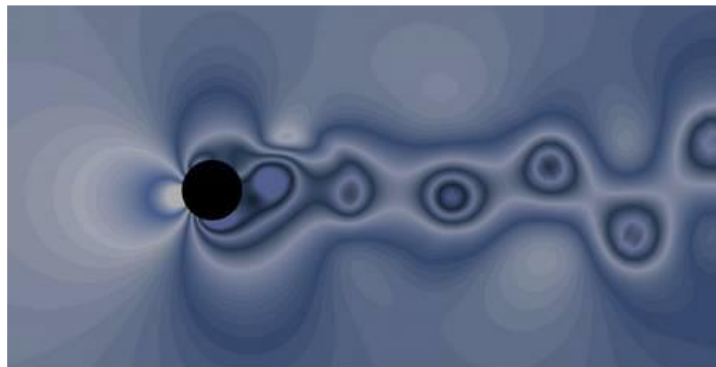


Ilustración 27. Fenómeno de VIV. Fuente: Vortex Bladeless

La frecuencia de aparición de vórtices en la estela de un cuerpo está condicionada, según la expresión, por una constante de proporcionalidad, St , entre la velocidad media del aire incidente, v , y la inversa de su dimensión característica, ϕ . La dimensión característica hace referencia al área del cuerpo en el que incide la corriente de aire.[37]

$$f = \frac{St \cdot v}{\phi} \quad [4]$$

La velocidad media del aire incidente es un factor condicionante en la frecuencia de la formación de vórtices y, por tanto, en la resonancia. Sin embargo, la dirección de incidencia del aire y la diferencia de velocidades según la altura sobre el nivel del suelo son unos factores relevantes en el estudio de la frecuencia de aparición y diseño del aerogenerador.

Por un lado, la dirección del viento no es constante, menos aún en entornos urbanos a nivel de suelo, donde la interacción de las corrientes con los elementos próximos al aerogenerador pueden influenciar en la dirección del viento drásticamente. Esta situación provoca que sea necesario equipos de orientación en los aerogeneradores convencionales o un estudio severo del histórico de la rosa de los vientos para intentar posicionar de forma más eficiente el aerogenerador en la zona.

Por otro lado, la diferencia de la velocidad media del aire respecto a la altura está condicionada por la Ley de Hellman. Esta ley describe como varía el gradiente vertical de velocidad del aire, como se observa en la Ilustración 28, disminuye según nos alejamos del suelo y la diferencia entre gradientes de velocidades según el entorno. [38]

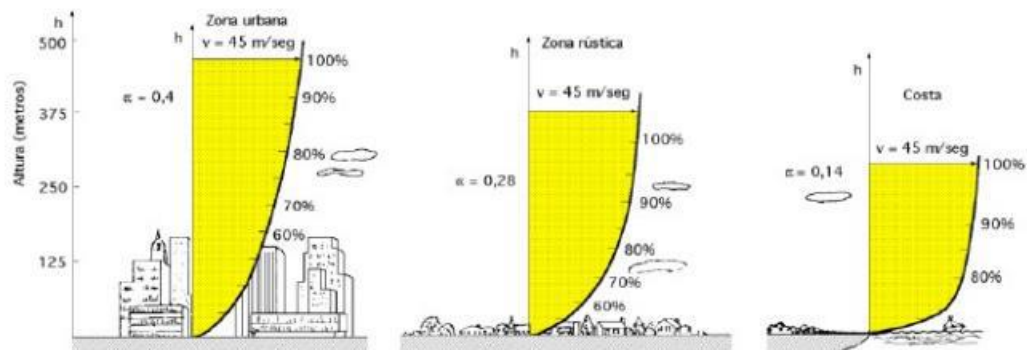


Ilustración 28. Ley de Hellman. Fuente: Fundamentos Aerodinámicos

Por lo tanto, la empresa tuvo que encontrar una forma geométrica que pudiera adaptarse a las variaciones de velocidad del aire incidente en relación con la altura del aerogenerador, con el objetivo de acercar el rendimiento de la conversión de la energía cinética del viento al límite de Betz. Para lograr este objetivo, consideraron modificar las dimensiones del dispositivo a medida que aumentaba su altura, de manera que las fuerzas perpendiculares a la dirección del flujo de aire trabajaran en fase y de manera coordinada. Con estas dos restricciones en el diseño, la empresa española pensó en una estructura cilíndrica que disminuye el diámetro según su altura.

Después de definir la forma geométrica del aerogenerador y extrapolando a la expresión de la frecuencia de aparición de vórtices se tiene que la dimensión característica está mejor definida con: [37]

$$\phi = D + aX \quad [5]$$

En donde la dimensión característica ϕ es la suma del diámetro del cilindro, D , y la amplitud de la oscilación, X , multiplicada por un factor de ajuste, a , dependiente de Reynolds. Por tanto, la expresión modificada:

$$f = \frac{St \cdot v}{D + aX} \quad [6]$$

Esta expresión solo sería válida para un punto en concreto del eje y . Entonces, la expresión final para toda la altura del aerogenerador sería:

$$f(y) = \frac{St \cdot v(y)}{D(y) + aX(y)} \quad [7]$$

Igualando la frecuencia de desprendimiento de vórtices en toda la altura del aerogenerador se obtiene que el diámetro del mástil del aerogenerador debe ajustarse a la siguiente expresión:

$$D(y) = d \cdot \frac{v(y)}{v\left(\frac{L}{2}\right)} - a \cdot X(y) \quad [8]$$

En donde el diámetro del mástil queda definido por el diámetro de la base, d , respecto a la diferencia de velocidades entre una altura y y la velocidad del aire en el extremo de la base del aerogenerador más las fluctuaciones de la oscilación respecto el eje y . En la Ilustración 29 se observa la diferencia de diámetro al aumentar la altura el aerogenerador y las cotas de cada parámetro descrito con anterioridad.

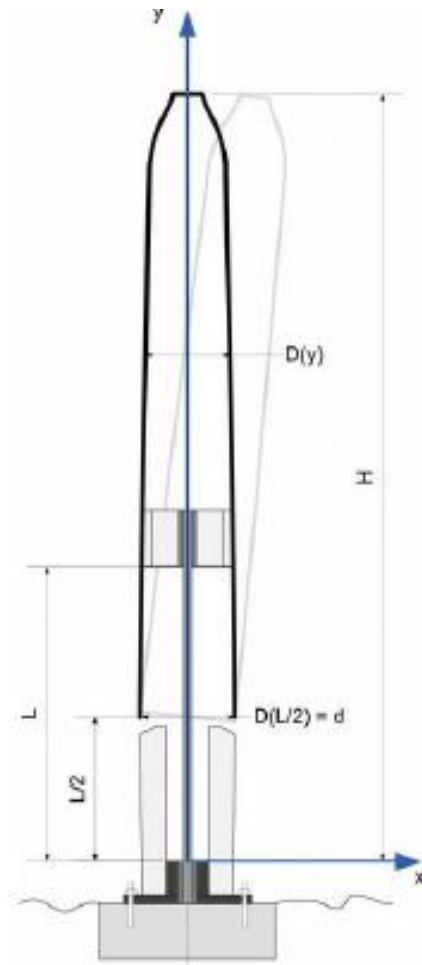


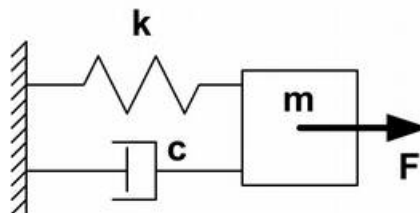
Ilustración 29. Diferencia de diámetro al aumentar la altura del aerogenerador Vortex. Fuente: Vortex Bladeless

8.2.2. Sintonizado

Sabiendo que la frecuencia de desprendimientos de vórtices es directamente proporcional a la velocidad media del aire, la cual no es constante el tiempo. Considerando que la frecuencia natural del aerogenerador es fija, se obtiene que el rango de velocidades con el que se consigue la resonancia, también conocido como lock-in, es limitado. Por tanto, para aumentar el número de horas equivalente en las que el aerogenerador es capaz de estar en resonancia y ,por consiguiente, generar energía, es aumentar el rango de velocidades para conseguir lock-in más amplio.

Por parte de la empresa española llegaron a una solución para conseguir un aumento del lock-in sin la introducción de ningún eje mecánico móvil. A continuación, se explica con detenimiento el funcionamiento del sintonizado del Vortex, donde consiguieron modificar la frecuencia natural del aerogeneradores respecto a la velocidad media del aire.

El comportamiento de un aerogenerador resonante por VIV sin un sistema de sintonizado puede semejarse al esquema de la Ilustración 30. Se trata de un esquema de un oscilador armónico amortiguado en donde la masa, m , es la masa del mástil del aerogenerador, la constante de elasticidad del resorte, k , es la varilla del mástil y la constante del amortiguador, c , sería el alternador. Dentro de la constante del amortiguador estarían también incluidas las pérdidas generadas en el sintonizado. [37]

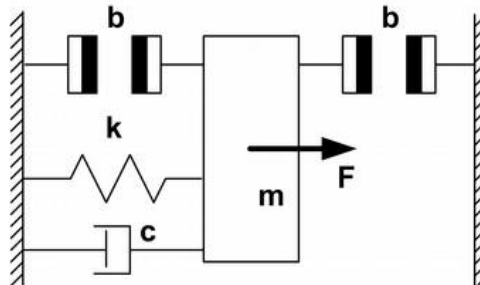


*Ilustración 30. Esquema de un oscilador armónico amortiguado sin sistema de sintonizado.
Fuente: Vortex Bladeless*

Por tanto, la masa de un mástil sustentado por una varilla, que tiene una rigidez intrínseca en ella, y amortiguado por el alternador del aerogenerador resonará si la frecuencia del aire es semejante a la establecida por este sistema, su frecuencia natural. Siendo condicionada la frecuencia natural del aerogenerador por la siguiente expresión:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m} - \left(\frac{c}{2m}\right)^2} \quad [9]$$

El objetivo del sintonizado era el aumentar el rango del lock-in de la resonancia para incrementar las horas equivalentes del aerogenerador para la producción de energía, el diseño se estableció en el aerogenerador Vortex consiste en agregar dos pares de imanes permanentes magnetizados con la misma orientación, ubicado uno en la masa y el otro fijo en la estructura del aerogenerador. Esta nueva estrategia para aumentar el lock-in se representa en este nuevo esquema, Ilustración 31, del oscilador armónico modificado.



*Ilustración 31. Esquema de un oscilador armónico amortiguado con sistema de sintonizado.
Fuente: Vortex Bladeless*

La fuerza magnética entre los imanes varía inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre los polos, comportándose como un muelle o resorte de compresión con una constante, k' , de elasticidad que depende del desplazamiento. Por consiguiente, la expresión de la frecuencia natural del aerogenerador es modificada:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k + k'(x)}{m} - \left(\frac{c}{2m}\right)^2} \quad [10]$$

A medida que se van acercando más los imanes entre ellos y, por tanto, disminuyendo la distancia entre polos, la fuerza de repulsión entre ellos aumenta más rápida que de forma lineal. Este fenómeno consigue que la frecuencia natural cambie acorde a la oscilación del mástil.

Este efecto se puede conseguir utilizando uno o varias parejas de imanes permanentes con una polarización axial, como los de la Ilustración 32, donde el de menor diámetro está fijo en la varilla del mástil y el de mayor diámetro va fijo a la parte interior de la estructura del mástil. No se establece una polarización radial debido a que el diseño del aerogenerador se busca una simetría axial completa para un comportamiento totalmente independiente de la dirección del viento. [37]

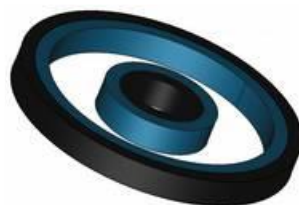


Ilustración 32. Imán permanente con polarización axial. Fuente: Vortex Bladeless

Un aumento de velocidad del aire produce un incremento de amplitud de oscilación, al aumentar la amplitud de oscilación provoca que la energía potencial almacenada durante la flexión aumenta considerablemente que con un resorte lineal (incrementando la frecuencia de oscilación del conjunto del aerogenerador). Por tanto, la incorporación de los imanes permanentes en el aerogenerador produce un aumento de lock-in que se refleja en la Ilustración 33 donde la figura b (sintonizado) es capaz de obtener un rango de velocidades mayor que la figura a (sin sintonizado). [37]

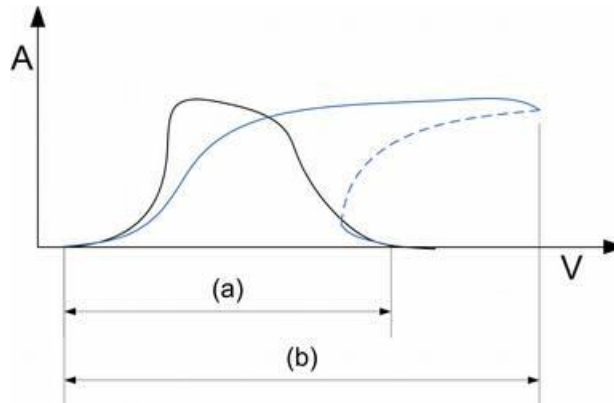


Ilustración 33. Lock-in del aerogenerador con y sin sintonizado. Fuente: Vortex Bladeless

8.2.3. Alternador

La conversión de energía mecánica a energía eléctrica se realiza mediante inducción electromagnética, a través de la utilización de un alternador de imanes permanentes.

En el diseño del alternador, al igual que el sintonizado, hay que tener en cuenta la necesidad de mantener la simetría axial completa para tener un comportamiento independiente de la dirección del viento. Por este motivo, imanes permanentes en forma de anillo y solidarios a la varilla y mástil del aerogenerador es la estrategia más indicada para la transformación de energía mecánica en eléctrica. [10], [37]

La utilización de los mismos imanes permanentes para el sintonizado y para la conversión de energía produce una disminución de costes de producción y un ahorro considerable de peso, importante para no influenciar en la capacidad estructural si se llegase a colocar en los tejados o azoteas de viviendas.

En la Ilustración 34 se observan todas las componentes del alternador en el interior del aerogenerador. Siendo “a” los imanes solidarios a la varilla, “b” los imanes solidarios a la estructura y “c” el soporte que se fija al suelo.

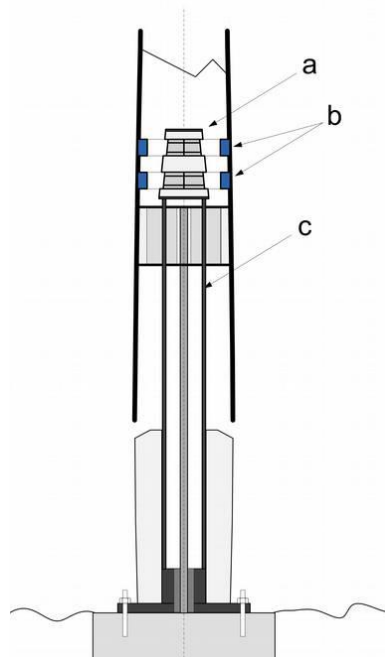


Ilustración 34. Componentes y estructura del alternador del aerogenerador Vortex. Fuente: Vortex Bladeless

La salida de potencia eléctrica del alternador es corriente alterna y frecuencia variable, en esta nueva tecnología se sigue utilizando los procesos convencionales de rectificación, filtrado y regulación eléctrica.

8.3. COMPARATIVA CON AEROGENERADORES CONVENCIONALES

En este apartado del proyecto, se abordará una comparativa entre los aerogeneradores convencionales y el aerogenerador Vortex, centrándose en los componentes de los aerogeneradores, la necesidad de dispositivos de orientación, vida útil y la capacidad de generación.

Los aerogeneradores convencionales que se utilizarán para comparar con los aerogeneradores Vortex serán los pertenecientes a la “familia” de la minieólica y de dimensiones similares a los del prototipo del Vortex. El Vortex que se utilizará en la realización del estudio de este proyecto es el conocido como “Vortex Tacoma”, con una altura de 2,75 metros, un diámetro de 45 centímetros y un peso total de 15 kg. [37]

En la Ilustración 35 se hace una recapitulación de los diferentes aerogeneradores en la minieólica. De izquierda a derecha se tendría un aerogenerador de eje horizontal (HAWT), dos aerogeneradores de eje vertical (VAWT) y el aerogenerador Vortex. [39], [40]

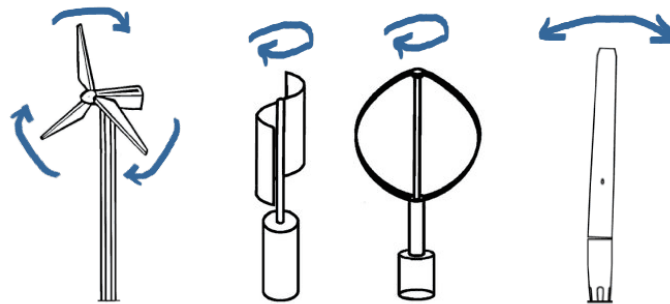


Ilustración 35. Tipos de aerogeneradores en la minieólica. Fuente: Vortex Bladeless

8.3.1. Componentes

Los aerogeneradores Vortex con su diseño innovador en el cual se prescindiría de cualquier elemento mecánico móvil, este diseño elimina la necesidad de elementos de transmisión convencionales como los engranajes, rodamientos y casquillos. Además, la eliminación de la necesidad de la utilización de frenos que puedan llegar a degradarse con el paso del tiempo debido al uso, fricción o rotura.

La ausencia de estos componentes móviles en el diseño del aerogenerador elimina la necesidad de uso de lubricantes, reduciendo los costes de producción y de mantenimiento a lo largo de la vida útil de este. De igual forma, la eliminación de elementos de arranque mecánico simplifica la operación y reduce el riesgo de posibles fallos técnicos.

8.3.2. Sistemas de orientación

Los aerogeneradores Vortex eliminan la necesidad de estudios previos de emplazamiento para conocer la disposición adecuada de los aerogeneradores y/o la integración de un sistema de orientación en el propio aerogenerador, solamente vinculados a los aerogeneradores de tipo HAWT debido a que los aerogeneradores VAWT no necesitan de sistemas de orientación integrados.

Esta capacidad de adaptación a los cambios constantes en la dirección del viento aporta a los aerogeneradores Vortex una ventaja extraordinaria, especialmente en entornos urbanos donde las condiciones del viento pueden ser irregulares debido a las obstrucciones y variaciones en el flujo causadas por la presencia de estructuras cercanas.

8.3.3. Vida útil

La vida útil de los aerogeneradores Vortex es similar a los aerogeneradores convencionales disponibles actualmente en el mercado, aproximadamente 20 años de operatividad sin ningún tipo de mantenimiento excesivo, cambios de piezas importantes o sustitución total del dispositivo.

8.3.4. Capacidad de generación

El estudio de la capacidad de generación de los aerogeneradores está directamente ligada al estudio de viabilidad económica del proyecto debido a la importancia de conocer la producción resultante por hora, día, mes y año de cada aerogenerador para conocer el posible ahorro o ingreso de dinero.

En la Tabla 14 se muestra la potencia de cada tipo de aerogenerador respecto a un rango de velocidades de viento. En la tabla se observa que la potencia del Vortex es menor que en los aerogeneradores convencionales, pero que comienza a producir energía a velocidades más bajas que los convencionales. [10]

Tabla 14. Potencia de cada tipo de aerogenerador de la minieólica respecto a la velocidad del viento. Fuente: Propia

Velocidad del viento (m/s)	HAWT pequeño (W)	VAWT pequeño (W)	Vortex Tacoma (W)
3	0	0	3
6	72	44	35
7	104	66	60
8	135	86	80
9	160	105	93
Velocidad nominal	400	200	100

9. ESTUDIO INSTALACIÓN VORTEX

Se va a analizar la instalación de los aerogeneradores Vortex para obtener un autoconsumo parcial de una vivienda en la localidad de Villanueva de Oscos, Asturias.

La vivienda elegida es un caserío típico de la comarca que dispone de dos plantas, 3 habitaciones y 2 baños, donde viven durante todo el año una pareja y sus dos hijos. Está situada a las afueras del municipio en la pedanía de Santa Eufemia. En la Ilustración 36 se muestra la fachada de la vivienda familiar.



Ilustración 36. Fachada de la vivienda familiar. Fuente: Google Maps

En el estudio de la instalación se abordará la selección de la ubicación y el estudio del recurso eólico que hay en esa ubicación. Este es el primer paso para conocer el número de aerogeneradores que se deberán instalar en base al consumo del hogar. Posteriormente, se realizará el estudio de viabilidad económica teniendo en cuenta el coste y el mantenimiento de los aerogeneradores instalados en la vivienda.

9.1. SELECCIÓN DE LA UBICACIÓN

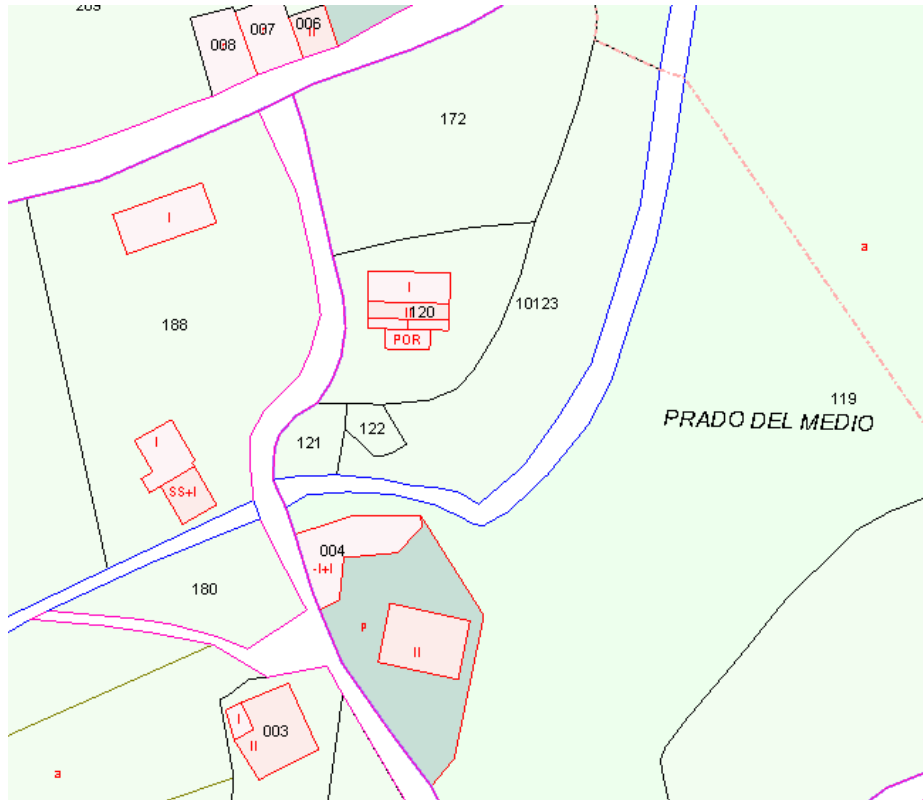
La selección adecuada de la ubicación para la instalación del aerogenerador Vortex es un paso crucial en el desarrollo del proyecto de autoconsumo parcial de una vivienda.


Para la instalación de los aerogeneradores Vortex, existen dos alternativas reales: instalarlos sobre el tejado de la vivienda o sobre el suelo adyacente a esta. La primera opción se ha descartado debido al impacto en la capacidad estructural de la vivienda. Se tendría que realizar un estudio exhaustivo sobre capacidad estructural de la vivienda debido a las vibraciones producidas por el aerogenerador, además de considerar su peso.

Por otro lado, desde un punto de vista más estético, colocar un dispositivo de más de 2 metros de altura en el tejado de una vivienda unifamiliar no es un opción que los propietarios de la vivienda consideren adecuada.

Sin embargo, la vivienda dispone de unos terrenos vacíos en la propia parcela a la misma altura del suelo, donde ellos ven factible su instalación por estar más resguardado a la vista.

