



Biosfera
CONSULTORIA MEDIOAMBIENTAL

PARQUE EÓLICO ASTILLERO 1, T.T.M.M. DE PENAGOS, SANTA MARÍA DE CAYÓN, LIÉRGANES, VILLAESCUSA Y EL ASTILLERO (PROVINCIA DE CANTABRIA)

Anexo VII. Huella de carbono



saetayield

PARQUE EÓLICO ASTILLERO 1, T.T.M.M. PENAGOS, SANTA MARÍA
DE CAYÓN, LIÉRGANES, VILLAESCUSA Y EL ASTILLERO
(PROVINCIA DE CANTABRIA)

Anexo VII. Huella de carbono



RESPONSABLE

Jorge Martín

Development Manager



DIRECCIÓN

Fernández González, Ángel

COORDINACIÓN

Calzón Sales, Borja

ELABORACIÓN DE INFORME

Calzón Sales, Borja

Crespo León, Silvia

Campillo Gancedo, Hugo

Garrido López, Daniel

JULIO 2025

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETO	4
2 ANÁLISIS DE LA HUELLA DE CARBONO	4
2.1 CÁLCULO DE LA EMISIÓN DE CO ₂ EN EL CICLO DE VIDA DEL PROYECTO.....	4
2.1.1 <i>Fabricación</i>	4
2.1.2 <i>Instalación del parque eólico</i>	4
2.1.3 <i>Operación y mantenimiento</i>	5
2.1.4 <i>Fin de la vida útil</i>	5
2.2 CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE SUMIDEROS DE CO ₂ DERIVADA DE LA ELIMINACIÓN DE CUBIERTA VEGETAL	7
2.3 RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO	11
3 EMISIONES EVITADAS RESPECTO A OTRAS FUENTES DE ENERGÍA	12
4 CONCLUSIONES	14

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETO

La Huella de Carbono de la generación de electricidad en los parques eólicos se estudia bajo el enfoque de Huella de Carbono de Producto, lo que requiere considerar su ciclo de vida completo.

En el presente documento se analiza y compara la Huella de Carbono de cada una de las alternativas de proyecto planteadas durante el ciclo de vida de la instalación, incluyendo las etapas de fabricación, transporte, operación, mantenimiento y fin de vida de los equipos principales que las componen.

2 ANÁLISIS DE LA HUELLA DE CARBONO

2.1 CÁLCULO DE LA EMISIÓN DE CO₂ EN EL CICLO DE VIDA DEL PROYECTO

Las Evaluaciones del Ciclo de Vida (en adelante LCA) realizadas por el fabricante del modelo de aerogenerador proyectado (Vestas V163-4.5) diferencian varias etapas que incluyen tanto la fabricación de los aerogeneradores, la instalación del parque eólico, el transporte de componentes, las operaciones de mantenimiento durante el periodo de vida útil y el desmantelamiento de la instalación.

2.1.1 Fabricación

Esta fase incluye la producción de materias primas y la fabricación de componentes de parques eólicos como los cimientos, torres, góndolas, palas, cables y estación transformadora.

El transporte de materias primas (acero, cobre, epoxi, etc.) a los sitios de producción específicos se incluye dentro del alcance de las LCA.

2.1.2 Instalación del parque eólico

Esta fase incluye el transporte de los componentes del parque eólico al lugar de implantación y la instalación y montaje de elementos.

Los trabajos de construcción *in situ*, como la provisión de carreteras, áreas de trabajo y áreas de giro, también se incluyen en esta fase. Se incluyen asimismo los procesos asociados con la colocación de los cimientos, el montaje de los aerogeneradores, el tendido de cables internos, la instalación/montaje de la estación transformadora y la conexión a la red existente.

El transporte al lugar de implantación del parque eólico incluye el transporte en camión y por barco marítimo, donde se han utilizado datos específicos sobre el consumo de combustible. Vestas ha establecido instalaciones de producción globales que operan dentro de su región global, reflejando una descripción razonable de la cadena de suministro actual.

2.1.3 Operación y mantenimiento

La fase de operación se ocupa del funcionamiento general del parque eólico a medida que genera electricidad. Las actividades aquí incluyen el cambio de aceite y filtros, y la renovación/sustitución de piezas desgastadas durante la vida útil del parque eólico. El transporte asociado con la operación y el mantenimiento, hacia y desde los aerogeneradores, se incluye en esta fase y refleja los vehículos y el servicio estimados.

2.1.4 Fin de la vida útil

Al final de su vida útil, los componentes del parque eólico se desmantelan y la zona es restaurada. En este caso, se ha asumido que cualquier cambio en el uso del suelo (por ejemplo, que resulte en la eliminación de vegetación para la instalación del parque) se restaura a las condiciones originales del lugar.

En esta fase también se tiene en cuenta el tratamiento al final de la vida útil de los materiales. Las opciones de gestión de residuos incluyen el reciclaje; incineración con recuperación de energía; reutilización de componentes; y deposición en vertedero.

La LCA no tiene en cuenta los posibles impactos del cambio de uso del suelo, por ejemplo, de la tala de vegetación al erigir los aerogeneradores o tender cables para conectar el parque eólico a la red eléctrica, que son analizados en el apartado 2.2.

Basándonos en la Evaluación del Ciclo de Vida realizada por el fabricante del modelo de aerogenerador proyectado (Vestas V163-4.5), el impacto ambiental potencial total del

parque eólico, por kWh de electricidad entregada a la red, es del orden de 6,2 gCO₂