En la Ilustración 37 se observan el mapa del catastro del municipio de Santa Eufemia y la información de la parcela e inmueble, donde se observa que la parcela es la 004 y está constituida por un total de 700 m². [24]




Información de parcelas e inmuebles

PARCELA CATASTRAL D01200400PH69E


Croquis



Fotografía fachada



Parcela construida sin división horizontal
CS SANTA EUFEMIA 4(A)
VILLANUEVA DE OSCOS (ASTURIAS)
708 m²

Más información de la parcela ▼

INFORMACIÓN DE LOS INMUEBLES


D01200400PH69E0001LU CS SANTA EUFEMIA 4 (A)
Residencial | 496 m² | 100,00% | 1890

Ilustración 37. Catastro de la vivienda seleccionada para la instalación de los aerogeneradores Vortex. Fuente: Catastro

En la parte trasera, como muestra la Ilustración 38, se tiene aproximadamente unos 50 m² de terreno donde se puede realizar la instalación de los aerogeneradores. Sin embargo, hay que examinar si esta ubicación es la ideal para su instalación. Se debe analizar la rosa de los vientos de la ubicación, porque tiene la vivienda muy próxima y esto podría suponer un inconveniente por opacidad del viento a los aerogeneradores Vortex.

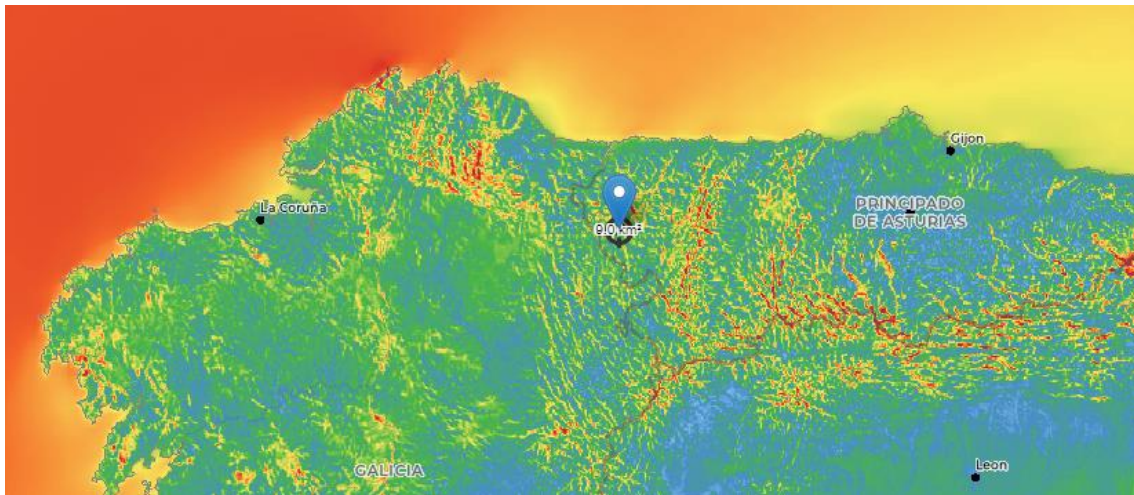
Después de comprobar la rosa de los vientos, se tiene que calcular el número de aerogeneradores necesarios para el autoconsumo de la vivienda, asegurando de que quepan adecuadamente en el terreno disponible y respetando la separación mínima entre ellos.



Ilustración 38. Parte trasera de la vivienda. Fuente: Google Maps

9.2. ESTUDIO DEL RECURSO EÓLICO

Tras determinar la zona donde se va a realizar la instalación de los aerogeneradores Vortex, se establece que la ubicación exacta de la instalación será en una vivienda particular a las afueras de la localidad de Villanueva de Oscos, en las coordenadas geográficas 43.303190, -6.991580. Mediante la utilización del software de la DTU, Global Wind Atlas, se han determinado las velocidades medias de la ubicación, las variaciones mensuales respecto a las velocidades medias del viento y la dirección del viento mediante la utilización de la rosa de frecuencias. La Ilustración 39 muestra la selección de la ubicación en el software. [14]



*Ilustración 39. Selección de la ubicación de la instalación de los aerogeneradores Vortex.
Fuente: Global Wind Atlas*

Primero, la ubicación seleccionada para la instalación de los aerogeneradores Vortex, en la parte trasera de la parcela de la vivienda, requiere una cuidadosa evaluación de la dirección del viento predominante en la zona. Al analizar la rosa de los vientos de frecuencia, se determina que la dirección predominante del viento a una altura de 10 metros sobre la superficie es compatible con la disposición de la parcela, lo que garantiza que el flujo de aire no interfiera con la casa.

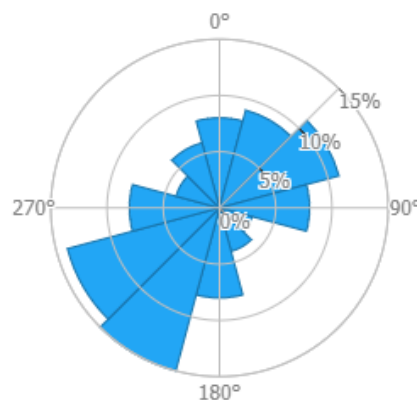


Ilustración 40. Rosa de frecuencias de laa ubicación seleccionada para la instalación de los aerogeneradores Vortex. Fuente: Global Wind Atlas

En la parte trasera de la vivienda a nivel del suelo se tiene una velocidad media del viento de 5,34 m/s y una variabilidad mensual de la velocidad media que se muestra en la Ilustración 41.[14]

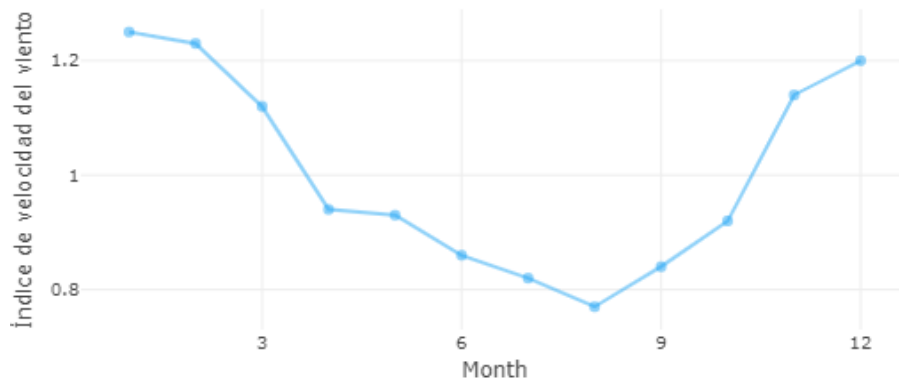


Ilustración 41. Variabilidad mensual de la velocidad media en la ubicación seleccionada para la instalación de los aerogeneradores Vortex. Fuente: Global Wind Atlas

En el estudio de la producción mensual de las instalación de los aerogeneradores Vortex, la variabilidad de la velocidad media del viento es un factor clave que condicionara la potencia producida por estos aerogeneradores durante su funcionamiento. En la Tabla 15 se muestra las velocidades medias del viento en cada mes del año respecto a la velocidad media de 5,34 m/s, así como la variabilidad mensual de la gráfica anterior.

Tabla 15. Variación y velocidad media del viento en la ubicación seleccionada para la instalación de los aerogeneradores Vortex. Fuente: Propia

	Variación	Vel. media (m/s)
ENERO	1,25	6,68
FEBRERO	1,2	6,41
MARZO	1,15	6,14
ABRIL	0,95	5,07
MAYO	0,95	5,07
JUNIO	0,9	4,81
JULIO	0,85	4,54
AGOSTO	0,8	4,27
SEPTIEMBRE	0,85	4,54
OCTUBRE	0,95	5,07
NOVIEMBRE	1,15	6,14
DICIEMBRE	1,2	6,41

9.3. SELECCIÓN DEL NÚMERO DE DISPOSITIVOS

El primer paso antes de realizar el cálculo de la producción de los aerogeneradores es determinar el número de Vortex que se van a instalar en la vivienda y qué tipo de autoconsumo se realizará en la vivienda, ya sea parcial o total.

El cálculo del número de aerogeneradores necesarios está directamente relacionado con el consumo de la vivienda. Por tanto, se va a estudiar el consumo de una vivienda teniendo en cuenta las características de la vivienda y la zona geográfica en la que se encuentra. Con estos resultados y la producción media de cada aerogenerador según la velocidad media del viento en esta ubicación se decidirá el número de aerogeneradores y el tipo de autoconsumo finalmente seleccionado para la vivienda.

Según el estudio de consumo eléctrico de una vivienda, donde residen 4 personas, realizado por la Organización de Consumidores y Usuarios (OCU) comparando la diferencia de consumo entre el año 2019 y 2020 proporciona una estimación muy aproximada del consumo real de una vivienda promedio en España. En la Ilustración 42 se observa la variación horaria (eje x) del consumo (eje y) en kWh de los dos años estudiados. [41]

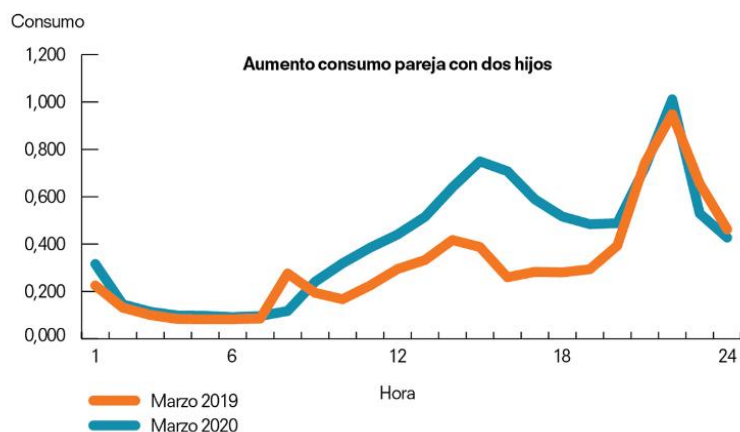


Ilustración 42. Consumo eléctrico por horas diario en un hogar medio en España en 2019 y 2020. Fuente: OCU

Mediante la Ilustración 42 se obtiene el consumo eléctrico en cada hora, obteniendo la Tabla 16 con el desglose en cada franja horaria en 2019.

Tabla 16. Consumo eléctrico por horas diario en 2019. Fuente: Propia

	Piso (kWh)
0:00	0,5
1:00	0,25
2:00	0,175
3:00	0,125
4:00	0,1
5:00	0,1
6:00	0,1
7:00	0,125
8:00	0,3
9:00	0,25
10:00	0,225
11:00	0,25
12:00	0,3
13:00	0,325
14:00	0,4
15:00	0,375
16:00	0,35
17:00	0,35
18:00	0,35
19:00	0,35
20:00	0,375
21:00	0,6
22:00	0,8
23:00	0,6

El consumo medio de una vivienda en España en 2019 se estima en 7,7 kWh/día. Estimando que el consumo medio actual permanece constante en España, y extrapolando este consumo a una casa unifamiliar, donde también residen 4 personas, en el Norte de España se obtiene la Tabla 17.

Para obtener el consumo eléctrico en la vivienda unifamiliar, se ha calculado sacando el porcentaje del consumo total de la vivienda según el OCU y después multiplicando este porcentaje por el consumo diario de la vivienda unifamiliar, según la Tabla 16 . Por ejemplo, el consumo eléctrico a las 16:00 en una familiar sería:

$$\% \text{ consumo vivienda según la OCU a las 16:00} = \frac{0.35 \text{ kWh}}{7.7 \text{ kWh/día}} * 100 = 4.56 \% \quad [11]$$

$$\text{Consumo en kWh de una vivienda unifamiliar a las 16:00} = 4.56 \% * 14.98 \text{ kWh/día}$$

$$\text{Consumo en kWh de una vivienda unifamiliar a las 16:00} = 0.68 \text{ kWh}$$

Tabla 17. Consumo diario de la vivienda unifamiliar. Fuente: Propia

	Piso (kWh)	% Consumo diario	Unifamiliar (kWh)
0:00	0,5	0,07	0,98
1:00	0,25	0,03	0,49
2:00	0,175	0,02	0,34
3:00	0,125	0,02	0,24
4:00	0,1	0,01	0,20
5:00	0,1	0,01	0,20
6:00	0,1	0,01	0,20
7:00	0,125	0,02	0,24
8:00	0,3	0,04	0,59
9:00	0,25	0,03	0,49
10:00	0,225	0,03	0,44
11:00	0,25	0,03	0,49
12:00	0,3	0,04	0,59
13:00	0,325	0,04	0,63
14:00	0,4	0,05	0,78
15:00	0,375	0,05	0,73
16:00	0,35	0,05	0,68
17:00	0,35	0,05	0,68
18:00	0,35	0,05	0,68
19:00	0,35	0,05	0,68
20:00	0,375	0,05	0,73
21:00	0,6	0,08	1,17
22:00	0,8	0,10	1,56
23:00	0,6	0,08	1,17

Después de calcular el consumo eléctrico en cada franja horaria de la vivienda, se van a plantear tres hipótesis para calcular el número de aerogeneradores:

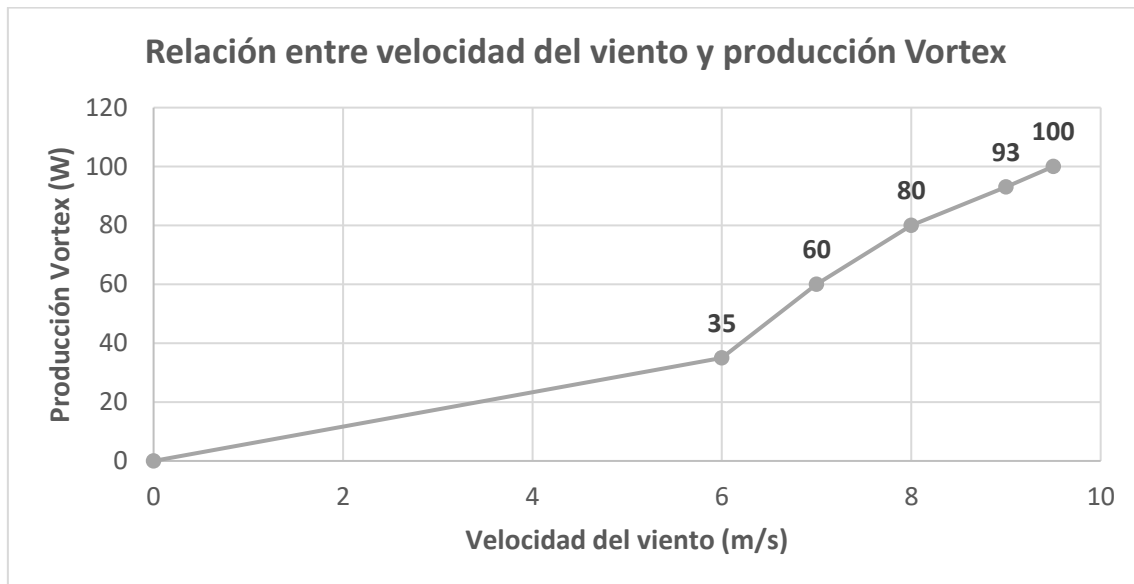
- **Hipótesis 1:** Autoconsumo total de la vivienda, generado la instalación de Vortex un total de 1,56 kWh.
- **Hipótesis 2:** Autoconsumo parcial, generando la instalación de Vortex un total de 0,68 kWh.
- **Hipótesis 3:** Autoconsumo parcial, generando la instalación de Vortex un total de 0,18 kWh.

La hipótesis 1 está orientada a realizar un autoconsumo total mediante la instalación. Si la instalación era capaz de abastecer el consumo horario más elevado durante el día (consumo a las 22:00), sería capaz de abastecer a las demás franjas horarias y el sobrante sería vertido a la red.

La hipótesis 2 está orientada a realizar un autoconsumo parcial de la vivienda mediante la instalación. La instalación sería capaz de abastecer a más del 75 % del consumo de la vivienda y en las franjas que tuviera sobrante sería vertido a la red.

La hipótesis 3 está orientada a realizar un autoconsumo parcial de la vivienda mediante la instalación. La instalación no sería capaz de abastecer completamente a ninguna franja horaria el consumo de la vivienda, pero si estaría compensado una parte del consumo y no se vertería nada a la red.

Primero se ha de estimar la producción unitaria de cada aerogenerador Vortex que tendría si estuviera instalado en la parcela de la vivienda. En la Ilustración 43 se observa la evolución de la producción del Vortex en Watios con el aumento de la velocidad media en m/s.



*Ilustración 43. Relación entre velocidad del viento y producción del aerogenerador Vortex.
Fuente: Propia*

Sabiendo que la velocidad media en dicha ubicación es de 5,34 m/s se realiza una aproximación lineal para calcular la producción unitaria de cada aerogenerador:

$$\Delta m = \frac{35}{6}$$

$$y(x) = \frac{35}{6}x \quad [12]$$

$$y(5,34) = \frac{35}{6} * 5,34 \approx 30$$

Por tanto, la producción por cada Vortex sería de 30 Wh.

En la Tabla 18 se hace un resumen de los resultados de las tres hipótesis, donde queda reflejado el consumo a intentar compensar con la instalación y el número de aerogeneradores necesarios para hacerlo.

Tabla 18. Resumen del consumo a compensar y número de Vortex necesarios para cada hipótesis. Fuente: Propia

	Hipótesis 1	Hipótesis 2	Hipótesis 3
Consumo a compensar (kWh)	1,56	0,68	0,18
N.º Vortex necesarios	52	23	6

La hipótesis seleccionada para llevar a cabo en el proyecto es la hipótesis 3. El criterio para seleccionar esta hipótesis es simplemente funcional y pragmática. No es realista instalar 23, y menos aún la instalación de 52, aerogeneradores de casi 3 metros de altura en la parte trasera de una vivienda.

Con la hipótesis seleccionada y conocido el número de aerogeneradores que se van a instalar en la vivienda es necesario saber si estos caben, dejando el espacio suficiente entre ellos, en la parcela seleccionada.

Según la empresa Vortex Bladeless, es necesario una separación mínima entre aerogeneradores de la mitad de su diámetro para no tener interferencias en el flujo de aire que puedan afectar a la producción de estos. La altura del aerogenerador Vortex Tacoma, el usado en esta instalación, es de 2,75 metros de altura y, por tanto, es necesario la separación mínima de un diámetro de 1,5 metros de distancia entre aerogeneradores a la hora de realizar la instalación. [10]

El área necesario para la instalación de 6 aerogeneradores sería de:

$$\text{Área necesaria para cada Vortex} = \pi D^2 = \pi * 1,5^2 = 7,07 \text{ m}^2 \quad [13]$$

$$\text{Área necesaria para realizar la instalación} = N.^{\circ} \text{Vortex} * A_{\text{necesaria}} \quad [14]$$

$$\text{Área necesaria para realizar la instalación} = 6 * 7,07 \approx 43 \text{ m}^2$$

El área disponible en la parcela es 50 m^2 , menor que la necesaria y, por tanto, viable a nivel de instalación.

En conclusión, se van a instalar 6 aerogeneradores Vortex en la parte trasera de la vivienda unifamiliar para realizar un autoconsumo parcial, sin verter el sobrante a la red eléctrica.

9.4. PRODUCCIÓN ANUAL

El cálculo de la producción anual de la instalación de aerogeneradores Vortex es el primer paso para conocer la viabilidad económica de la posible instalación de este sistema de autoconsumo parcial de una vivienda. Se pretende calcular la producción mensual y anual de la instalación, teniendo en cuenta la variabilidad de la velocidad media del viento dependiendo del mes, la potencia nominal que aporta cada aerogenerador respecto a la velocidad media del viento, así como el número de días y horas de funcionamiento a lo largo del mes.

Recordando, la velocidad media del viento al nivel del suelo en la ubicación seleccionada es de 5,34 m/s. Esta velocidad media del viento irá cambiando según los diferentes meses a lo largo del año debido a la variabilidad de la velocidad media del viento. En la Tabla 19 resumen se observa los principales factores condicionantes para el cálculo de la producción mensual del aerogenerador y la producción mensual. Cada columna corresponde a:

- **Variación:** la velocidad media del viento varía según el mes del año, influyendo directamente en la producción del aerogenerador. Por ejemplo, en el mes de septiembre, la velocidad media del viento es el 85% de la velocidad media anual. Por tanto, si consideramos una velocidad media anual de 5,34 m/s, en septiembre la velocidad media sería de 4,54 m/s, obtenida al multiplicar 5,34 m/s por 0,85.
- **Velocidad media (m/s):** es la velocidad media del viento respecto a cada mes.
- **N.º días:** corresponde al número de días de cada mes.
- **Potencia/unidad (W):** es la potencia proporcionada por cada aerogenerador Vortex respecto a la velocidad media de cada mes, a partir de una aproximación lineal de la Ilustración 43.
- **Factor:** se ha estimado que los aerogeneradores Vortex tendrán el mismo promedio de horas en funcionamiento equivalentes, que el aerogenerador convencional estudiado. Es decir, un total de 2900 horas al año, siendo esto un tercio del año.
- **Producción mensual (MWh):** corresponde a la producción mensual de la instalación.

La instalación de aerogeneradores Vortex proporciona en la ubicación seleccionada en la parcela de la vivienda unifamiliar una producción anual de 0,86 MWh.

Tabla 19. Cálculo de la producción mensual de la instalación de aerogeneradores Vortex.

Fuente: Propia

	Variación	Vel. media (m/s)	Días	Potencia/unidad (W)	Factor	Producción mensual (MWh)
ENERO	1,25	6,675	31	80	0,33	0,118
FEBRERO	1,2	6,408	28	75	0,33	0,100
MARZO	1,15	6,141	31	70	0,33	0,103
ABRIL	0,95	5,073	30	35	0,33	0,050
MAYO	0,95	5,073	31	35	0,33	0,052
JUNIO	0,9	4,806	30	35	0,33	0,050
JULIO	0,85	4,539	31	30	0,33	0,044
AGOSTO	0,8	4,272	31	30	0,33	0,044
SEPTIEMBRE	0,85	4,539	30	30	0,33	0,043
OCTUBRE	0,95	5,073	31	35	0,33	0,052
NOVIEMBRE	1,15	6,141	30	60	0,33	0,086
DICIEMBRE	1,2	6,408	31	80	0,33	0,118

9.5. Coste de la instalación y su mantenimiento

El aerogenerador Vortex sigue siendo un prototipo no comercial, en el que llevan investigando los últimos años. Por tanto, no se tiene un dato real del coste de instalación y de mantenimiento que tendría.

Sin embargo, la empresa Vortex Bladeless publicó en su página web una estimación sobre los posibles costes que tendría la instalación y mantenimiento de los aerogeneradores sin palas a lo largo de su vida útil. Estimaron un coste de 600 € que englobaba el coste de la instalación y del mantenimiento de toda la vida útil del aerogenerador, 20 años. [10], [42]

Para realizar el análisis de viabilidad económica de la instalación de estos aerogeneradores, se va a seguir con esa estimación de 600 € de costes, pero haciendo un desglose de costes del aerogenerador recogida en la Tabla 20.

En la estimación del desglose, se estima que el 85 % del coste es la instalación del aerogenerador y un 15 % de costes de mantenimiento en toda la vida del aerogenerador y, por tanto, se tendría que dividir entre 20 años para sacar el coste anual de mantenimiento esperado que debe tener cada aerogenerador.

Tabla 20. Desglose de los costes de instalación y operación y mantenimiento de un aerogenerador Vortex. Fuente: Propia

R	PRECIO
Costes estimados/unidad	600,00 €
Coste instalación (85%)	510,00 €
Coste mantenimiento (15%)	90,00 €
Coste mantenimiento anual	4,50 €

10. VIABILIDAD ECONÓMICA

En el presente apartado tiene como objetivo analizar en detalle la viabilidad económica de los proyectos estudiados durante este estudio, abordando los distintos aspectos financieros que se han ido comentando. En este contexto, se llevara a cabo un análisis exhaustivo que contemplará la inversión inicial, los costes operativos, la producción obtenida de los aerogeneradores, la estructura de financiamiento de cada proyecto y la sostenibilidad a largo plazo teniendo en cuenta los diferentes escenarios económicos respecto al evolución del precio de la energía en España.

La viabilidad económica de los proyectos es fundamentales para evaluar su factibilidad y potencial impacto en el mercado, así que tomar decisiones decisivas sobre su implementación y gestión. Por tanto, este apartado se enfocará en proporcionar una visión integral de los aspectos económicos del estudio, con el fin de identificar las oportunidades de negocio, desafíos y posibles áreas de mejora, realizando una comparativa entre los dos estudios para proporcionar una opción realista a los vecinos de la localidad de Villanueva de Oscos.

Los estudios de viabilidad de económica de la instalación eólica y de la instalación de Vortex se basan respecto a los ingresos obtenidos debido a la venta de la energía a los consumidores finales del pueblo asturiano más la venta de esa energía producida a la red eléctrica, en el proyecto del PPA de la instalación eólica, y del ahorro generado por la autogeneración de energía mediante los aerogeneradores Vortex.

Para completar el estudio de viabilidad económica se calcularán para cada proyecto los diferentes indicadores económicos: el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y “Levelized Cost of Electricity” (LCOE). [43]

Valor Actual Neto

Se trata de un indicador financiero que consiste en traer al presente los pagos y cobros futuros descontando un tipo de interés determinado, en este caso el valor del WACC. Esto nos permite conocer cuánto se va a ganar o perder con la inversión. Se considera que una propuesta de proyecto es rentable cuando su VAN es positivo y se considera indiferente el hacer o no la inversión si es nulo el indicador.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+r)^t} \quad [15]$$

Donde;

- **F_t**: flujo de caja del año t.
- **n**: duración en años, 20 años.
- **t**: intervalo de tiempo, 1 año.
- **r**: valor del wacc, siendo este del 5.025 %.

Tasa Interna Retorno

El TIR es un indicador que ayuda en la toma de decisiones sobre inversiones al comparar el rendimiento esperado de una inversión con el coste de financiación. Se calcula igualando la ecuación del Valor Actual Neto (VAN) a cero y obteniendo el tipo de interés requerido para que el proyecto sea rentable. Para que una inversión sea recomendable, su TIR debe ser superior al WACC, lo que indica que su rentabilidad supera el coste de oportunidad del proyecto.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} = 0 \quad [16]$$

Mediante el cálculo de estos indicadores se podrán determinar la viabilidad del proyecto y compararlos entre ellos para decidir el proyecto más favorable para los habitantes de la localidad asturiana.

LCOE

El “Levelized Cost of Electricity” es un método para analizar y comparar distintas tecnologías de generación, ya que se trata de una técnica que considera la inversión inicial y los diferentes costes de producción a lo largo de la vida útil del proyecto, asumiendo cierta certeza en dichos costes de producción, en ausencia de los riesgos asociados al mercado o a la tecnología. El LCOE se expresa en términos de euros por megavatio-hora (€/MWh). Mediante la Ecuación 17:

$$LCOE = \frac{(INV \cdot f_a + C_{OM} \cdot f_{\Sigma OM} \cdot f_a)}{Producción} \quad [17]$$

Siendo:

- El coste normalizado de la inversión: $A = INV \cdot f_a$
 - **INV**: es la inversión inicial del proyecto (CAPEX) que se debe devolver a lo largo de la vida útil del proyecto (N).
 - **f_a** : es el factor de amortización, se utiliza para poder repartir la amortización de una inversión uniformemente durante todo el tiempo de vida del proyecto respecto a la tasa de descuento o WACC.

$$f_a = \frac{wacc + (1 + wacc)^N}{(1 + wacc)^N - 1} \quad [18]$$

- El coste normalizado de operaciones y mantenimiento: $C_{N,OM} = C_{OM} \cdot f_{\Sigma OM} \cdot f_a$
 - **C_{OM}** : es el coste de operaciones y mantenimiento (OPEX).
 - **$f_{\Sigma OM}$** : es el factor de acumulación, se utiliza para acumular a lo largo de la vida del proyecto el valor del proyecto el valor futuro anual del flujo inicial, descontándolo al tiempo presente.

$$k_x = \frac{1 + r}{1 + wacc} \rightarrow f_{\Sigma OM} = \frac{k_x \cdot (1 - k_x^N)}{1 - k_x} \quad [19]$$

- **f_a** : es el factor de amortización, se utiliza para poder repartir la amortización de una inversión uniformemente durante todo el tiempo de vida del proyecto respecto a la tasa de descuento o WACC.

$$f_a = \frac{wacc + (1 + wacc)^N}{(1 + wacc)^N - 1} \quad [19]$$

10.1. EVOLUCIÓN DEL PRECIO DE LA ENERGÍA

La evolución del precio de la energía en España, históricamente, ha mantenido un coste estable. Sin embargo, los recientes acontecimientos en forma de pandemia, crisis económica y conflictos bélicos han ocasionado incertidumbre sobre la evolución de la tarifa de la luz. En la Ilustración 44 muestra el precio de la tarifa regulada de la luz o PVPC.

Los habitantes de la localidad de Villanueva están en su mayoría sujetas al PVPC en su tarifa de la electricidad mensual. No tiene contratado una tarifa fija con las compañías comercializadoras de energía del país y, por tanto, están condicionados a los cambios repentinos del precio de la electricidad por los factores comentados anteriormente. [44], [45], [46]

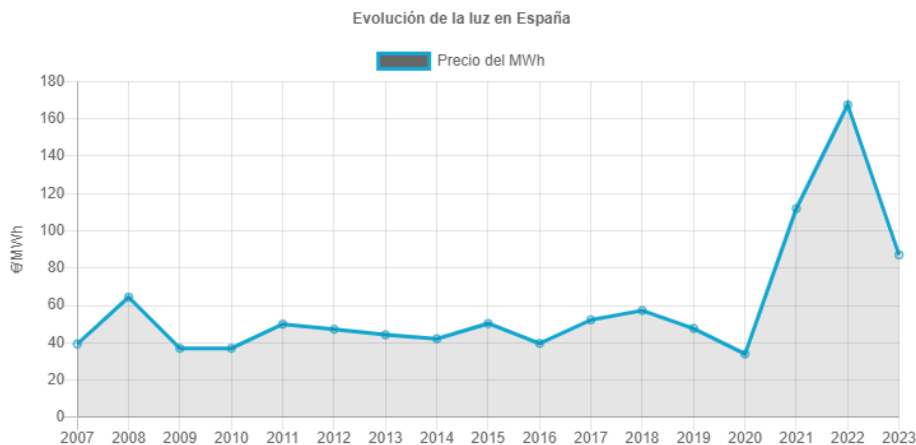


Ilustración 44. Evolución de la luz en España. Fuente: Tarifaluzhora

Además, se deben considerar otros factores que inciden en la dinámica del mercado energético español. Por un lado, se planifica el cierre progresivo de las centrales nucleares en los próximos 10 años, lo que tendrá un impacto significativo en la infraestructura de generación de electricidad del país. Por otro lado, la incorporación de tecnologías de almacenamiento energético está transformando el panorama energético, ofreciendo nuevas oportunidades y desafíos para el sector. Además, el cambio climático está generando fenómenos meteorológicos más extremos, con meses de frío y calor prolongados y temperaturas cada vez más elevadas.

Bajo este contexto, se va a realizar dos escenarios hipotéticos sobre la evolución de los precios de la energía en España en los próximos 20 años teniendo en cuenta el cierre de las centrales nucleares en las fechas marcadas por el gobierno, la instalación de almacenamiento energético que dé cobertura y fiabilidad a la intermitencia de las fuentes renovables y a un posible aumento de la potencia instalada de energía renovable con el paso de los años.

Respecto, al cierre programado de las centrales nucleares en este país ha sido ratificado por el gobierno en el nuevo Plan General de Residuos Radiactivos (PGRR) donde se define el cierre, desmantelamiento, la gestión de los desechos nucleares y sobre cuanto costara todo esto.

Esta plan incluye un “phase-down” programado de las centrales nucleares españolas entre 2027 y 2035 y la contemplación de la construcción de siete almacenes de residuos radiactivos, uno por cada central, durante los próximos 50 años (al igual que contemplar una futura construcción de un almacén geológico profundo, AGP, para almacenar para siempre estos residuos radiactivos de alta radioactividad). [47]

En la Ilustración 45 se observa un resumen del cierre escalonado o “phase-down” de las centrales nucleares.

EL CIERRE NUCLEAR EN ESPAÑA

CENTRAL	INICIO OPERACIÓN COMERCIAL	CIERRE DEFINITIVO
ALMARAZ I (Cáceres)	Septiembre 1983	2027
ALMARAZ II (Cáceres)	Julio 1984	2028
ASCÓ I (Tarragona)	Diciembre 1984	2030
ASCÓ II (Tarragona)	Marzo 1986	2031-2035
COFRENTES (Valencia)	Marzo 1985	2030
VANDELLÓS II (Tarragona)	Marzo 1988	2031-2035
TRILLO (Guadalajara)	Agosto 1988	2031-2035

Ilustración 45. Programación del cierre nuclear en España. Fuente: Telecinco

Esta nueva hoja de ruta aprobada por el PGRR augura que los costes que aún quedan por pagar llegaran a la cifra de los 20.220 millones de euros que serán pagados por la compañías dueñas de las centrales, con el principio de “quién contamina paga”. Sin embargo, Iberdrola, Endesa, Naturgy y EDP ya han avisado que se niegan a asumir los costes debido a que estos se han encarecido debido al retraso que han acumulado por la falta de consenso político e institucional que ha sufrido el país en los últimos 15 años. Por tanto, ese sobre coste será imputado al consumidor final como costes adicionales del sistema eléctrico. [47]

Por otro lado, el gobierno aprobó la Estrategia de Almacenamiento Energético con el propósito de garantizar la seguridad en el suministro eléctrico y unos precios más bajo de la energía en España. Este plan contempla disponer de una capacidad de almacenamiento energético de 20 GW en 2030, contando con los 8.3 GW de almacenamiento disponible hoy en día, y alcanzar los 30 GW en 2050, teniendo en cuenta el almacenamiento a gran escala como el distribuido. Este aumento de almacenamiento energético disminuiría la dependencia del factor de intermitencia de las energías renovables aportando estabilidad en el suministro eléctrico y una disminución en la dependencia de fuentes de energía no renovables, como son las centrales de ciclo combinado, para abastecer en momentos de alta demanda.[48]

Esta estrategia busca contribuir de manera activa a la descarbonización del sistema energético alineado a lo previsto con el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030 y el objetivo de “Net Zero Emissions” para 2050 de neutralidad climática impuesta por la Unión Europea acorde a los acuerdos de Paris.[49]

Teniendo en cuenta estos dos puntos de partida, se van a realizar dos escenarios de la evolución del precio de la electricidad en España. En el primer escenario, se considerará una evolución del precio de la electricidad en España desde una perspectiva "pesimista", mientras que en el segundo escenario se contemplará una evolución del precio considerada "óptima" en relación con el aumento de los precios. [45], [50]

10.1.1. Escenario “pesimista”

La estimación del precio de la electricidad para la tarifa regulada parte de un valor inicial de 75 €/MWh en 2025. Se proyecta un aumento del 25 % con respecto al año 2023, principalmente debido a la vuelta del IVA al 21 %. Esta reducción se implementó por orden gubernamental para mitigar el impacto de la subida de precios ocasionada por la pandemia y el conflicto bélico entre Ucrania y Rusia. Además, se prevé un incremento en las temperaturas y la frecuencia de climas extremos en España, lo que impulsaría el consumo de energía en los hogares y, por tanto, parte importante de este incremento de la demanda en la época invernal podría ser abastecida por energía proveniente de centrales de ciclo combinado.

Se llevaría a cabo el cierre programado de las centrales nucleares a lo largo de 2027 a 2035 y se imputarían los costes del cierre nuclear a los consumidores finales mediante un coste operativo fijo en su factura de la luz. Además, no se llegaría a los valores de almacenamiento energético planteados en el plan estratégico del gobierno.

Actualmente, hay alrededor de 9 GW de almacenamiento energético disponible en el país y se planeaba que para 2030 hubiera operativos 20 GW. Sin embargo, en este escenario se estima que solamente se llegará a 12 GW instalados en 2030, con una tasa de instalación de 0.5 GW por año desde 2024 hasta 2030. Esta reducción considerable respecto a lo esperado más el cierre total de las centrales nucleares provocara que toda la potencia base que proporcionaban las nucleares sea absorbida por un mayor uso del gas debido a la intermitencia actual de la renovable y su escasa fiabilidad de suministro de electricidad. Este suceso provocara un aumento de precios progresivos conforme van cerrando las centrales nucleares.

Se estima un aumento progresivo del precio de la electricidad, aumentando entre un 2 a un 8 % entre 2027 a 2035. A partir de 2035, se espera que el precio se estabilice durante los siguientes 5 años debido al aumento de la potencia instalada de renovables y por el aumento progresivo de almacenamiento energético, alcanzando los 30 GW en 2050.

Tras la estabilización del coste de la electricidad, se prevé que se producirá una disminución progresiva anual del precio de la electricidad del 2% hasta el último año de estudio, debido a la disminución considerable del uso de ciclo combinado como “back-up” en el sistema energético español. En la Ilustración 46 se presenta la evolución del coste en la tarifa regulada española hasta 2045, alcanzando un máximo de 110 €/MWh durante diversos años.



Ilustración 46. Predicción del precio del OMIE del escenario "pesimista". Fuente: Propia

10.1.2. Escenario “optimista”

La estimación del precio de la electricidad para la tarifa regulada parte de un valor inicial de 65 €/MWh en 2025. Se proyecta un aumento del 8 % con respecto al año 2023, principalmente debido a la vuelta del IVA al 21 %. Además, se prevén unas temperaturas similares a las actuales y una menor frecuencia de climas extremos en España menor que en el escenario “pesimista”, lo que implica un invierno con temperaturas moderadas y sin llegar a necesitar un consumo extra de electricidad proporcionada por ciclo combinados.

Se llevaría a cabo el cierre programado de las centrales nucleares a lo largo de 2027 a 2035 y se imputarían los costes del cierre nuclear a los consumidores finales mediante un coste operativo fijo en su factura de la luz. Sin embargo, a diferencia del escenario anterior, se llegaría a los objetivos de almacenamiento energético planteados en el plan estratégico del gobierno en un periodo de tiempo más corto.

En este escenario, se estima que se llegará a 18 GW instalados en 2030, con una tasa de instalación de 1.5 GW por año desde 2024 hasta 2030. Esta capacidad de almacenamiento proporcionará una mayor estabilidad a las fuentes de energía renovables, que ya no dependerán de las condiciones climáticas para verter la energía a la red eléctrica española. Como resultado, se reducirá la producción eléctrica en las centrales de ciclo combinado, haciendo que no aumente tanto el precio de la electricidad como en el escenario anterior, al no depender de los precios del gas, ya que están condicionados por las políticas exteriores y situaciones de los países exportadores.

Se estima un aumento progresivo del precio de la electricidad, aumentando entre un 2 a un 4 % entre 2027 a 2035 debido a la necesidad del subvencionamiento del almacenamiento energético para alcanzar la madurez tecnológica y fomentar la innovación y puesta en uso de esta, al igual que se hizo con la tecnología de las placas fotovoltaicas al comienzo del siglo XXI. A partir de 2035, se espera que el precio se estabilice durante los siguientes 5 años debido al aumento de la potencia instalada de renovables y al incremento progresivo del almacenamiento energético, alcanzando los 30 GW en 2045, antes de lo planificado por el PNIEC.

Tras la estabilización del coste de la electricidad, se prevé que se producirá una disminución anual progresiva del precio de la electricidad del 5% hasta el último año de estudio, debido a la al aumento de la potencia instalada procedente de fuentes renovable en el mix energético y los beneficios derivados por el almacenamiento energético, al alcanzar la madurez tecnológica. En la Ilustración 47 se presenta la evolución del coste en la tarifa regulada española hasta 2045, alcanzando un máximo de 78 €/MWh durante diversos años.

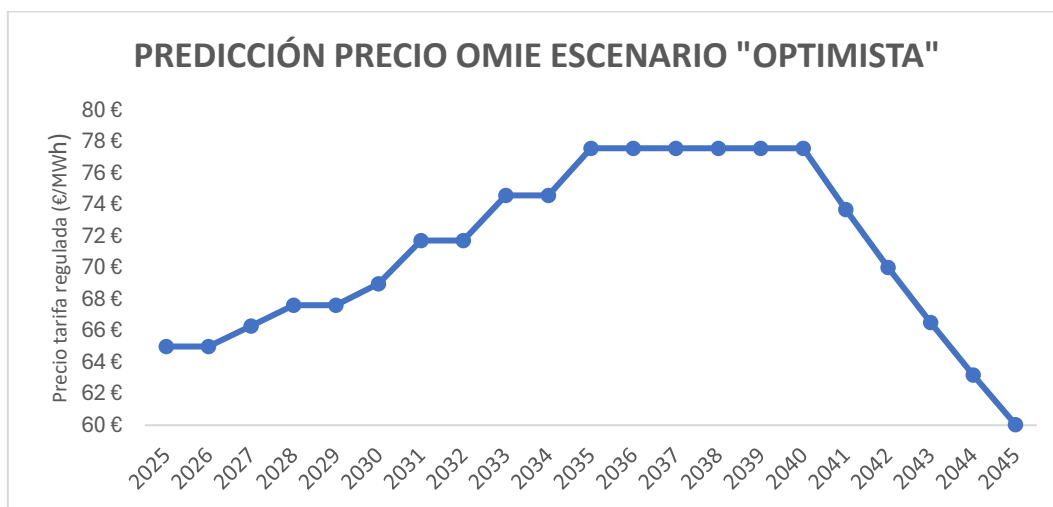


Ilustración 47. Predicción del precio del OMIE del escenario "optimista". Fuente: Propia

10.2. VIABILIDAD ECONÓMICA DE LA INSTALACIÓN EÓLICA

La evaluación de la viabilidad económica de la instalación del aerogenerador en el monte de Pumarín implica un análisis exhaustivo de los diversos aspectos financieros vinculantes al proyecto. En este apartado, se llevará a cabo un estudio detallado que tendrá en cuenta los cálculos de producción del aerogenerador, el consumo de las localidades y los excedentes de la producción que serán vertidos a la red al precio del pool, es decir, se venderán al precio estimado de la energía en los diversos escenarios estudiados.

Primero se detallará las diferentes estimaciones respecto a la producción del aerogenerador, el consumo de la población y la venta de excedentes. Además, se explicarán las estimaciones realizadas en la aproximación de los costes de operaciones y mantenimiento a lo largo de la vida útil del aerogenerador.

Después, para cada escenario se calculará el flujo de caja, se analizarán los indicadores económicos y se llevará a cabo un estudio de sensibilidad en el que se variará el precio de venta del PPA para observar la influencia en el proyecto basándose en la evolución de precios de la tarifa regulada.

10.2.1. Estimaciones

Para llevar a cabo el análisis económico se han realizado las siguientes estimaciones:

- La producción del aerogenerador no sufre variaciones a lo largo de su vida útil, lo que implica que no se tienen variaciones en la producción mensual del aerogenerador durante los 20 años de estudio del proyecto. En un estudio detallado, quedando este fuera del alcance del estudio, sería necesario realizar un estudio de la posible disminución de la producción del aerogenerador debido al desgaste y fatiga de los componentes del aerogenerador. Sin embargo, esta preocupación sobre la disminución de la producción se minimiza si se realiza un mantenimiento adecuado del aerogenerador durante su funcionamiento.
- El consumo de las localidades incluidas en el acuerdo del PPA no varían su consumo a lo largo del acuerdo, al igual que con el estudio detallado de la producción del aerogenerador, que queda fuera del alcance de este estudio.

No obstante, destacar que un análisis exhaustivo del consumo debería tener en cuenta la posible evolución de las localidades a lo largo del tiempo. Factores como el envejecimiento de la localidad y la tendencia de “fuga” de la población menor de 30 años podría afectar en el consumo energético. Además, se espera una disminución en el consumo debido al aumento progresivo de la eficiencia energética de los electrodomésticos de las viviendas.

Por otro lado, es posible que el consumo aumente debido a la creciente electrificación del parque automovilístico español y a la necesidad de la instalación de dispositivos de aire acondicionado en las viviendas de la localidad para hacer frente a las temperaturas extremas que se predicen para las próximas décadas, lo que podría aumentar la demanda de energía.

- Al permanecer constantes tanto la producción del aerogenerador como la demanda de la localidad, también serán constantes los excedentes vertidos a la red eléctrica por parte del aerogenerador. Estos excedentes serán vendidos al precio del pool estimado en cada uno de los escenarios considerados.

En la Tabla 21 se observa la producción del aerogenerador, el consumo de las localidades pertenecientes al acuerdo y los excedentes en cada uno de los meses.

Tabla 21. Resumen de la producción, consumo y exceso del proyecto eólico. Fuente: Propia

MES	PRODUCCIÓN	CONSUMO	EXCESO
	MWh/mes	MWh/mes	MWh/mes
ENERO	515,59	486,68	28,91
FEBRERO	465,70	439,58	26,11
MARZO	515,59	384,63	130,96
ABRIL	498,96	321,84	177,12
MAYO	515,59	324,98	190,61
JUNIO	451,44	329,69	121,75
JULIO	466,49	431,73	34,75
AGOSTO	466,49	345,39	121,10
SEPTIEMBRE	451,44	340,68	110,76
OCTUBRE	515,59	353,24	162,36
NOVIEMBRE	498,96	321,84	177,12
DICIEMBRE	515,59	470,98	44,61

- El coste de mantenimiento y operaciones del aerogenerador irá aumentando a lo largo de su vida útil según la inflación estimada en el cálculo del WACC, en este caso del 3 % anual. Siendo el coste de mantenimiento y operaciones (OPEX) del primer año de funcionamiento de 125.136 €.
- Se realiza una amortización lineal de la inversión inicial durante los 20 años de estimación de vida útil del proyecto del aerogenerador. Siendo el coste de inversión (CAPEX) realizado en el año 2024 de un total de 2.744.000 € y, por tanto, se amortiza un total de 137.200 € anuales (amortización lineal).
- El flujo de caja base, de ambos escenarios, se estima respecto a un precio fijo de compra-venta de energía en el acuerdo de PPA de 60 €/MWh. Después de calcular el flujo de caja base, se realizará un estudio de sensibilidad variando este precio de compra-venta observando la variación entre los flujo de caja acumulados y los indicadores financieros.

10.2.2. Viabilidad del escenario “pesimista”

Los ingresos anuales provienen de la venta de la energía a las localidades que han firmado el acuerdo PPA con la compañía a un precio fijo durante los siguientes 20 años. Del mismo modo, todos los excedentes se venden al mercado eléctrico al precio estimado del escenario “pesimista”. El cálculo de los ingresos sería respecto a la producción, consumo y excedentes mensuales y después se sumaría todos los meses para tener el ingreso anual.

A modo de ejemplo, el cálculo de los ingresos del mes de abril del año 2034 sería:

- **Precio del acuerdo de compra-venta de energía:** 60 €/MWh
- **Precio estimado en el escenario “pesimista” en el año 2034:** 101 €/MWh
- **Producción del aerogenerador en el mes de abril:** 498,96 MWh
- **Consumo de las localidades en el mes de abril:** 321,84 MWh
- **Excedentes vertidos a la red en el mes de abril:** 177,12 MWh

$$\text{Ingresos} = 321,84 \text{ MWh} \cdot 60 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} + 177,12 \cdot 101 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} = 37.247,28 \text{ €} \quad [20]$$

Por consiguiente, el ingreso anual del año 2034 es de 407.376,08 €, el cual se muestra en desglose mensual en la Tabla 22.

*Tabla 22. Cálculo del ingreso anual del año 2034 en el proyecto eólico del escenario "pesimista".
Fuente. Propia*

MES	PRODUCCIÓN	CONSUMO	EXCESO	AÑO
	MWh/mes	MWh/mes	MWh/mes	2034
ENERO	515,59	486,68	28,91	32.128,65 €
FEBRERO	465,70	439,58	26,11	29.019,43 €
MARZO	515,59	384,63	130,96	36.339,99 €
ABRIL	498,96	321,84	177,12	37.247,28 €
MAYO	515,59	324,98	190,61	38.802,00 €
JUNIO	451,44	329,69	121,75	32.111,02 €
JULIO	466,49	431,73	34,75	29.423,58 €
AGOSTO	466,49	345,39	121,10	32.987,02 €
SEPTIEMBRE	451,44	340,68	110,76	31.657,49 €
OCTUBRE	515,59	353,24	162,36	37.635,79 €
NOVIEMBRE	498,96	321,84	177,12	37.247,28 €
DICIEMBRE	515,59	470,98	44,61	32.776,55 €
				407.376,08 €

En la Tabla 23 se muestra el flujo de caja del proyecto de la instalación del aerogenerador en el monte Pumarín a lo largo de los 20 años de vida útil, 2025-2045.

Tabla 23. Flujo de caja del proyecto eólico del escenario "pesimista". Fuente: Propia

Año	Ingresos (€)	Costes (€)	EBITDA (€)	Amortiza (€)	EBIT (€)	Impuestos (21%) (€)	Beneficio neto (€)	Flujo de caja (€)	Flujo caja acumul. (€)
2024								-2.744.000 €	
2025	372.539 €	125.136 €	247.403 €	137.200 €	110.203 €	23.143 €	87.060 €	224.260 €	-2.519.740 €
2026	372.539 €	128.890 €	243.649 €	137.200 €	106.449 €	22.354 €	84.094 €	221.294 €	-2.298.446 €
2027	377.512 €	132.757 €	244.755 €	137.200 €	107.555 €	22.587 €	84.968 €	222.168 €	-2.076.277 €
2028	382.734 €	136.739 €	245.994 €	137.200 €	108.794 €	22.847 €	85.947 €	223.147 €	-1.853.130 €
2029	382.734 €	140.842 €	241.892 €	137.200 €	104.692 €	21.985 €	82.707 €	219.907 €	-1.633.223 €
2030	388.217 €	145.067 €	243.150 €	137.200 €	105.950 €	22.249 €	83.700 €	220.900 €	-1.412.323 €
2031	397.428 €	149.419 €	248.009 €	137.200 €	110.809 €	23.270 €	87.539 €	224.739 €	-1.187.584 €
2032	397.428 €	153.901 €	243.526 €	137.200 €	106.326 €	22.329 €	83.998 €	221.198 €	-966.386 €
2033	407.376 €	158.519 €	248.858 €	137.200 €	111.658 €	23.448 €	88.209 €	225.409 €	-740.977 €
2034	407.376 €	163.274 €	244.102 €	137.200 €	106.902 €	22.449 €	84.453 €	221.653 €	-519.324 €
2035	418.120 €	168.172 €	249.948 €	137.200 €	112.748 €	23.677 €	89.071 €	226.271 €	-293.053 €
2036	418.120 €	173.217 €	244.903 €	137.200 €	107.703 €	22.618 €	85.085 €	222.285 €	-70.768 €
2037	418.120 €	178.414 €	239.706 €	137.200 €	102.506 €	21.526 €	80.980 €	218.180 €	147.412 €
2038	418.120 €	183.766 €	234.354 €	137.200 €	97.154 €	20.402 €	76.751 €	213.951 €	361.363 €
2039	418.120 €	189.279 €	228.841 €	137.200 €	91.641 €	19.245 €	72.396 €	209.596 €	570.959 €
2040	418.120 €	194.958 €	223.162 €	137.200 €	85.962 €	18.052 €	67.910 €	205.110 €	776.070 €
2041	415.219 €	200.807 €	214.413 €	137.200 €	77.213 €	16.215 €	60.998 €	198.198 €	974.268 €
2042	412.376 €	206.831 €	205.546 €	137.200 €	68.346 €	14.353 €	53.993 €	191.193 €	1.165.461 €
2043	409.590 €	213.036 €	196.555 €	137.200 €	59.355 €	12.464 €	46.890 €	184.090 €	1.349.551 €
2044	406.860 €	219.427 €	187.433 €	137.200 €	50.233 €	10.549 €	39.684 €	176.884 €	1.526.435 €
2045	404.184 €	226.010 €	178.175 €	137.200 €	40.975 €	8.605 €	32.370 €	169.570 €	1.696.005 €

Tras analizar detenidamente el flujo de caja acumulado a lo largo de los 20 años de vida útil del proyecto de la instalación del aerogenerador, se obtiene un VAN de 8.399 € y un TIR de 5,063 %.

Una vez calculado el flujo de caja acumulado del precio base, es fundamental evaluar cómo cambia la viabilidad económica del proyecto en función del precio fijo de compra-venta de energía establecido en el PPA. Este análisis proporcionará información valiosa para entender la sensibilidad del proyecto y poder comparar entre los dos escenarios. De esta manera, se podrá determinar un precio de PPA que asegure un retorno seguro de la inversión, independientemente de la evolución de los precios de la tarifa regulado en un futuro.

En la Ilustración 48 se muestra la evolución del flujo de caja acumulado del proyecto durante los 20 años de vida útil estimado del proyecto de la instalación del aerogenerador dependiendo del precio de compra-venta de energía acordado en el PPA. El estudio de sensibilidad se ha realizado desde los 50 a los 70 €/MWh.

Además, en la Tabla 24 se realiza un desglose anual de la evolución del flujo de caja acumulado representado en la Ilustración 48 y se incluye los indicadores financieros del VAN y el TIR de cada uno de ellos.

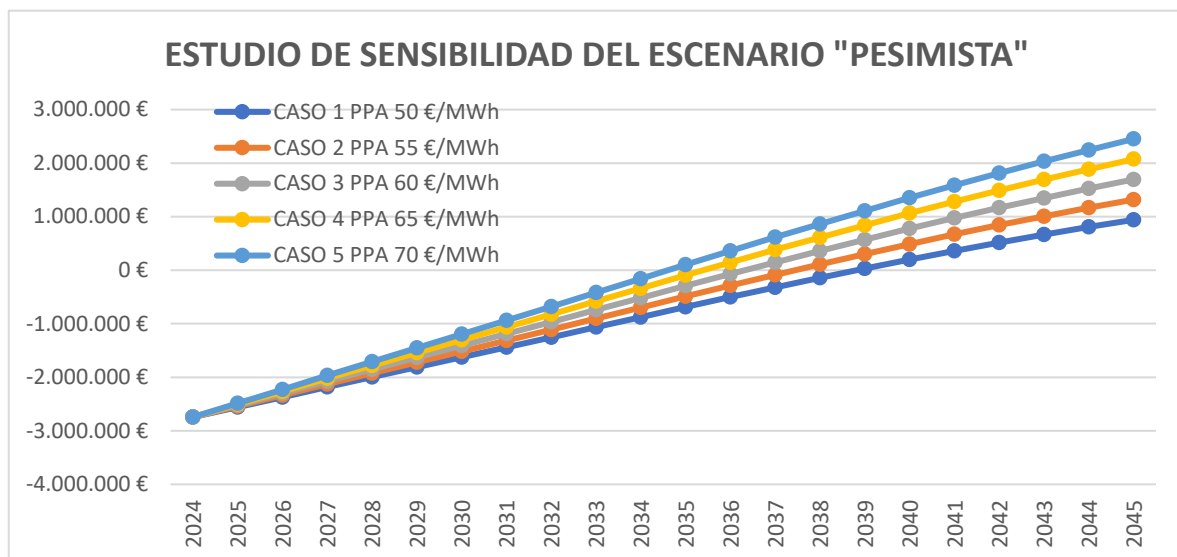


Ilustración 48. Estudio de sensibilidad del proyecto eólico del escenario "pesimista". Fuente: Propia

Tabla 24. Estudio de sensibilidad del proyecto eólico del escenario "pesimista". Fuente: Propia

AÑO	CASO 1 PPA 50 €/MWh	CASO 2 PPA 55 €/MWh	CASO 3 PPA 60 €/MWh	CASO 4 PPA 65 €/MWh	CASO 5 PPA 70 €/MWh
2024	-2.744.000 €	-2.744.000 €	-2.744.000 €	-2.744.000 €	-2.744.000 €
2025	-2.555.695 €	-2.537.717 €	-2.519.740 €	-2.501.762 €	-2.483.785 €
2026	-2.370.355 €	-2.334.400 €	-2.298.446 €	-2.262.491 €	-2.226.536 €
2027	-2.184.142 €	-2.130.209 €	-2.076.277 €	-2.022.345 €	-1.968.412 €
2028	-1.996.949 €	-1.925.040 €	-1.853.130 €	-1.781.220 €	-1.709.310 €
2029	-1.812.998 €	-1.723.110 €	-1.633.223 €	-1.543.336 €	-1.453.449 €
2030	-1.628.052 €	-1.520.188 €	-1.412.323 €	-1.304.458 €	-1.196.594 €
2031	-1.439.268 €	-1.313.426 €	-1.187.584 €	-1.061.742 €	-935.900 €
2032	-1.254.025 €	-1.110.206 €	-966.386 €	-822.566 €	-678.747 €
2033	-1.064.571 €	-902.774 €	-740.977 €	-579.180 €	-417.383 €
2034	-878.873 €	-699.098 €	-519.324 €	-339.550 €	-159.775 €
2035	-688.557 €	-490.805 €	-293.053 €	-95.301 €	102.451 €
2036	-502.227 €	-286.497 €	-70.768 €	144.961 €	360.691 €
2037	-320.002 €	-86.295 €	147.412 €	381.119 €	614.825 €
2038	-142.005 €	109.679 €	361.363 €	613.047 €	864.732 €
2039	31.636 €	301.298 €	570.959 €	840.621 €	1.110.283 €
2040	200.791 €	488.430 €	776.070 €	1.063.709 €	1.351.348 €
2041	363.035 €	668.651 €	974.268 €	1.279.884 €	1.585.501 €
2042	518.273 €	841.867 €	1.165.461 €	1.489.055 €	1.812.649 €
2043	666.408 €	1.007.979 €	1.349.551 €	1.691.122 €	2.032.694 €
2044	807.337 €	1.166.886 €	1.526.435 €	1.885.984 €	2.245.533 €
2045	940.953 €	1.318.479 €	1.696.005 €	2.073.532 €	2.451.058 €
VAN	-429.564 €	-210.583 €	8.399 €	227.380 €	446.362 €
TIR	2,99%	4,05%	5,06%	6,03%	6,95%

10.2.3. Viabilidad del escenario “optimista”

Los ingresos anuales provienen de la venta de la energía a las localidades que han firmado el acuerdo PPA con la compañía a un precio fijo durante los siguientes 20 años. Del mismo modo, todos los excedentes se venden al mercado eléctrico al precio estimado del escenario “optimista”. El cálculo de los ingresos sería respecto a la producción, consumo y excedentes mensuales y después se sumaría todos los meses para tener el ingreso anual.

A modo de ejemplo, el cálculo de los ingresos del mes de abril del año 2034 sería:

- Precio del acuerdo de compra-venta de energía: 60 €/MWh
- Precio estimado en el escenario “pesimista” en el año 2034: 74,61 €/MWh
- Producción del aerogenerador en el mes de abril: 498,96 MWh
- Consumo de las localidades en el mes de abril: 321,84 MWh
- Excedentes vertidos a la red en el mes de abril: 177,12 MWh

$$\text{Ingresos} = 321,84 \text{ MWh} \cdot 60 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} + 177,12 \cdot 74,61 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} = 32.524,86 \text{ €} \quad [21]$$

Por consiguiente, el ingreso anual del año 2034 es de 372.017,65 €, el cual se muestra el desglose mensual en la Tabla 25.

Tabla 25. Cálculo del ingreso anual del año 2034 en el proyecto eólico del escenario "optimista".
Fuente. Propia

MES	PRODUCCIÓN	CONSUMO	EXCESO	AÑO
	MWh/mes	MWh/mes	MWh/mes	2034
ENERO	515,592	486,680983	28,91101704	31.357,83 €
FEBRERO	465,696	439,5828233	26,11317668	28.323,20 €
MARZO	515,592	384,6349704	130,9570296	32.848,43 €
ABRIL	498,96	321,8374242	177,1225758	32.524,86 €
MAYO	515,592	324,9773015	190,6146985	33.719,86 €
JUNIO	451,44	329,6871175	121,7528825	28.864,86 €
JULIO	466,488	431,73313	34,75486996	28.496,95 €
AGOSTO	466,488	345,386504	121,101496	29.758,23 €
SEPTIEMBRE	451,44	340,6766881	110,7633119	28.704,34 €
OCTUBRE	515,592	353,2361973	162,3558027	33.307,08 €
NOVIEMBRE	498,96	321,8374242	177,1225758	32.524,86 €
DICIEMBRE	515,592	470,9815964	44,61040359	31.587,15 €
				372.017,65 €

En la Tabla 26 se muestra el flujo de caja del proyecto de la instalación del aerogenerador en el monte Pumarín a lo largo de los 20 años de vida útil, 2025-2045.

Tabla 26. Flujo de caja del proyecto eólico del escenario "optimista". Fuente: Propia

Año	Ingresos (€)	Costes (€)	EBITDA (€)	Amortiza. (€)	EBIT (€)	Impuestos (21%) (€)	Beneficio neto (€)	Flujo de caja (€)	Flujo caja acumul. (€)
2024								-2.744.000 €	
2025	359.277 €	125.136 €	234.141 €	137.200 €	96.941 €	20.358 €	76.583 €	213.783 €	-2.530.217 €
2026	359.277 €	128.890 €	230.387 €	137.200 €	93.187 €	19.569 €	73.618 €	210.818 €	-2.319.399 €
2027	361.001 €	132.757 €	228.244 €	137.200 €	91.044 €	19.119 €	71.925 €	209.125 €	-2.110.274 €
2028	362.759 €	136.739 €	226.020 €	137.200 €	88.820 €	18.652 €	70.168 €	207.368 €	-1.902.907 €
2029	362.759 €	140.842 €	221.918 €	137.200 €	84.718 €	17.791 €	66.927 €	204.127 €	-1.698.780 €
2030	364.553 €	145.067 €	219.486 €	137.200 €	82.286 €	17.280 €	65.006 €	202.206 €	-1.496.574 €
2031	368.212 €	149.419 €	218.793 €	137.200 €	81.593 €	17.135 €	64.459 €	201.659 €	-1.294.915 €
2032	368.212 €	153.901 €	214.311 €	137.200 €	77.111 €	16.193 €	60.917 €	198.117 €	-1.096.798 €
2033	372.018 €	158.519 €	213.499 €	137.200 €	76.299 €	16.023 €	60.276 €	197.476 €	-899.321 €
2034	372.018 €	163.274 €	208.744 €	137.200 €	71.544 €	15.024 €	56.519 €	193.719 €	-705.602 €
2035	375.975 €	168.172 €	207.803 €	137.200 €	70.603 €	14.827 €	55.776 €	192.976 €	-512.625 €
2036	375.975 €	173.217 €	202.758 €	137.200 €	65.558 €	13.767 €	51.791 €	188.991 €	-323.635 €
2037	375.975 €	178.414 €	197.561 €	137.200 €	60.361 €	12.676 €	47.685 €	184.885 €	-138.749 €
2038	375.975 €	183.766 €	192.209 €	137.200 €	55.009 €	11.552 €	43.457 €	180.657 €	41.908 €
2039	375.975 €	189.279 €	186.696 €	137.200 €	49.496 €	10.394 €	39.102 €	176.302 €	218.210 €
2040	375.975 €	194.958 €	181.018 €	137.200 €	43.818 €	9.202 €	34.616 €	171.816 €	390.025 €
2041	370.830 €	200.807 €	170.024 €	137.200 €	32.824 €	6.893 €	25.931 €	163.131 €	553.156 €
2042	365.943 €	206.831 €	159.112 €	137.200 €	21.912 €	4.601 €	17.310 €	154.510 €	707.667 €
2043	361.299 €	213.036 €	148.264 €	137.200 €	11.064 €	2.323 €	8.740 €	145.940 €	853.607 €
2044	356.888 €	219.427 €	137.461 €	137.200 €	261 €	55 €	206 €	137.406 €	991.013 €
2045	352.697 €	226.010 €	126.688 €	137.200 €	-10.512 €	0 €	-10.512 €	126.688 €	1.117.701 €

Tras analizar detenidamente el flujo de caja acumulado a lo largo de los 20 años de vida útil del proyecto de la instalación del aerogenerador, se obtiene un VAN de -292.491 € y un TIR de 3,62%.

Una vez calculado el flujo de caja acumulado del precio base, es fundamental evaluar cómo cambia la viabilidad económica del proyecto en función del precio fijo de compra-venta de energía establecido en el PPA. Este análisis proporcionará información valiosa para entender la sensibilidad del proyecto y poder comparar entre los dos escenarios. De esta manera, se podrá determinar un precio de PPA que asegure un retorno seguro de la inversión, independientemente de la evolución de los precios de la tarifa regulado en un futuro.

En la Ilustración 49 se muestra la evolución del flujo de caja acumulado del proyecto durante los 20 años de vida útil estimado del proyecto de la instalación del aerogenerador dependiendo del precio de compra-venta de energía acordado en el PPA. El estudio de sensibilidad se ha realizado desde los 50 a los 70 €/MWh.

Además, en la Tabla 27 se realiza un desglose anual de la evolución del flujo de caja acumulado representado en la Ilustración 49 y se incluye los indicadores financieros del VAN y el TIR de cada uno de ellos.

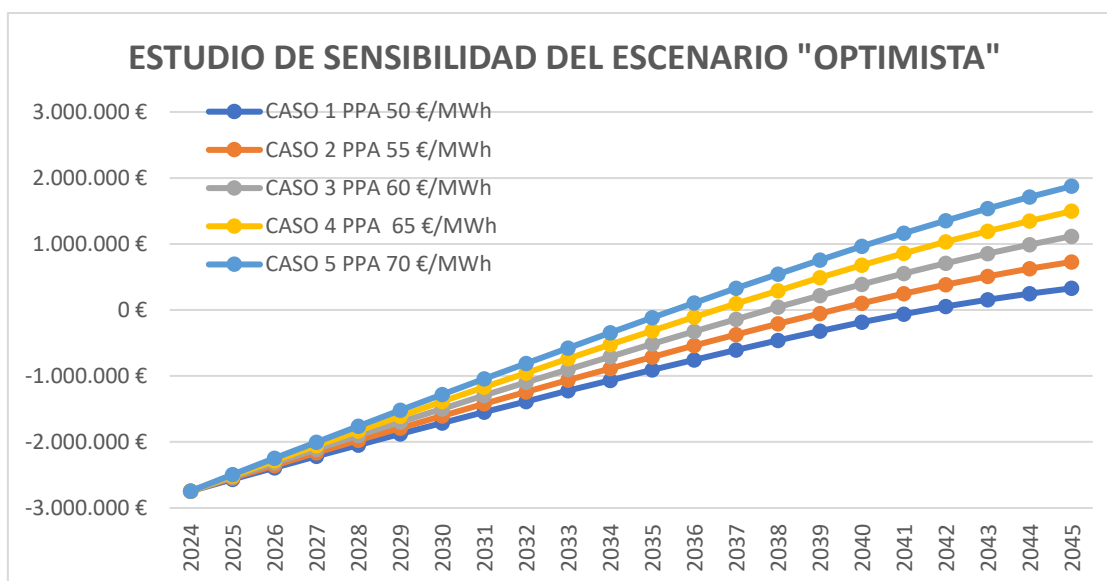


Ilustración 49. Estudio de sensibilidad del proyecto eólico del escenario "optimista". Fuente: Propia

Tabla 27. Estudio de sensibilidad del proyecto eólico del escenario "optimista". Fuente: Propia

AÑO	CASO 1 PPA 50 €/MWh	CASO 2 PPA 55 €/MWh	CASO 3 PPA 60 €/MWh	CASO 4 PPA 65 €/MWh	CASO 5 PPA 70 €/MWh
2024	-2.744.000 €	-2.744.000 €	-2.744.000 €	-2.744.000 €	-2.744.000 €
2025	-2.566.172 €	-2.548.194 €	-2.530.217 €	-2.512.239 €	-2.494.262 €
2026	-2.391.309 €	-2.355.354 €	-2.319.399 €	-2.283.444 €	-2.247.489 €
2027	-2.218.139 €	-2.164.207 €	-2.110.274 €	-2.056.342 €	-2.002.410 €
2028	-2.046.726 €	-1.974.816 €	-1.902.907 €	-1.830.997 €	-1.759.087 €
2029	-1.878.554 €	-1.788.667 €	-1.698.780 €	-1.608.892 €	-1.519.005 €
2030	-1.712.303 €	-1.604.438 €	-1.496.574 €	-1.388.709 €	-1.280.844 €
2031	-1.546.599 €	-1.420.757 €	-1.294.915 €	-1.169.073 €	-1.043.231 €
2032	-1.384.437 €	-1.240.617 €	-1.096.798 €	-952.978 €	-809.158 €
2033	-1.222.915 €	-1.061.118 €	-899.321 €	-737.524 €	-575.727 €
2034	-1.065.151 €	-885.376 €	-705.602 €	-525.827 €	-346.053 €
2035	-908.129 €	-710.377 €	-512.625 €	-314.874 €	-117.122 €
2036	-755.093 €	-539.364 €	-323.635 €	-107.905 €	107.824 €
2037	-606.163 €	-372.456 €	-138.749 €	94.957 €	328.664 €
2038	-461.461 €	-209.777 €	41.908 €	293.592 €	545.276 €
2039	-321.114 €	-51.452 €	218.210 €	487.871 €	757.533 €
2040	-185.609 €	102.386 €	390.025 €	677.664 €	965.304 €
2041	-61.098 €	247.540 €	553.156 €	858.773 €	1.164.389 €
2042	52.502 €	383.895 €	707.667 €	1.031.261 €	1.354.855 €
2043	155.253 €	509.402 €	853.607 €	1.195.178 €	1.536.750 €
2044	247.202 €	624.107 €	991.013 €	1.350.562 €	1.710.111 €
2045	328.377 €	728.039 €	1.117.701 €	1.497.435 €	1.874.961 €
VAN	-743.022 €	-515.776 €	-292.491 €	-72.759 €	146.222 €
TIR	1,17%	2,46%	3,62%	4,68%	5,69%

10.2.4. Ahorro previsto en cada vivienda de la comarca

Los estudios de sensibilidad realizados en cada escenario se puede concluir que, para que los indicadores económicos sean positivos y, por tanto, exista una oportunidad económica para el inversor de obtener un retorno de la inversión seguro, se deberá marcar como precio fijo del PPA los 70 €/MWh. Sin embargo, aunque este es el precio donde los inversores tendrían un beneficio económico, es importante asegurar que los vecinos de la comarca de Villanueva y Santa Eulalia tendrían un ahorro económico durante los 20 años del acuerdo firmado entre el inversor renovable y ellos.

Para estudiar el ahorro económico en la factura de la luz de los vecinos sujetos al acuerdo del PPA se ha realizado un estudio de comparativo entre los escenarios explicados anteriormente y el precio fijado.

En este estudio, como ya se ha explicado anteriormente, se fija el consumo de la población sin tener en cuenta las variaciones de consumo durante los 20 años y asumiendo que todos los vecinos están sujetos a la tarifa regulada en su factura de la luz.

En la tabla se tiene el resumen anual de la variación del ahorro anual de cada vecino sujeto al acuerdo PPA, siendo:

- **Energía facturada anual (kWh):** el consumo anual de una vivienda en la localidad.
- **Precio PPA (€/kWh):** precio fijado en el acuerdo, siendo este de 0,07 €/kWh durante los 20 años de proyecto.
- **Precio estimado óptimo (€/kWh):** precio estimado en el escenario optimista del precio de la electricidad en la tarifa regulada durante los próximos 20 años en España.
- **Precio estimado pésimo (€/kWh):** precio estimado en el escenario pesimista del precio de la electricidad en la tarifa regulada durante los próximos 20 años en España.
- **Variación óptimo:** variación en el balance anual de la factura de la luz teniendo en cuenta la estimación del precio de la tarifa regulada del escenario optimista.

Ejemplo:

- Cálculo de la variación del balance en el caso óptimo del año 2034

$$Var. \text{ óptimo} = \text{Energía anual} * (\text{Precio estimado óptimo} - \text{PPA}) \quad [22]$$

$$Var. \text{ óptimo} 2034 = 5.470,26 \text{ kWh} * (0,075 - 0,07) \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$$

$$Var. \text{ óptimo} 2034 = 25,20 \text{ €}$$

- **Variación pésimo:** variación en el balance anual de la factura de la luz teniendo en cuenta la estimación del precio de la tarifa regulada del escenario pesimista.

Ejemplo:

- Cálculo de la variación del balance en el caso pésimo del año 2034

$$Var. \text{ pésimo} = \text{Energía anual} * (\text{Precio estimado pésimo} - \text{PPA}) \quad [23]$$

$$Var. \text{ pésimo} 2034 = 5.470,26 \text{ kWh} * (0,101 - 0,07) \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$$

$$Var. \text{ óptimo} 2034 = 171,05 \text{ €}$$

Si el balance es negativo, color rojo, significa que el propietario de la vivienda estaría pagando más en su factura de la luz que si estuviera sujeto a la tarifa regulada estimada y, por tanto, perdiendo dinero. Por el contrario, si el balance es positivo, color verde, el propietario estaría ahorrando dinero en su factura de la luz por estar sujeto al acuerdo.

Realizando el balance total de las variaciones de ambos escenarios, se concluye que, para el escenario optimista cada vecino que esté incluido en el acuerdo del PPA podría ahorrar más de 100 €, mientras que para el escenario pesimista el ahorro podría llegar a más de 3000 €.

Por tanto, acogerse al acuerdo de PPA con el inversor renovable es económicamente rentable para los vecinos de la comarca de Oscos-Eo.

Año	Energía facturada anual (kWh)	Precio PPA (€/kWh)	Precio estimado óptimo (€/kWh)	Precio estimado pésimo (€/kWh)	Variación óptimo	Variación pésimo
2025	5470,26	0,07 €	0,065 €	0,075 €	- 27,35 €	27,35 €
2026	5470,26	0,07 €	0,065 €	0,075 €	- 27,35 €	27,35 €
2027	5470,26	0,07 €	0,066 €	0,079 €	- 20,24 €	47,86 €
2028	5470,26	0,07 €	0,068 €	0,083 €	- 12,99 €	69,40 €
2029	5470,26	0,07 €	0,068 €	0,083 €	- 12,99 €	69,40 €
2030	5470,26	0,07 €	0,069 €	0,087 €	- 5,59 €	92,02 €
2031	5470,26	0,07 €	0,072 €	0,094 €	9,51 €	130,01 €
2032	5470,26	0,07 €	0,072 €	0,094 €	9,51 €	130,01 €
2033	5470,26	0,07 €	0,075 €	0,101 €	25,20 €	171,05 €
2034	5470,26	0,07 €	0,075 €	0,101 €	25,20 €	171,05 €
2035	5470,26	0,07 €	0,078 €	0,109 €	41,53 €	215,37 €
2036	5470,26	0,07 €	0,078 €	0,109 €	41,53 €	215,37 €
2037	5470,26	0,07 €	0,078 €	0,109 €	41,53 €	215,37 €
2038	5470,26	0,07 €	0,078 €	0,109 €	41,53 €	215,37 €
2039	5470,26	0,07 €	0,078 €	0,109 €	41,53 €	215,37 €
2040	5470,26	0,07 €	0,078 €	0,109 €	41,53 €	215,37 €
2041	5470,26	0,07 €	0,074 €	0,107 €	20,30 €	203,40 €
2042	5470,26	0,07 €	0,070 €	0,105 €	0,14 €	191,67 €
2043	5470,26	0,07 €	0,067 €	0,103 €	- 19,01 €	180,18 €
2044	5470,26	0,07 €	0,063 €	0,101 €	- 37,20 €	168,92 €
2045	5470,26	0,07 €	0,060 €	0,099 €	- 54,49 €	157,88 €
					121,82 €	3.129,79 €

Proporcionar un ahorro económico tan importante a lo largo del tiempo a los habitantes de la comarca ayuda a que algunos vecinos que tenía una opinión contraria sobre la nueva instalación de aerogeneradores en los alrededores de la sierra de Pumarín puedan ceder ante los nuevos proyectos de los inversores renovables. Además, asegurándoles que la energía consumida en sus viviendas procede de una fuente 100% renovable y que ayudan la situación climática puede contribuir a cambiar de opinión a los más escépticos.

10.2.5. LCOE aerogenerador eólico

$$LCOE = \frac{(INV \cdot f_a + C_{OM} \cdot f_{\Sigma OM} \cdot f_a)}{Producción} \quad [24]$$

Siendo:

- El coste normalizado de la inversión:

$$A = INV \cdot f_a = 220.652,64 \text{ €} \quad [25]$$

- **INV:** 2.744.000 €
- **f_a :** 0,0804
 - **N :** 20 años
 - **wacc:** 5,03 %

$$f_a = \frac{wacc + (1 + wacc)^N}{(1 + wacc)^N - 1} = 0,0804$$

- El coste normalizado de operaciones y mantenimiento:

$$C_{N,OM} = C_{OM} \cdot f_{\Sigma OM} \cdot f_a = 200.748,40 \text{ €} \quad [26]$$

- **C_{OM} :** 125.136 €
- **$f_{\Sigma OM}$:** 19,95
 - **r :** tasa de actualización nominal del precio de la electricidad, 5 %
 - **N :** 20 años
 - **wacc:** 5,03 %

$$k_x = \frac{1 + r}{1 + wacc} = \frac{1 + 0,05}{1 + 0,0503} = 0,9997$$

$$f_{\Sigma OM} = \frac{k_x \cdot (1 - k_x^N)}{1 - k_x} = \frac{0,9997 \cdot (1 - 0,9997^{20})}{1 - 0,9997} = 19,95$$

- **f_a :** 0,0804
 - **N :** 20 años
 - **wacc:** 5,03 %

$$f_a = \frac{wacc + (1 + wacc)^N}{(1 + wacc)^N - 1} = 0,0804$$

Por tanto, teniendo una producción anual del aerogenerador de 5.877,43 MWh, se obtiene un LCOE de 71,70 €/MWh.

$$LCOE = \frac{(INV \cdot f_a + C_{OM} \cdot f_{\Sigma OM} \cdot f_a)}{Producción} = \frac{220.652,64 \text{ €} + 200.748,40 \text{ €}}{5.877,43 \text{ MWh}} = 71,70 \text{ €/MWh}$$

10.3. VIABILIDAD ECONÓMICA DE LA INSTALACIÓN VORTEX

La evaluación de la viabilidad económica de la instalación de los aerogenerador Vortex en la vivienda unifamiliar, en la localidad de Villanueva, implica un análisis exhaustivo de los diversos aspectos financieros vinculantes al proyecto de autoconsumo que llevaría a cabo el dueño de la vivienda. En este apartado, se llevará a cabo un estudio detallado que tendrá en cuenta los cálculos de producción de los aerogenerador, el consumo de la vivienda y el ahorro anual estimado por el autoconsumo de la instalación.

Primero se detallará las diferentes estimaciones respecto a la producción del Vortex, el consumo de la vivienda y el ahorro económico. Además, se explicarán las estimaciones realizadas en la aproximación de los costes de operaciones y mantenimiento a lo largo de la vida útil del aerogenerador.

Después, para cada escenario se calculará el flujo de caja, se analizarán los indicadores económicos y se llevará a cabo un estudio de sensibilidad en el que se variará el coste del aerogenerador para observar la influencia en el proyecto en base a la evolución de la reducción de costes.

10.3.1. Estimaciones

Para llevar a cabo el análisis económico se han realizado las siguientes estimaciones:

- La producción de los aerogeneradores Vortex no sufren variaciones a lo largo de su vida útil, lo que implica que no se tienen variaciones en la producción mensual de los Vortex durante los 20 años de estudio del proyecto de autoconsumo. Al igual que en el estudio de viabilidad económica del proyecto de la instalación del aerogenerador eólico, sería necesario realizar un estudio de la posible disminución de la producción de los aerogeneradores debido al desgaste. Sin embargo, esta preocupación sobre la disminución de la producción se minimiza debido a que el aerogenerador Vortex tiene pocas partes móviles y mecánicas que puedan sufrir desgaste por fatiga a lo largo de los años.
- El consumo de la vivienda no varía su consumo a lo largo de los 20 años, al igual que con el estudio detallado de la producción del aerogenerador Vortex, que queda fuera del alcance de este estudio.

Del mismo modo que en el estudio del eólico, cabe destacar que un análisis exhaustivo del consumo debería tener en cuenta que la vivienda unifamiliar está compuesta de 4 personas (padres y dos adolescentes) y es muy posible que cuando los hijos alcancen la mayoría de edad dejen la unidad familiar para estudiar en la universidad. Además, se espera una disminución en el consumo debido al aumento progresivo de la eficiencia energética de los electrodomésticos de la vivienda.

Se trata de una vivienda típica en el Oeste de Asturias, con muros de piedra de un grosor mayor a los 50 centímetros para realizar de manera natural un aislamiento térmico para la época invernal. Sin embargo, no están acondicionadas para temperaturas estivales extremas y, por tanto, ya han contemplado la posibilidad de la instalación de un dispositivo de aire acondicionado centralizado. Todos estos factores pueden provocar variaciones de consumo en la vivienda a lo largo de los años.

En la Tabla 28 se observa la producción de la instalación Vortex y el consumo de la vivienda unifamiliar en cada uno de los meses.

Tabla 28. Resumen de la producción, consumo del proyecto de autoconsumo de la instalación Vortex. Fuente: Propia

	Consumo vivienda (MWh)	Producción mensual (MWh)
ENERO	0,464	0,118
FEBRERO	0,419	0,100
MARZO	0,464	0,103
ABRIL	0,449	0,050
MAYO	0,464	0,052
JUNIO	0,449	0,050
JULIO	0,464	0,044
AGOSTO	0,464	0,044
SEPTIEMBRE	0,449	0,043
OCTUBRE	0,464	0,052
NOVIEMBRE	0,449	0,086
DICIEMBRE	0,464	0,118

- El coste de mantenimiento y operaciones de los aerogeneradores irá aumentando a lo largo de su vida útil según la inflación estimada en el cálculo del WACC, en este caso del 3 % anual. Siendo el coste de mantenimiento del primer año de funcionamiento de 4,50€ por cada aerogenerador instalado. Por tanto, un total de 27 € de coste de mantenimiento de la instalación en el primer año.
- Se realiza una amortización lineal de la inversión inicial durante los 20 años de estimación de vida útil de la instalación de los aerogeneradores. Siendo el coste de inversión realizado en el año 2024 de un total de 3060 €, por tanto, se amortiza un total de 153 € anuales.
- El flujo de caja base, de ambos escenarios, se estima respecto al ahorro económico producido por el autoconsumo al no comprar la energía necesaria al precio del pool. Después de calcular el flujo de caja base, se realizará un estudio de sensibilidad variando el coste de inversión observando la variación entre los flujos de caja acumulados y los indicadores financieros.

10.3.2. Viabilidad del escenario “pesimista”

Los “ingresos” anuales provienen del ahorro de energía producidos por el autoconsumo. El cálculo del ahorro sería respecto a la producción de los aerogeneradores Vortex y al precio del mercado regulado de cada año del escenario “pesimista”

A modo de ejemplo, el cálculo de los ahorros del mes de abril del año 2034 sería:

- **Precio estimado en el escenario “pesimista” en el año 2034:** 101 €/MWh
- **Producción del aerogenerador en el mes de abril:** 0,05 MWh
- **Consumo de las localidades en el mes de abril:** 0,449 MWh

$$\text{Ahorro} = 0,05 \text{ MWh} \cdot 101 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} = 5,04 \text{ €} \quad [27]$$

Por consiguiente, el ahorro anual del año 2034 es de 86,84 €, el cual se muestra el desglose mensual en la Tabla 29.

Tabla 29. Cálculo del ahorro anual del año 2034 en el proyecto de autoconsumo de aerogeneradores Vortex del escenario “pesimista”. Fuente: Propia

	Consumo vivienda (MWh)	Producción mensual (MWh)	Ahorro (€)
ENERO	0,464	0,118	11,90 €
FEBRERO	0,419	0,100	10,08 €
MARZO	0,464	0,103	10,41 €
ABRIL	0,449	0,050	5,04 €
MAYO	0,464	0,052	5,21 €
JUNIO	0,449	0,050	5,04 €
JULIO	0,464	0,044	4,46 €
AGOSTO	0,464	0,044	4,46 €
SEPTIEMBRE	0,449	0,043	4,32 €
OCTUBRE	0,464	0,052	5,21 €
NOVIEMBRE	0,449	0,086	8,64 €
DICIEMBRE	0,464	0,118	11,90 €

En la Tabla 30 se muestra el flujo de caja del proyecto de la instalación de los aerogeneradores Vortex en el patio de vivienda unifamiliar a lo largo de los 20 años de vida útil, 2025-2045.

Tabla 30. Flujo de caja del proyecto de autoconsumo de aerogeneradores Vortex del escenario "pesimista". Fuente: Propia

Año	Ingresos (€)	Costes (€)	EBITDA (€)	Amortiza. (€)	EBIT (€)	Beneficio neto (€)	Flujo de caja (€)	Flujo caja acumul. (€)
2024							-3.060 €	
2025	64 €	27 €	37 €	153 €	-116 €	-116 €	37 €	-3.023 €
2026	64 €	28 €	37 €	153 €	-116 €	-116 €	37 €	-2.986 €
2027	68 €	29 €	39 €	153 €	-114 €	-114 €	39 €	-2.947 €
2028	71 €	30 €	41 €	153 €	-112 €	-112 €	41 €	-2.906 €
2029	71 €	30 €	41 €	153 €	-112 €	-112 €	41 €	-2.865 €
2030	75 €	31 €	43 €	153 €	-110 €	-110 €	43 €	-2.822 €
2031	80 €	32 €	48 €	153 €	-105 €	-105 €	48 €	-2.774 €
2032	80 €	33 €	47 €	153 €	-106 €	-106 €	47 €	-2.726 €
2033	87 €	34 €	53 €	153 €	-100 €	-100 €	53 €	-2.674 €
2034	87 €	35 €	52 €	153 €	-101 €	-101 €	52 €	-2.622 €
2035	94 €	36 €	58 €	153 €	-95 €	-95 €	58 €	-2.564 €
2036	94 €	37 €	56 €	153 €	-97 €	-97 €	56 €	-2.508 €
2037	94 €	38 €	55 €	153 €	-98 €	-98 €	55 €	-2.453 €
2038	94 €	40 €	54 €	153 €	-99 €	-99 €	54 €	-2.398 €
2039	94 €	41 €	53 €	153 €	-100 €	-100 €	53 €	-2.345 €
2040	94 €	42 €	52 €	153 €	-101 €	-101 €	52 €	-2.294 €
2041	92 €	43 €	49 €	153 €	-104 €	-104 €	49 €	-2.245 €
2042	90 €	45 €	46 €	153 €	-107 €	-107 €	46 €	-2.199 €
2043	88 €	46 €	42 €	153 €	-111 €	-111 €	42 €	-2.157 €
2044	87 €	47 €	39 €	153 €	-114 €	-114 €	39 €	-2.118 €
2045	85 €	49 €	36 €	153 €	-117 €	-117 €	36 €	-2.082 €

Tras analizar detenidamente el flujo de caja acumulado a lo largo de los 20 años de vida útil del proyecto de la instalación de aerogeneradores Vortex en una vivienda unifamiliar, se obtiene un VAN de -2.354 € y un TIR de -8,64 %.

Una vez calculado el flujo de caja acumulado del ahorro base, es fundamental evaluar cómo cambia la viabilidad económica del proyecto en función al coste del aerogenerador. Este análisis proporcionará información valiosa para entender la sensibilidad del proyecto y poder comparar entre los dos escenarios. De esta manera, se podrá determinar qué precio de venta debería tener el Vortex para que asegure un retorno seguro de la inversión, independientemente de la evolución de los precios de la tarifa regulado en un futuro.

En la Ilustración 50 se muestra la evolución del flujo de caja acumulado del proyecto durante los 20 años de vida útil estimado del proyecto de la instalación de los aerogeneradores dependiendo del coste del aerogenerador. El estudio de sensibilidad se ha realizado desde los 100 a los 600€.

Además, en la Tabla 31 se realiza un desglose anual de la evolución del flujo de caja acumulado representado en la Ilustración 50 y se incluye los indicadores financieros del VAN y el TIR de cada uno de ellos.

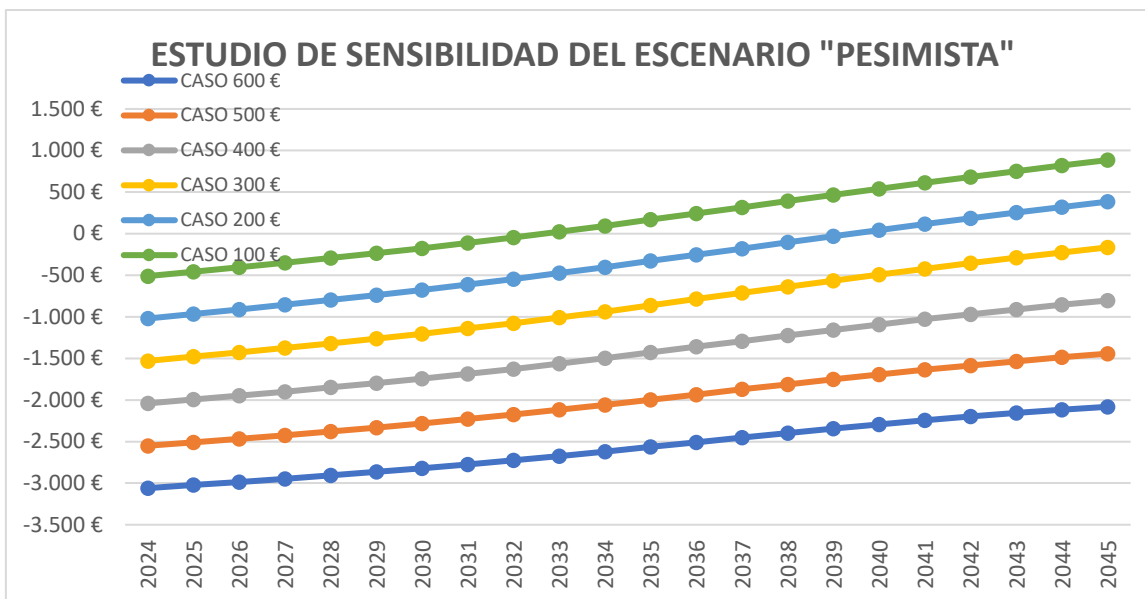


Ilustración 50. Estudio de sensibilidad del proyecto de autoconsumo de aerogeneradores Vortex del escenario "pesimista". Fuente: Propia

Tabla 31. Estudio de sensibilidad del proyecto de autoconsumo de aerogeneradores Vortex del escenario "pesimista". Fuente: Propia

AÑO	CASO 600 €	CASO 500 €	CASO 400 €	CASO 300 €	CASO 200 €	CASO 100 €
2024	-3.060 €	-2.550 €	-2.040 €	-1.530 €	-1.020 €	-510 €
2025	-3.023 €	-2.508 €	-1.994 €	-1.479 €	-966 €	-457 €
2026	-2.986 €	-2.467 €	-1.948 €	-1.429 €	-911 €	-405 €
2027	-2.947 €	-2.423 €	-1.899 €	-1.375 €	-855 €	-350 €
2028	-2.906 €	-2.377 €	-1.848 €	-1.319 €	-796 €	-292 €
2029	-2.865 €	-2.331 €	-1.797 €	-1.263 €	-737 €	-235 €
2030	-2.822 €	-2.283 €	-1.744 €	-1.205 €	-676 €	-175 €
2031	-2.774 €	-2.229 €	-1.685 €	-1.140 €	-610 €	-110 €
2032	-2.726 €	-2.176 €	-1.626 €	-1.076 €	-544 €	-46 €
2033	-2.674 €	-2.118 €	-1.562 €	-1.007 €	-474 €	24 €
2034	-2.622 €	-2.060 €	-1.499 €	-937 €	-404 €	93 €
2035	-2.564 €	-1.997 €	-1.429 €	-862 €	-329 €	168 €
2036	-2.508 €	-1.934 €	-1.360 €	-786 €	-254 €	243 €
2037	-2.453 €	-1.872 €	-1.292 €	-712 €	-179 €	317 €
2038	-2.398 €	-1.811 €	-1.225 €	-638 €	-104 €	391 €
2039	-2.345 €	-1.752 €	-1.158 €	-564 €	-30 €	466 €
2040	-2.294 €	-1.693 €	-1.092 €	-491 €	43 €	539 €
2041	-2.245 €	-1.637 €	-1.029 €	-421 €	115 €	612 €
2042	-2.199 €	-1.584 €	-969 €	-353 €	186 €	682 €
2043	-2.157 €	-1.534 €	-911 €	-288 €	254 €	752 €
2044	-2.118 €	-1.487 €	-856 €	-225 €	321 €	819 €
2045	-2.082 €	-1.443 €	-804 €	-165 €	386 €	885 €

VAN	-2.354 €	-1.797 €	-1.240 €	-683 €	-173 €	303 €
TIR	-8,64%	-6,51%	-4,06%	-0,97%	2,98%	10,85%

10.3.3. Viabilidad del escenario “optimista”

Los “ingresos” anuales provienen del ahorro de energía producidos por el autoconsumo. El cálculo del ahorro sería respecto a la producción de los aerogeneradores Vortex y al precio del mercado regulado de cada año del escenario “optimista”

A modo de ejemplo, el cálculo de los ahorros del mes de abril del año 2034 sería:

- **Precio estimado en el escenario “pesimista” en el año 2034:** 74,61 €/MWh
- **Producción del aerogenerador en el mes de abril:** 0,05 MWh
- **Consumo de las localidades en el mes de abril:** 0,449 MWh

$$\text{Ahorro} = 0,05 \text{ MWh} \cdot 74,61 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} = 3,72 \text{ €} \quad [28]$$

Por consiguiente, el ahorro anual del año 2034 es de 64,03 €, el cual se muestra el desglose mensual en la Tabla 32.

Tabla 32. Cálculo del ahorro anual del año 2034 en el proyecto de autoconsumo de aerogeneradores Vortex del escenario “optimista”. Fuente: Propia

	Consumo vivienda (MWh)	Producción mensual (MWh)	Ahorro (€)
ENERO	0,464	0,118	8,79 €
FEBRERO	0,419	0,100	7,45 €
MARZO	0,464	0,103	7,69 €
ABRIL	0,449	0,050	3,72 €
MAYO	0,464	0,052	3,85 €
JUNIO	0,449	0,050	3,72 €
JULIO	0,464	0,044	3,30 €
AGOSTO	0,464	0,044	3,30 €
SEPTIEMBRE	0,449	0,043	3,19 €
OCTUBRE	0,464	0,052	3,85 €
NOVIEMBRE	0,449	0,086	6,38 €
DICIEMBRE	0,464	0,118	8,79 €

En la Tabla 33 se muestra el flujo de caja del proyecto de la instalación de los aerogeneradores Vortex en el patio de vivienda unifamiliar a lo largo de los 20 años de vida útil, 2025-2045.

Tabla 33. Flujo de caja del proyecto de autoconsumo de aerogeneradores Vortex del escenario "optimista". Fuente: Propia

Año	Ingresos (€)	Costes (€)	EBITDA (€)	Amortiza. (€)	EBIT (€)	Beneficio neto (€)	Flujo de caja (€)	Flujo caja acumul. (€)
2024							-3.060 €	
2025	56 €	27 €	29 €	153 €	-124 €	-124 €	29 €	-3.031 €
2026	56 €	28 €	28 €	153 €	-125 €	-125 €	28 €	-3.003 €
2027	57 €	29 €	28 €	153 €	-125 €	-125 €	28 €	-2.975 €
2028	58 €	30 €	29 €	153 €	-124 €	-124 €	29 €	-2.946 €
2029	58 €	30 €	28 €	153 €	-125 €	-125 €	28 €	-2.919 €
2030	59 €	31 €	28 €	153 €	-125 €	-125 €	28 €	-2.891 €
2031	62 €	32 €	29 €	153 €	-124 €	-124 €	29 €	-2.862 €
2032	62 €	33 €	28 €	153 €	-125 €	-125 €	28 €	-2.833 €
2033	64 €	34 €	30 €	153 €	-123 €	-123 €	30 €	-2.803 €
2034	64 €	35 €	29 €	153 €	-124 €	-124 €	29 €	-2.775 €
2035	67 €	36 €	30 €	153 €	-123 €	-123 €	30 €	-2.744 €
2036	67 €	37 €	29 €	153 €	-124 €	-124 €	29 €	-2.715 €
2037	67 €	38 €	28 €	153 €	-125 €	-125 €	28 €	-2.687 €
2038	67 €	40 €	27 €	153 €	-126 €	-126 €	27 €	-2.660 €
2039	67 €	41 €	26 €	153 €	-127 €	-127 €	26 €	-2.634 €
2040	67 €	42 €	25 €	153 €	-128 €	-128 €	25 €	-2.610 €
2041	63 €	43 €	20 €	153 €	-133 €	-133 €	20 €	-2.590 €
2042	60 €	45 €	15 €	153 €	-138 €	-138 €	15 €	-2.574 €
2043	57 €	46 €	11 €	153 €	-142 €	-142 €	11 €	-2.563 €
2044	54 €	47 €	7 €	153 €	-146 €	-146 €	7 €	-2.556 €
2045	52 €	49 €	3 €	153 €	-150 €	-150 €	3 €	-2.554 €

Tras analizar detenidamente el flujo de caja acumulado a lo largo de los 20 años de vida útil del proyecto de la instalación de aerogeneradores Vortex en una vivienda unifamiliar, se obtiene un VAN de -2.601 € y un TIR de -14,35 %.

Una vez calculado el flujo de caja acumulado del ahorro base, es fundamental evaluar cómo cambia la viabilidad económica del proyecto en función al coste del aerogenerador. Este análisis proporcionará información valiosa para entender la sensibilidad del proyecto y poder comparar entre los dos escenarios. De esta manera, se podrá determinar qué precio de venta debería tener el Vortex para que asegure un retorno seguro de la inversión, independientemente de la evolución de los precios de la tarifa regulado en un futuro.

En la Ilustración 51 se muestra la evolución del flujo de caja acumulado del proyecto durante los 20 años de vida útil estimado del proyecto de la instalación de los aerogeneradores dependiendo del coste del aerogenerador. El estudio de sensibilidad se ha realizado desde los 100 a los 600€.

Además, en la Tabla 34 se realiza un desglose anual de la evolución del flujo de caja acumulado representado en la Ilustración 51 y se incluye los indicadores financieros del VAN y el TIR de cada uno de ellos.

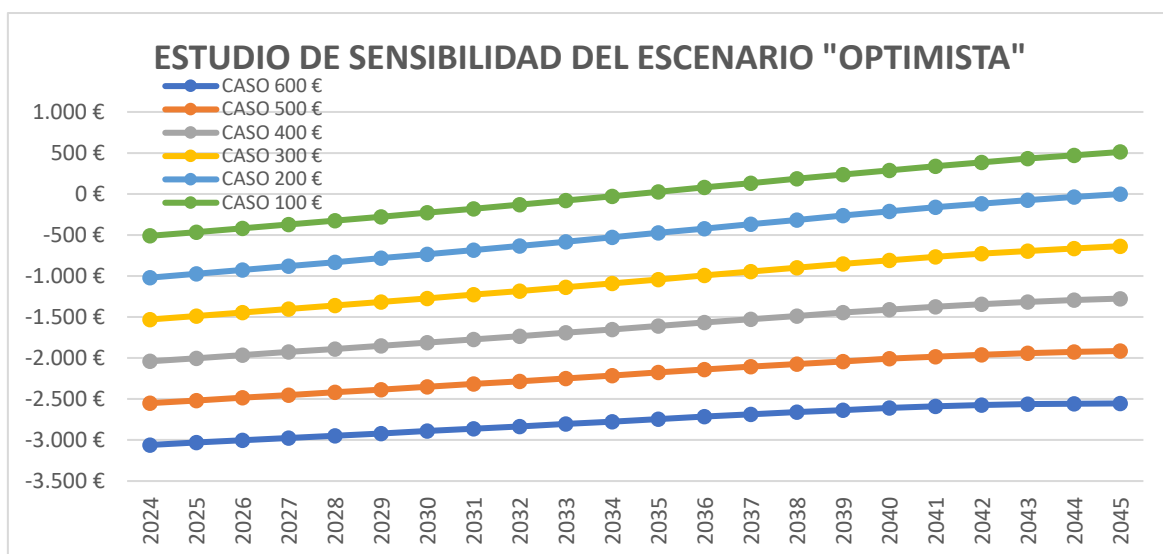


Ilustración 51. Estudio de sensibilidad del proyecto de autoconsumo de aerogeneradores Vortex del escenario "optimista". Fuente: Propia

Tabla 34. Estudio de sensibilidad del proyecto de autoconsumo de aerogeneradores Vortex del escenario "optimista". Fuente: Propia

AÑO	CASO 600 €	CASO 500 €	CASO 400 €	CASO 300 €	CASO 200 €	CASO 100 €
2024	-3.060 €	-2.550 €	-2.040 €	-1.530 €	-1.020 €	-510 €
2025	-3.031 €	-2.517 €	-2.002 €	-1.488 €	-973 €	-464 €
2026	-3.003 €	-2.484 €	-1.965 €	-1.446 €	-927 €	-418 €
2027	-2.975 €	-2.451 €	-1.927 €	-1.403 €	-879 €	-372 €
2028	-2.946 €	-2.418 €	-1.889 €	-1.360 €	-831 €	-325 €
2029	-2.919 €	-2.385 €	-1.851 €	-1.317 €	-783 €	-277 €
2030	-2.891 €	-2.352 €	-1.813 €	-1.274 €	-734 €	-229 €
2031	-2.862 €	-2.317 €	-1.773 €	-1.228 €	-684 €	-180 €
2032	-2.833 €	-2.283 €	-1.733 €	-1.183 €	-633 €	-130 €
2033	-2.803 €	-2.248 €	-1.692 €	-1.136 €	-581 €	-79 €
2034	-2.775 €	-2.213 €	-1.651 €	-1.090 €	-529 €	-27 €
2035	-2.744 €	-2.177 €	-1.609 €	-1.041 €	-475 €	26 €
2036	-2.715 €	-2.141 €	-1.567 €	-993 €	-422 €	79 €
2037	-2.687 €	-2.107 €	-1.526 €	-946 €	-368 €	132 €
2038	-2.660 €	-2.073 €	-1.486 €	-899 €	-316 €	185 €
2039	-2.634 €	-2.041 €	-1.447 €	-853 €	-263 €	237 €
2040	-2.610 €	-2.009 €	-1.408 €	-808 €	-211 €	290 €
2041	-2.590 €	-1.982 €	-1.374 €	-766 €	-162 €	339 €
2042	-2.574 €	-1.959 €	-1.344 €	-728 €	-117 €	386 €
2043	-2.563 €	-1.940 €	-1.317 €	-694 €	-75 €	431 €
2044	-2.556 €	-1.925 €	-1.295 €	-664 €	-37 €	473 €
2045	-2.554 €	-1.915 €	-1.275 €	-636 €	-1 €	512 €

VAN	-2.601 €	-2.044 €	-1.487 €	-930 €	-375 €	109 €
TIR	-14,35%	-11,11%	-8,05%	-4,61%	-0,01%	7,40%

10.3.4. LCOE aerogenerador Vortex

$$LCOE = \frac{(INV \cdot f_a + C_{OM} \cdot f_{\Sigma OM} \cdot f_a)}{Producción} \quad [29]$$

Siendo:

- El coste normalizado de la inversión:

$$A = INV \cdot f_a = 359,43 \text{ €} \quad [30]$$

- **INV:** 3.060 €
- **f_a :** 0,1174
 - **N:** 20 años
 - **r:** 10 %

$$f_a = \frac{r + (1 + r)^N}{(1 + r)^N - 1} = 0,1174$$

- El coste normalizado de operaciones y mantenimiento:

$$C_{N,OM} = C_{OM} \cdot f_{\Sigma OM} \cdot f_a = 40,33 \text{ €} \quad [31]$$

- **C_{OM} :** 27 €
- **$f_{\Sigma OM}$:** 12,71
 - **R:** tasa de actualización nominal del precio de la electricidad, 5 %
 - **N:** 20 años
 - **r:** 10 %

$$k_x = \frac{1 + R}{1 + r} = \frac{1 + 0,5}{1 + 0,10} = 0,9545$$

$$f_{\Sigma OM} = \frac{k_x \cdot (1 - k_x^N)}{1 - k_x} = \frac{0,9545 \cdot (1 - 0,9545^{20})}{1 - 0,9545} = 12,71$$

- **f_a :** 0,0804
 - **N:** 20 años
 - **wacc:** 5,03 %

$$f_a = \frac{r + (1 + r)^N}{(1 + r)^N - 1} = 0,1174$$

Por tanto, teniendo una producción anual del aerogenerador de 0,8582 MWh, se obtiene un LCOE de 465,81 €/MWh.

$$LCOE = \frac{(INV \cdot f_a + C_{OM} \cdot f_{\Sigma OM} \cdot f_a)}{Producción} = \frac{359,43 \text{ €} + 40,33 \text{ €}}{0,8582 \text{ MWh}} = 465,81 \text{ €/MWh}$$

Este coste del LCOE está calculado respecto al caso base, donde se instalan 6 aerogeneradores Vortex con el coste estimado por la empresa. Sin embargo, teniendo en cuenta el estudio de sensibilidad, donde el único caso donde los indicadores económicos son positivos es con la reducción del coste total a lo largo de la vida útil del aerogenerador hasta los 100 €, se obtendría un LCOE de 77,64 €/MWh.

11. CONCLUSIONES

En este Trabajo de Fin de Máster, se ha llevado a cabo un análisis comparativo técnico-económico entre aerogeneradores móviles y aerogeneradores Vortex para el abastecimiento energético parcial de una población rural, con el objetivo de comparar los dos tipos de tecnología, rendimiento, producción de energía y viabilidad económica para el abastecimiento de la población elegida.

En este apartado de conclusiones, se presentan los hallazgos más relevantes obtenidos a partir de la realización de la investigación en cada uno de los proyectos estudiados.

- Establecer un precio fijo de 70 €/MWh en el acuerdo de PPA entre las poblaciones seleccionadas y una empresa inversora proporciona una rentabilidad económica a la empresa y un ahorro económico a los vecinos sujetos al acuerdo. Esta rentabilidad para ambas partes está asegurada en ambos escenarios energéticos y económicos estudiados en el proyecto.
- El ahorro económico que puede proporcionar el acuerdo PPA puede provocar un cambio de mentalidad en los vecinos de la comarca Oscos-Eo respecto a la proliferación de nuevos proyectos de parques eólicos en las tierras asturianas. Además, al apoyar el aumento de la capacidad renovable en el mix español y saber que la energía consumida en sus viviendas procede de fuentes de energía renovables, que ayudan drásticamente a reducir la crisis climática actual, ha provocado que los vecinos más escépticos a la construcción de eólicos puedan llegar a tener más razones para ceder a favor de las empresas que buscan oportunidades económicas en la zona y, por tanto, estableciendo un precedente en el Principado de Asturias.
- El aerogenerador Vortex está diseñado para ambientes rurales y urbanos, ya sea a ras de suelo o en las azoteas de los edificios, donde las turbulencias predominan debido a las interferencias provocadas por la interacción del flujo de aire con las estructuras colindantes. Además, estos aerogeneradores comienzan a producir energía a velocidades medias del viento menores a los aerogeneradores móviles convencionales con características similares de relación peso-altura. Sin embargo, en este proyecto se ha estudiado la instalación de los aerogeneradores Vortex en una casa unifamiliar, integrada por 4 miembros, en la localidad de Villanueva de Oscos, Asturias. Se ha concluido que no es viable económicamente realizar la inversión por parte del propietario de la vivienda, debido a la poca energía que proporcionaban en relación al coste actual de inversión inicial y mantenimiento que se proyecta del prototipo Vortex Tacoma.
- Se ha realizado un estudio de sensibilidad en el proyecto de la instalación de aerogeneradores Vortex para comprobar la influencia del coste del aerogenerador en la viabilidad económica y la capacidad de ahorro de los propietarios de la vivienda. Se ha concluido que, reduciendo el coste en un 83 % respecto a las cifras proporcionadas por la empresa Vortex Bladeless, la instalación de los aerogeneradores Vortex Tacoma sería económicamente rentable para abastecer parcialmente de energía a la vivienda. Sin embargo, la disminución drástica del coste del prototipo no es una realidad. Por tanto, la empresa va a tener que centrar sus esfuerzos en aumentar la potencia del aerogenerador para lograr una mejor relación coste-potencia.

- Se ha comprendido la importancia del Estudio de Impacto Ambiental en la instalación de un nuevo parque eólico. Es fundamental determinar e identificar todos los bienes naturales que tiene la zona y evaluar cómo va a afectar al ecosistema rural las fases de construcción, explotación y desmantelamiento de la instalación. Además, es necesario desarrollar un plan integral para cada uno de los riesgos e impactos detectados en el estudio, estableciendo medidas de prevención, corrección y compensación para cada uno de ellos. No obstante, este plan debe ser dinámico y adaptable a los cambios e imprevistos que no hayan sido estudiados con anterioridad. Mediante el Plan de Vigilancia Ambiental y Seguimiento se debe comunicar por parte de los responsables establecidos por la empresa todos los riesgos e impactos no establecidos en el EIA para realizar las medidas preventivas o correctoras pertinentes.

12. BIBLIOGRAFÍA

- [1] L. Celada, «¿Por qué Sube el Precio de la Luz en España? Evolución en 2023», Plenitude. Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://eniplenitude.es/blog/energia/subida-precio-luz-2023-motivos-evolucion/>
- [2] Viaintermedia.com, «Mix España 2022: el máximo histórico de la generación eólica no compensa el descalabro de la hidráulica», Energías Renovables, el periodismo de las energías limpias. Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.energias-renovables.com/panorama/las-renovables-son-cada-vez-mas-protagonistas-20230323>
- [3] «Pacto Verde Europeo», El objetivo de la UE: la neutralidad climática de aquí a 2050. [En línea]. Disponible en: <https://www.consilium.europa.eu/es/politicas/green-deal/>
- [4] «El precio de la luz en septiembre», Vivienda y energía: Gas y luz. [En línea]. Disponible en: <https://www.ocu.org/vivienda-y-energia/gas-luz/informe/precio-luz>
- [5] segurore, «Todo sobre los PPA de energía renovable en España», Seguros para Energías Renovables. Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.segurorenovables.com/punto-conexion-fotovoltaica/ppa-de-energia-renovable/>
- [6] «El crecimiento imparable del autoconsumo fotovoltaico», Endesa. Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.endesa.com/es/la-cara-e/energias-renovables/aumento-autoconsumo-fotovoltaico-espana>
- [7] P. Mosquera, «Autoconsumo, ¿la rampa que permitirá despegar, por fin, a la minieólica en España?» [En línea]. Disponible en: <https://www.energias-renovables.com/eolica/autoconsumo--la-rampa-que-permitira-despegar-20210615>
- [8] Geesol, «¿En cuánto tiempo se recupera la inversión de paneles solares? | Geesol», Instalaciones Fotovoltaicas. Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.geesol.com/en-cuanto-tiempo-se-recupera-la-inversion-de-paneles-solares/>
- [9] «Controlar el precio y disponibilidad de energía es clave en el desarrollo de la sociedad». Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://solvictus.es/controlar-el-precio-y-disponibilidad-de-energia-es-clave-en-el-desarrollo-de-la-sociedad/>
- [10] «Tecnología de Vortex Bladeless», Tecnología de la eólica sin palas. [En línea]. Disponible en: <https://vortexbladeless.com/es/tecnologia/>
- [11] «¿Sabes qué es un PPA y cuáles son sus principales ventajas?», Contrato de compraventa de energía. [En línea]. Disponible en: <https://www.iberdrola.com/conocenos/contrato-ppa-energia>
- [12] «Objetivos y metas de desarrollo sostenible», 17 Objetivos para transformar nuestro mundo. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals>
- [13] «Datos solares bancables para tomar mejores decisiones». Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://solargis.com/es>
- [14] «Global Wind Atlas». Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://globalwindatlas.info>
- [15] Á. Rodríguez, «El occidente clama contra el “oligopolio” de la energía eólica», El Comercio: Diario de Asturias. Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en:

<https://www.elcomercio.es/asturias/occidente-clama-oligopolio-energia-eolica-20230605014023-nt.html>

- [16] C. BERNAL, «Las plataformas vecinales insisten en denunciar el “expolio eólico” del noroccidente», El Comercio: Diario de Asturias. Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.elcomercio.es/asturias/occidente/plataformas-vecinales-insisten-20221103002035-ntvo.html?ref=https%3A%2F%2Fes.search.yahoo.com%2F>
- [17] «Análisis territorial de la comarca Oscos-Eo». febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://oscos-eo.net/sites/default/files/oscoseo/2023-2027/leaderando/Analisis%20territorial.pdf>
- [18] «Comarca | GDR Oscos - Eo». Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.oscos-eo.net/8418819/comarca>
- [19] «Consumos del Sector Residencial en España Resumen de», studylib.es. Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://studylib.es/doc/4792316/consumos-del-sector-residencial-en-espana-resumen-de>
- [20] Alejandro, «Acuerdos PPA: Todo lo que necesitas saber para rentabilizar tu instalación solar», Unielectrica. Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.unielectrica.com/acuerdos-ppa-todo-lo-que-necesitas-saber-para-rentabilizar-tu-instalacion-fotovoltaica/>
- [21] J. A. Alonso, «Contratos de Pagos por Energía Renovable (PPA): ¿Qué son y cómo funcionan? - SunFields», SunFields | Expertos en Energía Fotovoltaica para Ahorro Energético en España. Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/contratos-de-pagos-por-energia-renovable-ppa-que-son-y-como-funcionan/>
- [22] «What is a Power Purchase Agreement (PPA)?», TotalEnergies.com. Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://totalenergies.com/news/what-power-purchase-agreement-ppa>
- [23] «Comercializadora vs. Distribuidora ¿Quién es quién en el mercado eléctrico?», Blog de Lucera. Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://lucera-prod-web-blog.azurewebsites.net/blog/comercializadora-distribuidora-diferencias>
- [24] «Sede Electrónica del Catastro - Fondo mapa de España». Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www1.sedecatastro.gob.es/Cartografia/mapa.aspx?pest=urbana&from=OVCBusqueda&ZV=NO&ZR=NO&anyozv=&tematicos=&anyotem=&RCCompleta=&via=&tipoVia=&numero=&kilometro=&bloque=&escalera=&planta=&puerta=&DescProv=ASTURIAS&prov=33&muni=900&DescMuni=OVIEDO&TipUR=U&codvia=&comVia=&tc=U&del=33&mun=900>
- [25] «¿Sabes cuántos kWh consume una casa al mes?», REPSOL. Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.repsol.es/particulares/asesoramiento-consumo/cuantos-kwh-consume-casa/>
- [26] «Evolución demanda | Informes del sistema». Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.sistemaelectrico-ree.es/informe-del-sistema-electrico/demanda/evolucion-demanda>
- [27] «Aerogenerador onshore SG 2.1-114 | Siemens Gamesa». Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.siemensgamesa.com/es-es/products-and-services/onshore/aerogenerador-sg-2-1-114>
- [28] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE, «Plan de Energías Renovables 2011-2020». [En línea]. Disponible en:

- https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/documentos_11227_per_2011-2020_def_93c624ab.pdf
- [29] R. D.-C. Quipu, «WACC: qué es, para qué sirve y cómo calcularlo (2024)», Autónomos, empresas y asesorías. Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://getquipu.com/blog/wacc/>
- [30] «¿Qué es un SPV y cómo puede beneficiar a tu empresa? - Fomento Empresas». Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.fomentoempresas.com/spv-que-es/>
- [31] Adrià Solsona Durán, «Análisis de la viabilidad económica de un parque eólico a través de un Project Finance», ICADE BUSINESS SCHOOL, Madrid, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.comillas.edu/jspui/bitstream/11531/25870/1/TFM000927.pdf>
- [32] «▷ Inflación España: Previsión IPC para 2024 y 2025 (actualizado)», Bankinter. Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.bankinter.com/blog/economia/previsiones-ipc-espana>
- [33] «La financiación en los proyectos de inversión. – blogmiguelangel.com». Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://blogmiguelangel.com/la-financiacion-en-los-proyectos-de-inversion/>
- [34] «Agencia Tributaria: Tipo impositivo». Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://sede.agenciatributaria.gob.es/Sede/impuesto-sobre-sociedades/que-base-imponible-se-determina-sociedades/tipo-impositivo.html>
- [35] «Rendimiento del Bono español a 10 años - Investing.com», Investing.com Español. Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://es.investing.com/rates-bonds/spain-10-year-bond-yield>
- [36] Escuela Técnica Superior de Ingeniería ICAI, «Risk an Return». McGraw-Hill Companies, Inc, 2014. [En línea]. Disponible en: https://sifo.comillas.edu/pluginfile.php/3617943/mod_resource/content/0/L9%20Risk%20and%20Return.pdf
- [37] David Jesús Yáñez Villarreal, «VIV resonant wind generators», junio de 2018. [En línea]. Disponible en: chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://vortexbladeless.com/wp-content/uploads/2018/10/VortexGreenPaper_en.pdf
- [38] Walter, «FUNDAMENTOS AERODINAMICOS», Energía Eólica. Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://energiaeolica-walter.blogspot.com/2011/11/fundamentos-aerodinamicos.html>
- [39] G. Portillo, «Aerogenerador vertical y de eje horizontal, ¿cómo funcionan?», Renovables Verdes. Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.renovablesverdes.com/aerogeneradores-verticales/>
- [40] P. Yadav, «Aerogenerador de eje horizontal vs vertical: diferencia y comparación». Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://askanydifference.com/es/difference-between-horizontal-axis-wind-turbine-and-vertical-axis-wind-turbine-with-table/>
- [41] «Más consumo eléctrico en casa por el confinamiento», www.ocu.org. Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ocu.org/vivienda-y-energia/gas-luz/noticias/aumento-consumo-electrico-confinamiento>
- [42] Jesús María Mas Juan, «Estudio de la viabilidad económica de una instalación solar fotovoltaica de 30 kW frente a la combinación de esta con los aerogeneradores Vortex en

- una empresa de carpintería en Crevillent, Alicante.», Universitat Politècnica de València, Valencia, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/185189/Mas%20%20Estudio%20de%20la%20viabilidad%20economica%20de%20una%20instalacion%20solar%20fotovoltaica%20de%2030%20kW%20frente%20a%20....pdf?sequence=1>
- [43] Escuela Técnica Superior de Ingeniería ICAI, «Tema 1-Introducción, Ingeniería Energética». [En línea]. Disponible en: https://sifo.comillas.edu/pluginfile.php/3848357/mod_resource/content/0/Tema%201.pdf
- [44] «¿Cómo va a evolucionar el precio de la luz durante 2024?», tarifaluzhora.es. Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://tarifaluzhora.es/info/precio-kwh/evolucion-precio-luz>
- [45] «Así evolucionará el precio de la luz en 2024», La Razón. Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.larazon.es/economia/asi-evolucionara-precio-luz-2024_202401056597d72ecf86730001c9370d.html
- [46] «Precio final anual de Comercializadores de referencia | OMIE». Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.omie.es/es/market-results/interannual/average-final-prices/reference-retailers?scope=interannual>
- [47] «El nuevo plan nuclear del Gobierno encarece en 3.700 millones la factura del apagón de las centrales - El Periódico». Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.elperiodico.com/es/economia/20231230/nuevo-plan-nuclear-gobierno-encarece-96338280>
- [48] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, «El Gobierno aprueba la Estrategia de Almacenamiento Energético, clave para garantizar la seguridad del suministro y precios más bajos de la energía». 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/prensa/210209nprobacionestrategiadealmacenamiento_tcm30-522654.pdf

ANEXO I - ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

1. OBJETIVO Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1. Objeto del proyecto. Relación con otros proyectos y con la planificación sectorial

La obra consiste en la instalación de un aerogenerador de 2.1 MW de potencia nominal en la comarca asturiana de Oscos-Eo, en el municipio de Villanueva de Oscos. El objetivo principal de la nueva instalación del aerogenerador es la creación de un PPA (Power Purchase Agreement) entre un fondo inversor y los diferentes municipios de la comarcas de Oscos-Eo.

Este acuerdo generará un precedente en las poblaciones rurales con el fin de promover el aumento de potencia instalada de fuentes renovables en el norte de España mediante un acuerdo de venta de energía hacia las poblaciones colindantes al punto de instalación del nuevo eólico a un precio fijo durante la vida útil del aerogenerador, durante 20 años aproximadamente.

Por un lado, al final este nuevo acuerdo entre una comarca rural en España y una empresa inversora es alcanzar una relación “simbiótica” entre ellos debido a que la empresa tendrá una fuente de ingresos constantes a lo largo de los años asegurando su inversión sin depender de factores externos y los habitantes de las poblaciones cercanas al parque eólico tendrán una disminución considerable en su factura de la luz y serán una comarca alimentada de energía renovable.

Por otro lado, este nuevo acuerdo intenta restaurar la confianza y disminuir las diferencias entre las comunidades de vecinos, los inversores y los gobiernos autonómicos respecto a la nueva instalación de fuentes renovables “a las puertas de sus casas”.

Este proyecto está relacionado con la aprobación por parte del Principado del proyecto “Escorpio” que estaba paralizado desde 2005 en la comarca de Oscos-Eo y en 2021 han sido aprobados los permisos pertinentes para la aprobación de la nueva instalación de 6 aerogeneradores que proporcionarían cerca de 5MW. Este proyecto también incluye la construcción de un centro de transformación y dos circuitos subterráneos en alta tensión de 30 kV, compartiendo subestación con los parques ya existentes en la zona. [15]

Este proyecto va de la mano con los objetivos establecidos en el acuerdo de París y adoptados por la UE en las medidas del “Green Deal” para la descarbonización del país mediante el aumento de las energías renovables el mix energético español.[3]

España ha adoptado un Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC) donde sus tres pilares de actuación son: [49]

- Reducción de emisiones de GEI (Gases de Efecto Invernadero)
- Eficiencia energética
- Potenciación de las Energías Renovables

La penetración de las fuentes renovables en la generación de energía deben estar en el orden del 70% (45% actual) y la electricidad debe cubrir el 40% de los usos finales de la energía (25% actual). Por tanto, la iniciativa de este proyecto contribuye al avance en el plan nacional para el alcance de los objetivos establecidos.

1.2. Ubicación y características del proyecto

El proyecto, como se ha comentado anteriormente, se situará en la comarca asturiana de Oscos-Eo, en el municipio de Villanueva de Oscos. En la ilustración se observa la localización de la comarca en la provincia de Asturias, localizándose en el Oeste de la provincia de Asturias haciendo frontera con Galicia a unos 30 km de la costa Cantábrica. [17]

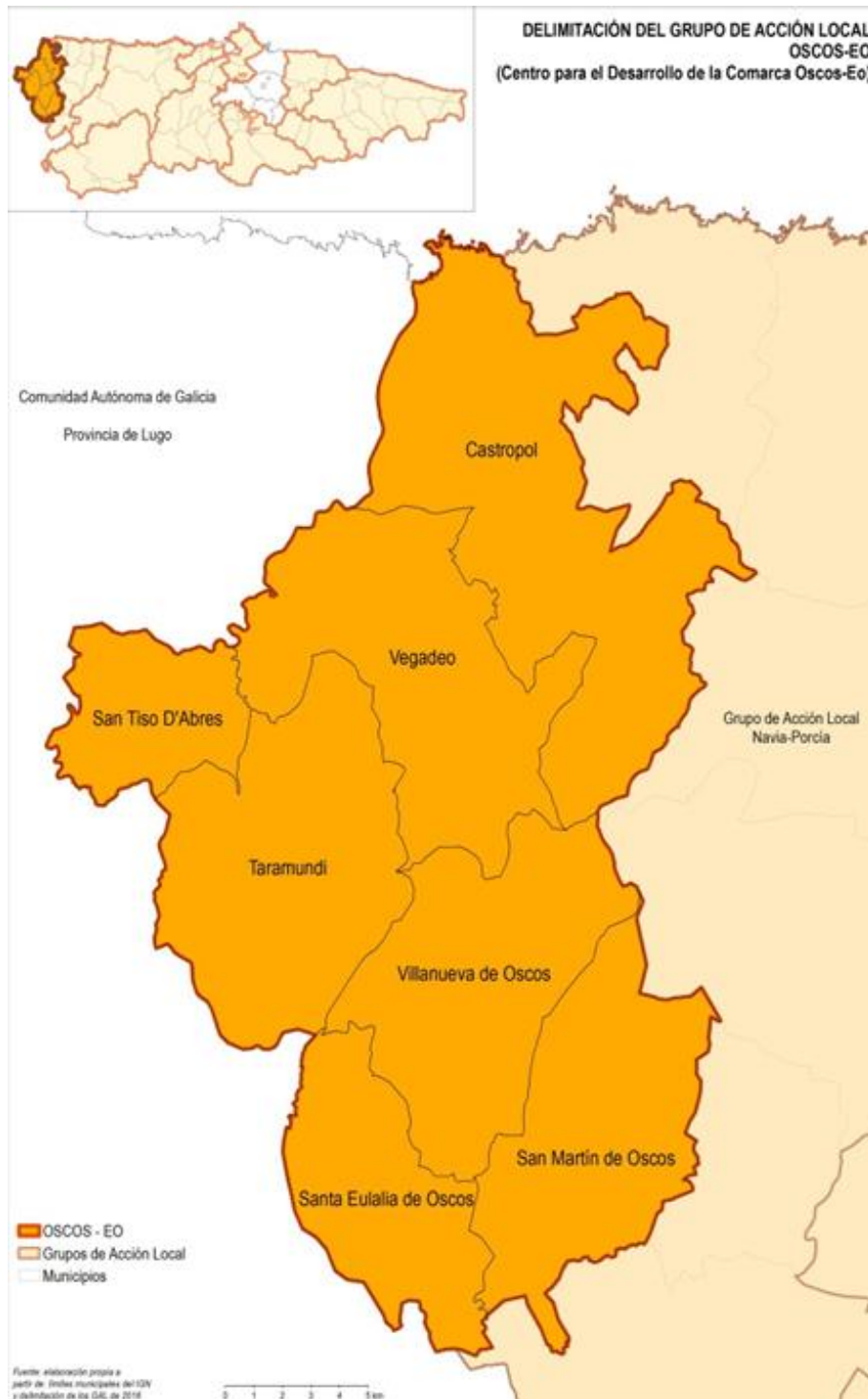


Ilustración 52. Delimitación del grupo de acción local Oscos-Eo. Fuente: CEDER

La superficie del término de Villanueva de Oscos tiene 73.12 km² y tiene una población de 275 habitantes en 2023. Observando el plano catastral del municipio, el aerogenerador estaría instalado en la Sierra de Pumarín, en la parcela 191, con el número de parcela catastral 33075A01900181, cercano a donde se ha aprobado la construcción del parque “Escorpio”. [17]



PARCELA CATASTRAL 33075A01900181
 3D

Croquis



Polígono 19 Parcela 181
MTE CORTIN Y LLEIRO. VILLANUEVA DE OSCOS (ASTURIAS)
1.081.178 m²

Más información de la parcela ▼

Fotografía fachada



FOTOGRAFÍA NO DISPONIBLE

INFORMACIÓN DE LOS INMUEBLES ⓘ

Ilustración 53. Plano e información catastral de la ubicación de la instalación del aerogenerador. Fuente. Catastro

1.3. Descripción de la obra

En esta parte del estudio de impacto ambiental se va a hacer un resumen de los puntos necesarios que se deberían de tratar a la hora de solicitar la aprobación, haciendo hincapié en las diferentes fases que involucran a la creación, desarrollo y cierre del parque eólico que se pretende construir. [51]

Fases de diseño y construcción

Se tiene que describir en su totalidad todos los elementos del parque, y las actividades, superficies de trabajo necesarias para la ejecución de la obra y las instalaciones temporales o permanentes necesarias para la construcción.

- **Aerogenerador:** eólico de color blanco de 106 metros de altura de buje y de una altura total de 170 metros. Longitud de pala de 56 metros y un diámetro del rotor de 114 metros, con una potencia nominal de 2,1 MW. El aerogenerador tiene un área de barrido de 10.207 m² y una densidad de potencia de 205,74 W/m².
- **Torre anemométrica:** estará situada a los pies del aerogenerador a unos 50 metros de la base del aerogenerador para medir la velocidad y la dirección del viento.
- **Caminos de acceso y viales internos de servicio:** se diferenciarán los caminos existentes en la sierra de Pumarín debido a las instalaciones anteriores de los creados para la nueva instalación del aerogenerador.
- **Conexión de red:** se elaborará un estudio de los elementos necesarios y las conexiones establecidas en la nueva instalación mediante la descripción de los tramos subterráneos y aéreos necesarios. Además, descripción de la subestación eléctrica, centro de control y seccionamiento y las interconexiones del parque.
- **Cartografía** de superficies afectadas por movimientos de tierras y ocupaciones.
- **Superficies e instalaciones auxiliares** para la construcción, incluidas las de estacionamiento, movimiento de maquinaria y almacenamiento de materiales.

Id	Nombre de tarea	Duración	Timeline						
			feb	mar	tri 2, 2025 abr	may	jun	tri 3, 2025 jul	
1	1. Planificación y permisos	10 sem.	Planificación y permisos						
2	1.1. Estudios de viabilidad	2 sem.	[Task bar]						
3	1.2. Diseño parque eólico	4 sem.	[Task bar]						
4	1.3. Obtención de permisos y licencias	4 sem.	[Task bar]						
5	2. Preparación del terreno	3 sem.	Preparación del terreno						
6	2.1. Construcción de caminos y acceso	2 sem.	[Task bar]						
7	Limpieza y nivelación del área	1 sem.	[Task bar]						
8	3. Cimentación y montaje del aerogenerador	5 sem.	Cimentación y montaje del aerogenerador						
9	3.1. Excavación y construcción de la base de hormigón	3 sem.	[Task bar]						
10	3.2. Montaje de la torre, góndola y palas	2 sem.	[Task bar]						
11	4. Instalación de infraestructuras eléctricas	6 sem.	Instalación de infraestructuras eléctricas						
12	4.1. Construcción de subestación eléctrica y líneas de transmisión	4 sem.	[Task bar]						
13	4.2. Conexión del aerogenerador a la red eléctrica	2 sem.	[Task bar]						
14	5. Pruebas y puesta en marcha	3 sem.	Pruebas y puesta en marcha						
15	5.1. Verificación de la operativa del aerogenerador	1 sem.	[Task bar]						
16	5.2. Pruebas de funcionamiento y ajustes	2 sem.	[Task bar]						

Fase de explotación/funcionamiento

Se espera un funcionamiento del aerogenerador cercano a las 2900h/anuales, con una producción cercana a los 5880 MWh/añual. El destinatario de la energía sería en su mayoría la comarca de Oscos-Eo, alrededor del 80% de su producción, debido a la firma del PPA entre los inversionistas y la comarca.

La disposición del aerogenerador estará condicionado por la rosa de frecuencias y velocidades que existe en la sierra de Pumarín. En la Ilustración 54 se puede observar la rosa de frecuencias y velocidades, de izquierda a derecha.[14]

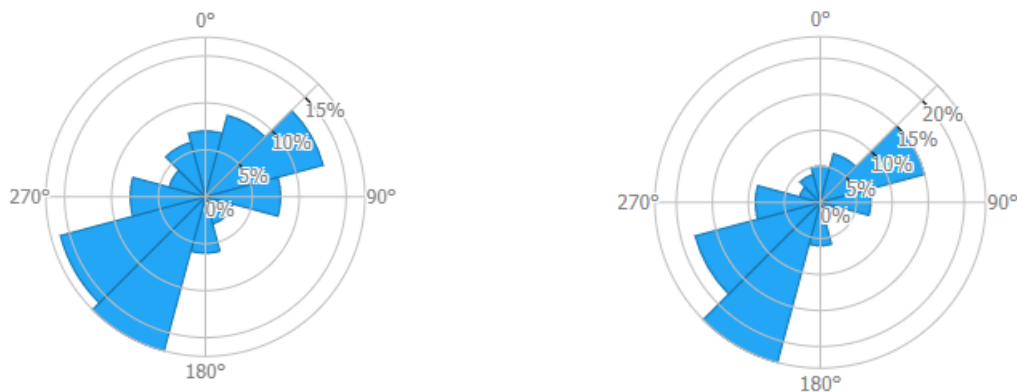


Ilustración 54. Rosa de frecuencias y velocidades de la sierra de Pumarín. Fuente: Global Wind Atlas

El funcionamiento del aerogenerador seleccionado respecto a la velocidad media del viento corresponde con la Ilustración 55 proporcionada por el proveedor Siemens Gamesa:

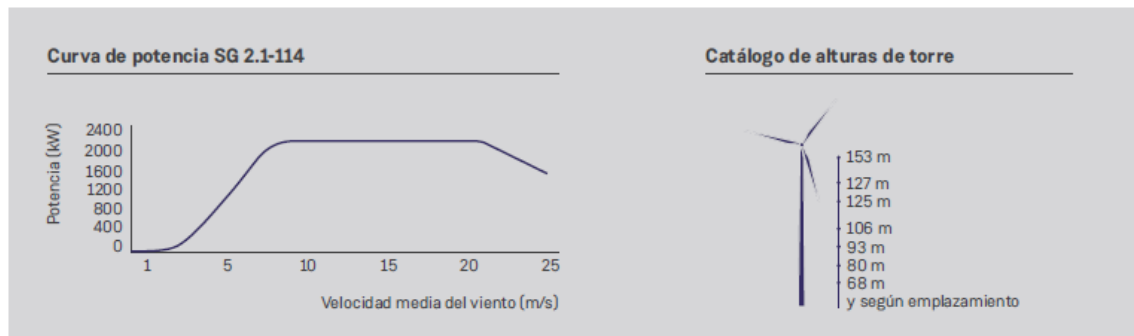


Ilustración 55. Curva de potencia y altura de torre del aerogenerador SG2.1-114. Fuente: Siemens Gamesa

Además, la producción del aerogenerador estará condicionada por la estación del año e incluso la hora del día. En la se observa la variación mensual y horaria de la velocidad media del lugar, 8,41m/s.

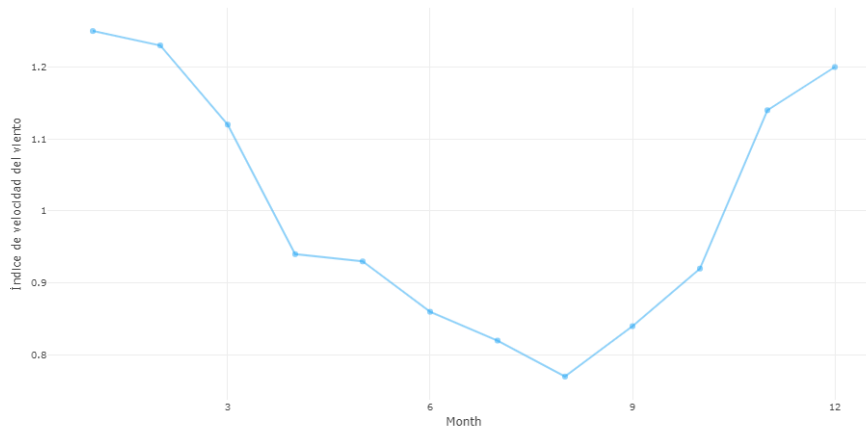


Ilustración 56. Variación mensual de la velocidad del viento en la sierra de Pumarín. Fuente: Global Wind Atlas

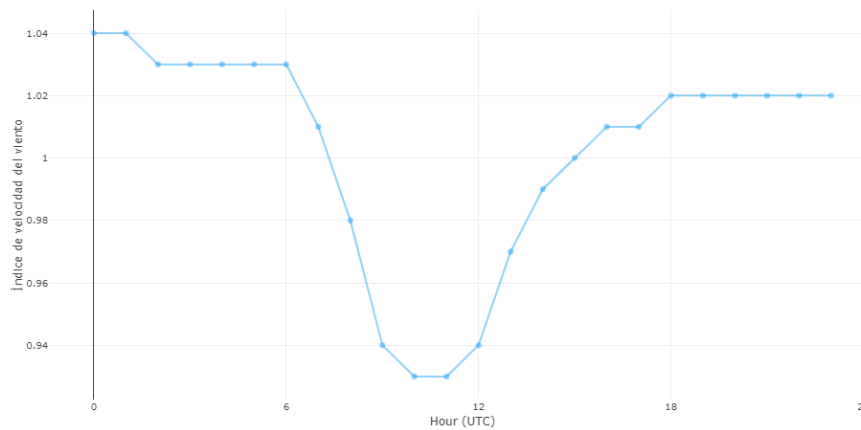


Ilustración 57. Variación horaria de la velocidad del viento en la sierra de Pumarín. Fuente: Global Wind Atlas

Fase de cese y desmantelamiento

El proyecto necesitará un plan de cierre del aerogenerador, donde se recalque la fecha del cese e inicio del desmantelamiento, haciendo hincapié en la duración del desmantelamiento aproximada, que será de 2 meses. [51]

Se especificará en detalle las operaciones de desmantelamiento, incluyendo las plataformas de montaje/desmontaje, torres anemométricas, transformadores, tendidos eléctricos, subestaciones, vías y edificaciones. Además, se tendrá que determinar la cartografía de superficies a ocupar (accesos, superficies de operación para el desmontaje, almacenes temporales de materiales, etc.).

Por otro lado, se establecerá el destino final de los material resultantes, diferenciando entre la reutilización, reciclaje, valorización o eliminación de los residuos procedentes del desmantelamiento del aerogenerador y sus instalaciones.

Por último, se establecerá los objetivos a lograr al finalizar la restauración en el ámbito de geomorfología, vegetación y paisaje.

2. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

Después de realizar el estudio de viabilidad económica de ambos proyectos, la instalación de un aerogenerador o el autoconsumo mediante aerogeneradores Vortex, se ha observado que el proyecto del aerogenerador Vortex es inviable a nivel económico para una familia de la comarca de Oscos-Eo. Sin embargo, la realización de la instalación del aerogenerador eólico en la sierra de Pumarín y la creación de un acuerdo PPA virtual entre el inversor y la comunidad de vecinos de las localidades colindantes puede llegar a ser un atractivo económico debido a la estabilidad de precios de compra-venta de energía.

Al beneficio económico se le suma la importancia de asegurar que la energía consumida por los habitantes de las localidades va a proceder de fuentes renovables, contribuyendo a alcanzar los objetivos planteados por España y la Unión Europea.

3. INVENTARIO AMBIENTAL

El comienzo de un estudio de impacto ambiental empieza determinando el inventario ambiental y su cartografía. Se llevará a cabo la previa recopilación de la información bibliográfica del proyecto, donde los trabajos de campo realizados deben estar descritos, indicando los medios utilizados para este y las condiciones del estudio (duración, metodología, etc).

En este estudio se hace un resumen de las características ambientales de la localización y contorno del proyecto.

3.1. Suelo

En el Oeste de la provincia de Asturias, el tipo de suelo prioritario es del tipo Cambisol. Este tipo de suelo se caracteriza por presentar una pedogénesis no muy avanzada, desarrollándose sobre alteraciones de materiales diversos provenientes de rocas. La aplicación de estos suelos está fuertemente arraigada a la agricultura y al pastoreo.

Este tipo de suelo es generalmente maduro y muestran tonalidades que van desde el pardo amarillento hasta el rojo intenso. No poseen horizontes diagnósticos distintivos y suelen encontrarse en paisajes jóvenes o en áreas de clima templado. Se distribuyen en una amplia gama de morfologías, desde terrenos planos hasta montañosos, y pueden encontrarse en diversas condiciones climáticas y de vegetación. [52]

En la Ilustración 58 se puede observar el mapa del noroeste de España, donde se ha marcado la localidad de Villanueva de Oscos sobre él. El color violeta de la imagen pertenece a suelos de tipo cambisol.



Ilustración 58. Tipo de suelo de la sierra de Pumarín. Fuente: ArcGIS

3.2. Aire

La calidad del aire es un factor crucial que influye significativamente en la salud humana, la biodiversidad y el bienestar general de los ecosistemas. En el contexto del estudio de impacto ambiental de la nueva construcción de un nuevo aerogenerador, comprender la calidad del aire en la zona en cuestión es fundamental para evaluar los posibles efectos adversos de las actividades humanas en el entorno.

Villanueva de Oscos es una población rural alejada de grandes ciudades y rodeada de vegetación. Esto se puede observar perfectamente en la Ilustración 59, que refleja la calidad del aire en la provincia de Asturias. En las ciudades principales, que son Gijón y Oviedo, hay una calidad de aire peor que en noroeste de la provincia. [53]



Ilustración 59. Calidad actual del aire en Villanueva de Oscos. Fuente: AccuWeather

En la población de Villanueva de Oscos, tienen unos índices de calidad de aire excelentes, como se observa en la Ilustración 60 que proporciona los valores de los indicadores más representativos de los contaminantes al comparar la calidad de aire y una explicación breve de cada uno de ellos. Para poder tener una comparativa, también se disponen de los resultados de Gijón.

<p>O₃</p> <p>Buena</p>	<p>El ozono a nivel del suelo puede agravar las enfermedades respiratorias existentes y también provocar irritación de garganta, dolores de cabeza y dolor de pecho.</p>	<p>22</p> <p>62 µg/m³</p>	<p>PM_{2.5}</p> <p>Mala</p>	<p>Las partículas finas son partículas contaminantes inhalables con un diámetro inferior a 2,5 micrómetros que pueden entrar en los pulmones y en el torrente sanguíneo y provocar graves problemas... más</p>	<p>58</p> <p>18 µg/m³</p>
<p>PM_{2.5}</p> <p>Excelente</p>	<p>Las partículas finas son partículas contaminantes inhalables con un diámetro inferior a 2,5 micrómetros que pueden entrar en los pulmones y en el torrente sanguíneo y provocar graves problemas... más</p>	<p>11</p> <p>3 µg/m³</p>	<p>NO₂</p> <p>Mala</p>	<p>La inhalación de altos niveles de dióxido de nitrógeno aumenta el riesgo de afecciones respiratorias. La tos y la dificultad para respirar son un síntoma habitual, pero hay asociados problemas... más</p>	<p>57</p> <p>50 µg/m³</p>
<p>PM₁₀</p> <p>Excelente</p>	<p>La materia particulada está formada por partículas contaminantes inhalables con un diámetro inferior a 10 micrómetros. Las partículas de más de 2,5 micrómetros pueden depositarse en las... más</p>	<p>6</p> <p>5 µg/m³</p>	<p>PM₁₀</p> <p>Buena</p>	<p>La materia particulada está formada por partículas contaminantes inhalables con un diámetro inferior a 10 micrómetros. Las partículas de más de 2,5 micrómetros pueden depositarse en las... más</p>	<p>47</p> <p>42 µg/m³</p>
<p>NO₂</p> <p>Excelente</p>	<p>La inhalación de altos niveles de dióxido de nitrógeno aumenta el riesgo de afecciones respiratorias. La tos y la dificultad para respirar son un síntoma habitual, pero hay asociados problemas... más</p>	<p>3</p> <p>1 µg/m³</p>	<p>O₃</p> <p>Excelente</p>	<p>El ozono a nivel del suelo puede agravar las enfermedades respiratorias existentes y también provocar irritación de garganta, dolores de cabeza y dolor de pecho.</p>	<p>4</p> <p>13 µg/m³</p>
<p>CO</p> <p>Excelente</p>	<p>El monóxido de carbono es un gas incoloro e inodoro y, cuando se inhala en altos niveles, puede causar dolor de cabeza, náuseas, mareos y vómitos. La exposición prolongada a largo plazo puede... más</p>	<p>1</p> <p>123 µg/m³</p>	<p>CO</p> <p>Excelente</p>	<p>El monóxido de carbono es un gas incoloro e inodoro y, cuando se inhala en altos niveles, puede causar dolor de cabeza, náuseas, mareos y vómitos. La exposición prolongada a largo plazo puede... más</p>	<p>1</p> <p>141 µg/m³</p>
<p>SO₂</p> <p>Excelente</p>	<p>La exposición al dióxido de azufre puede provocar irritación de garganta y ojos, y agravar el asma y la bronquitis crónica.</p>	<p>1</p> <p>1 µg/m³</p>	<p>SO₂</p> <p>Excelente</p>	<p>La exposición al dióxido de azufre puede provocar irritación de garganta y ojos, y agravar el asma y la bronquitis crónica.</p>	<p>1</p> <p>1 µg/m³</p>

Ilustración 60. Parámetros de la calidad de aire en Villanueva de Oscos y su comparativa con la ciudad de Gijón. Fuente: AccuWeather

3.3. Clima

El clima desempeña un papel fundamental en la configuración del entorno y en la vida de las comunidades rurales, especialmente en regiones como Asturias, donde las condiciones atmosféricas pueden ser diversas y cambiantes. El clima de la zona rural de Asturias tiene una especial relevancia en los procesos ambientales y en las actividades humanas. Asturias, ubicada en el norte de España y caracterizada por su relieve montañoso y su proximidad al océano Atlántico, experimenta una variedad de microclimas que van desde el clima atlántico costero hasta el clima de montaña. Estas condiciones climáticas variables tienen un impacto significativo en la agricultura, la ganadería, el turismo y otras actividades económicas locales.[54]

En la siguiente ilustración se observa las precipitaciones, temperaturas máximas y mínimas en cada mes del año en Villanueva de Oscos.

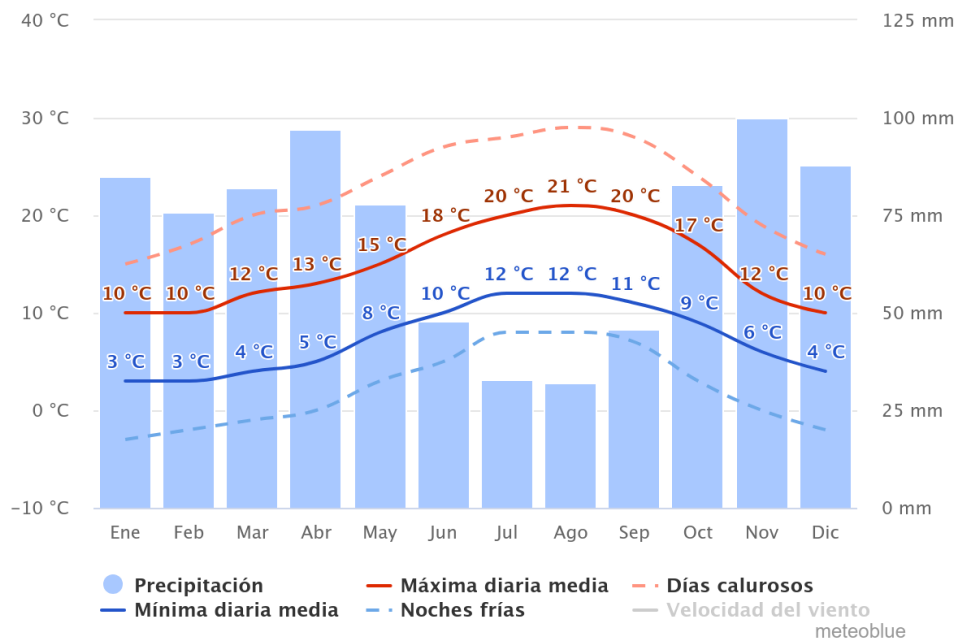


Ilustración 61. Temperaturas medias y precipitaciones en Villanueva de Oscos. Fuente: meteoblue

En relación viento, como se ha explicado antes, en la localidad de Villanueva ronda los 9 m/s a una altura de 100 metros sobre el terreno, altura a la que estará localizado el buje del aerogenerador.

3.4. Flora y Vegetación

La flora y la vegetación son componentes esenciales del ecosistema rural de Asturias. La superficie forestal de la comarca Oscos-Eo se caracteriza por un alto peso de las frondosas, un 53,5 %, seguido del matorral, un 24,3 % del total. Destacan las coníferas, que son el 18,3 %, una proporción que el triple de la media de Asturias (6,8 %). [55]

Más detalladamente se obtiene la siguiente lista con la vegetación predominante de la comarca asturiana:

- Matorral (Matorral)
- Bosques mixtos de frondosas en región biogeográfica atlántica (Bosque)
- Agrícola y prados artificiales (Agrícola y prados artificiales)
- Pinares de pino albar (Bosque Plantación)
- Abedulares (Bosque)
- Robledal de *Quercus robur* y *Quercus petrae* (Bosque Plantación)
- Castaños (Bosque)
- Mosaico arbolado sobre cultivo (Mosaico arbolado sobre cultivo)
- Prado con sebes (Prado con sebes)
- Pinares de pino radiata (Bosque Plantación)

3.5. Fauna

La fauna juega un papel vital en el ecosistema rural de Asturias, siendo un componente esencial de la biodiversidad y contribuyendo de manera significativa a la riqueza ecológica de la comarca.[55]

Más detalladamente se obtiene la siguiente lista con la fauna predominante de la comarca asturiana:

- Ardilla común (*Sciurus vulgaris*)
- Liebre ibérica (*Lepus granatensis*)
- Corzo (*Capreolus capreolus*)
- Desmán de los Pirineos (*Galemys pyrenaicus*)
- Zorro (*Vulpes vulpes*)
- Gato montés (*Felis silvestris*)
- Jabalí (*Sus scrofa*)
- Lobo (*Canis lupus*)
- Murciélago común (*Pipistrellus pipistrellus*), murciélago de Cabrera (*Pipistrellus pygmaeus*), murciélago grande de herradura (*Rhinolophus ferrumequinum*), murciélago orejudo dorado (*Plecotus auritus*) y el murciélago ribereño (*Myotis daubentonii*)
- Musaraña gris (*Crociodura russula*)
- Musgaño de Cabrera (*Neomys anomalus*)
- Turón (hurón) (*Mustela putorius*)
- Nutria europea (*Lutra lutra*)
- Rata comun (*Rattus norvegicus*) y ratón de campo (*Apodemus sylvaticus*)
- Topillo agreste (*Microtus agrestis*), topillo lusitano (*Microtus lusitanicus*)

3.6. Población y situación económica

La población total de la comarca de Oscos-Eo es de 9.322 habitantes en 2021. El grueso de la población se concentra en las dos localidades más grandes de la comarca, Vegadeo y Castropol. En el Ilustración 62 se muestra la distribución de la población por municipios:

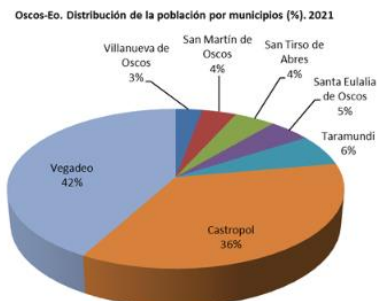


Ilustración 62. Distribución de la población por municipio en la comarca de Oscos-Eo en 2021. Fuente: CEDER

En cuanto a la evolución de la población, desde el 2001 a 2021, es decreciente en toda la comarca. En la Ilustración 63 se observa la disminución poblacional de la comarca:

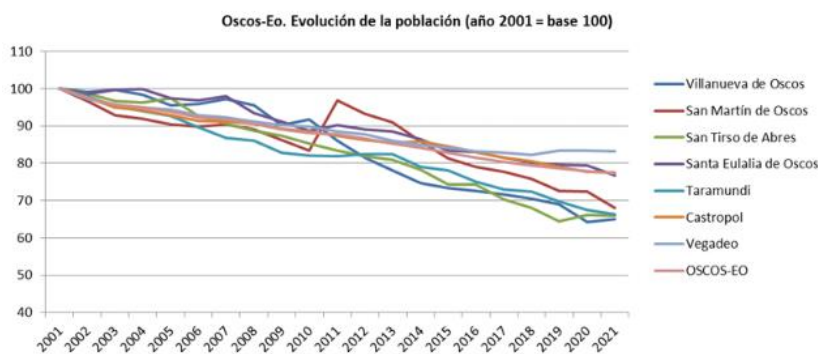


Ilustración 63. Evolución de la población del 2000-2021. Fuente: CEDER

Otro punto a tener en cuenta es el índice de envejecimiento, que se sitúa en 376, es decir, 376 personas mayores de 65 años por cada 100 menores de 15 años. Un índice bastante preocupante que se refleja en la campana demográfica que se muestra en la, donde se observa una mayor concentración de personas en edades superiores a los 40 años.

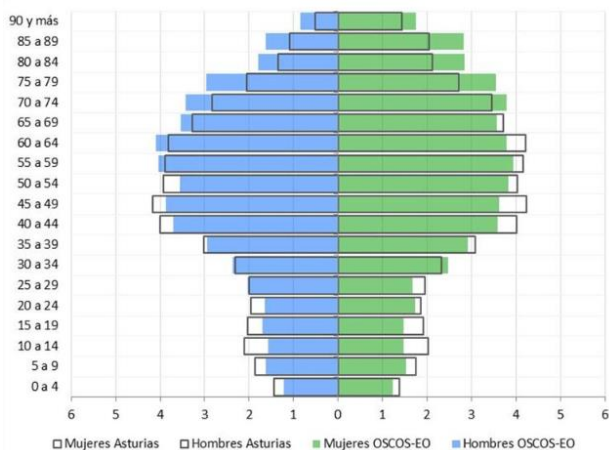


Ilustración 64. Campana demográfica de la comarca Oscos-Eo. Fuente: CEDER

La distribución sectorial del empleo en la comarca de Oscos-Eo se reparte según la Ilustración 65:

Oscos-Eo. Distribución del empleo por sectores (%). 2021

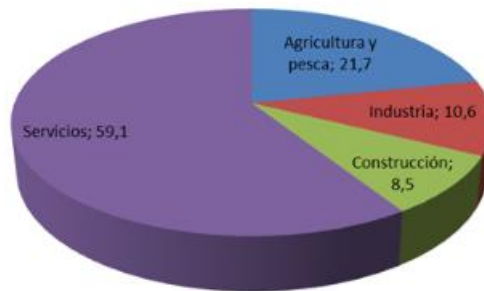


Ilustración 65. Distribución del empleo por sectores en la comarca Oscos-Eo. Fuente: CEDER

El sector que más empleo ocupa en la comarca después del sector servicio es la agricultura y la pesca. Sin embargo, la pesca no tiene un peso relevante en el empleo de la comarca. En la Ilustración 66, se muestra la relación entre agricultura y pesca.

Oscos-Eo. Distribución del empleo del sector primario por ramas (%). 2021

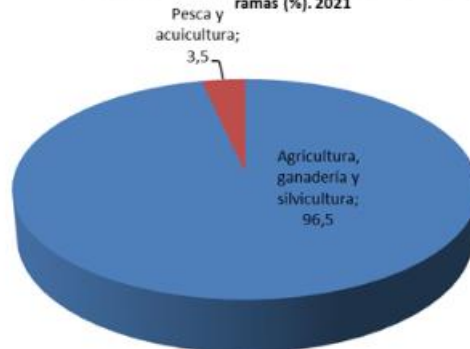


Ilustración 66. Distribución del empleo del sector primario por ramas en la comarca Oscos-Eo. Fuente: CEDER

4. IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES SIGNIFICATIVOS

Se trata de identificar, evaluar cualitativa y cuantitativamente los impactos ambientales provocados por la construcción, explotación y desmantelamiento del proyecto. En este estudio se van a identificar los diferentes impactos en la vida del proyecto y se van a realizar una matriz- causa efecto sobre la naturaleza del impacto, positivo o negativo.

No se va a realizar un estudio cuantitativo y cualitativo, está fuera del alcance del proyecto, debido a que se evita el empleo de matrices para la identificación y caracterización de los diferentes impactos con sistemas de valoración pseudocuantitativos apoyados por escalas y/o combinaciones de criterios subjetivos que concluyen con números adimensionales debido a la falta de objetividad.

4.1. Identificación de impactos

En este apartado se identifican los impactos esperados en cada fase del proyecto.

Fase de construcción

Las principales actividades durante la construcción e instalación del aerogenerador están relacionados con la preparación del suelo, instalación de la cimentación, montaje del aerogenerador e instalación del tendido eléctrico.

- Ruido
- Vibraciones
- Eliminación de vegetación
- Nivelación del suelo
- Vertidos
- Ocupación temporal de terrenos
- Movimiento de tierras
- Congestión y deterioro de carreteras locales
- Cambio en la dinámica social
- Movimiento de maquinaria pesada
- Emisiones de polvo y aerosoles

Fase de explotación

Las principales actividades durante la explotación del aerogenerador están vinculadas a la operación de las turbinas, reparaciones y mantenimiento de las instalaciones eléctricas y mecánicas.

- Presencia permanente de infraestructuras
- Ocupación permanente de suelo
- Ruidos
- Vibraciones
- Emisiones de polvo y aerosoles
- Interrupción de hábitats y rutas migratorias
- Riesgo de la erosión del suelo
- Alteración de patrones de luz natural debido a la instalación de alumbrado

Fase de desmantelamiento

Las principales actividades durante el desmantelamiento del aerogenerador se centran en la eliminación del aerogenerador y las infraestructuras creadas para el funcionamiento del aerogenerador y la restauración del paisaje.

- Ruidos
- Vibraciones
- Ocupación temporal de los terrenos
- Movimiento de tierras
- Gestión de los residuos
- Disturbios en el paisaje local y hábitats
- Contaminación del suelo
- Minimizar el impacto visual
- Emisiones de polvo y aerosoles
- Cambio en la dinámica social
- Movimiento de maquinaria pesada

4.2. Factores ambientales afectados

En este apartado se identifican los factores ambientales afectados. Se enumeran los distintos factores que podrían verse afectados por los impactos identificados en el apartado anterior.

En la siguiente tabla se identifican y diferencian los diferentes factores ambientales que pueden verse afectados dependiendo de si es medio físico o socioeconómico y si se trata de medio inerte, biótico o socioeconómico.

FACTORES AMBIENTALES AFECTADOS			
MEDIO FÍSICO	MEDIO INERTE	ATMÓSFERA	Calidad del aire
			Contaminación lumínica
		SUELO	Alteración estratigráfica
			Alteración geomorfológica
	MEDIO BIÓTICO	VEGETACIÓN	Deforestación
			Modificación del paisaje
		FAUNA	Eliminación de hábitats
			Alteración de rutas migratorias
Muerte de especies			
Alteración vida animal			
MEDIO SOCIOECONÓMICO Y CULTURAL	SOCIAL	Turismo	
		Impacto visual	
		Alteración sueño	
	ECONOMÍA	Empleo	
		Aumento actividad económica	

A continuación, se realiza la matriz causa-efecto del proyecto indicando la naturaleza del impacto (color rojo es un impacto negativo y el color verde un impacto positivo).

MATRIZ CAUSA-EFECTO DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DE LA INSTALACIÓN DE UN AEROGENERADOR EN LA SIERRA DE PUMARIN		FACTORES AMBIENTALES AFECTADOS													
		Medio Inerte				Medio Biótico					Medio Socioeconómico				
		Atmósfera		Suelo		Vegetación		Fauna			Social			Economía	
		Calidad de aire	Contaminación lumínica	Alteración estratigráfica	Alteración geomorfológica	Deforestación	Modificación del paisaje	Eliminación de hábitats	Alteración de rutas migratorias	Muerte de especies	Alteración vida animal	Turismo	Impacto visual	Alteración del sueño	Empleo
IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS	Fase de Construcción	Ruido													
		Vibraciones													
		Eliminación de vegetación													
		Nivelación del suelo													
		Vertidos													
		Ocupación temporal de terrenos													
		Movimiento de tierras													
		Congestión y deterioro de carreteras locales													
		Cambio en la dinámica social													
		Movimiento de maquinaria pesada													
	Emisiones de polvo y aerosoles														
	Fase de Explotación	Presencia permanente de infraestructuras													
		Ocupación permanente de suelo													
		Ruidos													
		Vibraciones													
		Emisiones de polvo y aerosoles													
		Interrupción de hábitats y rutas migratorias													
	Fase de Desmantelamiento	Riesgo de erosión del suelo													
		Alteración de patrones de luz natural debido a la instalación de alumbrado													
		Ruidos													
Vibraciones															
Ocupación temporal de terrenos															
Movimiento de tierras															
Gestión de residuos															
Disturbios en el paisaje local y hábitats															
Contaminación del suelo															
Minimizar el impacto visual															
Emisiones de polvo y aerosoles															
Cambio en la dinámica social															
Movimiento de maquinaria pesada															

5. MEDIDAS PREVENTIVAS, CORRECTORAS Y COMPENSATORIAS

En este apartado se identificarán las diferentes medidas preventivas, correctoras y/o compensatorias para cada uno de los impactos ambientales definidos. Con el objetivo de minimizar o eliminar gran parte de las alteraciones provocadas por cada fase de la instalación.

5.1. Medidas de aplicación durante la fase de construcción

		Medida Preventiva	Medida Correctora	Medida Compensatoria
Fase de Construcción	Ruido	Tecnología de reducción de ruido y atenuadores de ruido	Monitoreo del ruido y corrección de posibles problemas	Compensaciones económicas a los vecinos por excesos de ruidos en la construcción
	Vibraciones	Tecnología de reducción de vibraciones	Monitoreo de las vibraciones y corrección de posibles problemas	Compensaciones económicas a los vecinos por excesos de vibraciones en la construcción
	Eliminación de vegetación	Selección adecuada de la ubicación para reducir la eliminación de vegetación		Creación de áreas de compensación ecológica, donde se planten árboles y se restaure la vegetación
	Nivelación del suelo	Selección adecuada de la ubicación para minimizar el movimiento de tierras		Restaurar el nivel del suelo al realizar el desmantelamiento
	Vertidos	Implementar medidas de gestión de residuos para minimizar la posible generación de residuos	Monitoreo de los vertidos y corrección de posibles problemas	Limpieza y restauración en áreas afectadas por vertidos
	Ocupación temporal de terrenos	Planificación detallada y óptima de la construcción del aerogenerador y sus instalaciones	Devolver al estado original los terrenos ocupados para la construcción	
	Movimiento de tierras	Planificación detallada y óptima del movimiento de tierras para evitar la erosión del suelo y alteración del paisaje	Restaurar el paisaje y la vegetación mediante técnicas de reforestación después de realizar el movimiento de tierras	
	Congestión y deterioro de carreteras locales	Coordinación con las autoridades locales para minimizar la congestión en las carreteras locales		Realizar reparaciones y mejoras en la carretera debido al posible daño ocasionado por el paso de maquinaria pesada
	Movimiento de maquinaria pesada	Limitar y optimizar el movimiento de maquinaria pesada		Realizar reparaciones y mejoras en las instalaciones o áreas afectadas por el uso o paso de maquinaria pesada
	Emisiones de polvo y aerosoles	Tecnología de control de polvo, como cobertura de materiales o sistemas de supresión de polvo	Monitoreo de las emisiones de polvo y corrección de posibles problemas	

5.2. Medidas de aplicación durante la fase de explotación

		Medida Preventiva	Medida Correctora	Medida Compensatoria
Fase de Explotación	Presencia permanente de infraestructuras	Planificar detenidamente la ubicación para disminuir el impacto visual y ambiental	Implementar medidas de integración con el paisaje, como pintar las infraestructuras para mimeticen con el paisaje	
	Ocupación permanente de suelo	Optimizar el diseño de las instalaciones para disminuir la cantidad de espacio de suelo ocupado		
	Ruidos	Uso de tecnologías de reducción de ruido producidos por el giro de las aspas, como materiales absorbentes	Realizar monitoreo y ajustes continuos del funcionamiento del aerogenerador para disminución del ruido	
	Vibraciones	Implementar medidas de mitigación en estructuras cercanas al aerogenerador	Monitoreo de las vibraciones y corrección de posibles problemas	Compensaciones económicas a los vecinos por excesos de vibraciones en la explotación
	Emisiones de polvo y aerosoles	Tecnología de control de polvo, como cobertura de materiales o sistemas de supresión de polvo	Monitoreo de las emisiones de polvo y corrección de posibles problemas	
	Interrupción de hábitats y rutas migratorias	Realizar un estudio de las rutas de migración de las aves para establecer una ubicación que minimice la interacción con el aerogenerador		Crear zonas ecológicas para facilitar la migración de las aves afectadas
	Alteración de patrones de luz natural	Realizar un estudio lumínico para disminuir el impacto y planificar un horario de reducción de intensidad lumínica o apagón programados		

5.3. Medidas de aplicación durante la fase de desmantelamiento

		Medida Preventiva	Medida Correctora	Medida Compensatoria
Fase de Desmantelamiento	Ruidos	Tecnología de reducción de ruido y atenuadores de ruido	Monitoreo del ruido y corrección de posibles problemas	Compensaciones económicas a los vecinos por excesos de ruidos en la desmantelamiento
	Vibraciones	Tecnología de reducción de vibraciones	Monitoreo de las vibraciones y corrección de posibles problemas	Compensaciones económicas a los vecinos por excesos de vibraciones en la desmantelamiento
	Ocupación temporal de terrenos	Planificación detallada y óptima del desmantelamiento del aerogenerador y sus instalaciones	Devolver al estado original los terrenos ocupados para el desmantelamiento	
	Movimiento de tierras	Planificación detallada y óptima del movimiento de tierras para evitar la erosión del suelo y alteración del paisaje	Restaurar el paisaje y la vegetación mediante técnicas de reforestación después de realizar el movimiento de tierras	
	Gestión de residuos	Implementar y organizar un plan de gestión de residuos que incluya la clasificación y almacenamiento de los residuos	Monitorear y controlar la gestión de residuos	Rehabilitación de los suelos dañados y restauración del paisaje
	Disturbios en el paisaje local y hábitats	Realización de estudios para minimizar el impacto en las zonas identificadas como sensibles		Creación de programas de reforestación y/o restauración de las zonas afectadas
	Contaminación del suelo	Implementar y estandarizar el manejo de las sustancias y materiales en el desmantelamiento para minimizar el impacto	Realizar monitoreo continuo de los niveles de contaminación del suelo para identificar y corregir posibles problemas	Restaurar las áreas afectadas por la contaminación del suelo
	Minimizar el impacto visual	Planificar el desmantelamiento mediante técnicas y equipos que sean menos intrusivas		Creación de zonas verdes o instalación de elementos decorativos que disminuyan el impacto visual residual
	Emisiones de polvo y aerosoles	Tecnología de control de polvo, como cobertura de materiales o sistemas de supresión de polvo	Monitoreo de las emisiones de polvo y corrección de posibles problemas	
	Movimiento de maquinaria pesada	Limitar y optimizar el movimiento de maquinaria pesada		Realizar reparaciones y mejoras en las instalaciones o áreas afectadas por el uso o paso de maquinaria pesada

6. PROGRAMA DE VIGILANCIA Y SEGUIMIENTO AMBIENTAL

El programa de vigilancia y seguimiento ambiental tiene por objetivo garantizar que se implementan adecuadamente las medidas preventivas y correctoras previstas, así como prevenir y corregir los posibles desajustes relacionados con las medidas propuestas y/o la aparición de efectos ambientales no previstos. Este seguimiento y control abarcará todas las áreas afectadas por la construcción del aerogenerador eólico en la sierra de Pumarín.[56]

6.1. Objetivos

Los objetivos del Programa de Vigilancia y Seguimiento Ambiental son los siguientes:

- Controlar y verificar que las medidas indicadas en el EIA se ejecutan e implementan correctamente.
- Evaluar la eficiencia de las medidas preventivas y correctoras establecidas y aplicadas durante el proyecto. Cuando no se lleven a los objetivos establecidos, determinar e identificar las causas y establecer las soluciones adecuadas.
- Identificar los impactos no establecidos en el EIA y proponer medidas adecuadas para reducirlos, eliminarlos o compensarlos.
- Detallar el tipo de informes que se redactarán sobre el seguimiento ambiental, así como el periodo de emisión establecida y la frecuencia.

6.2. Responsabilidad del seguimiento

El seguimiento y control ambiental del proyecto compete tanto a la empresa ejecutora de los trabajos como a la dirección de obra.

El contratista debe cumplir con todas las especificaciones del Programa de Vigilancia y Seguimiento Ambiental, cuyas principales responsabilidades se pueden concentrar en:

- Designar un responsable técnico como interlocutor con la propia dirección de obra en cuestiones medioambientales y de restauración del entrono afectado por la ejecución de la obra.
- Redactar los estudios ambientales establecidos y definir los proyectos de medidas correctoras y/o compensatorias como consecuencia de variaciones de obra respecto a lo previsto.
- Informar y comunicar a la dirección de obra las incidencias que se van produciendo

7. BIBLIOGRAFÍA ANEXO I

- [49] «Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030», Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/pniec.html>
- [50] «Evolución mensual del precio de la luz», www.ocu.org. Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ocu.org/vivienda-y-energia/gas-luz/informe/precio-luz>
- [51] S. Pérez Figueroa, «Estudio de impacto ambiental del proyecto de obra de un parque eólico marino entre el límite de Valencia y Castellón.», Universitat Politècnica de València, Valencia, 2015. [En línea]. Disponible en: https://riUNET.upv.es/bitstream/handle/10251/55387/01_Memoria.pdf
- [52] «ArcGIS - Tipos de suelos de España». Accedido: 1 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=c7923f4d113d4750b3615f76c614db19>
- [53] «Índice de calidad del aire de Villanueva de Oscos, Principado de Asturias, España | AccuWeather». Accedido: 1 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.accuweather.com/es/es/villanueva-de-oscas/306803/air-quality-index/306803>
- [54] «Datos climáticos y meteorológicos históricos simulados para Villanueva de Oscos», meteoblue. Accedido: 1 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/villanueva-de-oscas_espa%c3%b1a_3105205
- [55] Naturaspain, «que ver en Villanueva de Oscos, naturaleza de Villanueva de Oscos, Asturias, flora y fauna en Villanueva de Oscos, espacios protegidos», Naturaspain. Accedido: 1 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.naturaspain.com/naturaleza-flora-y-fauna-en-.html>
- [56] Forestalia Renovables, «Estudio de Impacto Ambiental proyecto parque Sierra de Luna T.M. de Herrera de los Navarros (Zaragoza)». septiembre de 201d. C. [En línea]. Disponible en: <https://1library.co/document/y96vmmml-estudio-impacto-ambiental-proyecto-ca%C3%B1acoloma-aguil%C3%B3n-navarros-zaragoza.html>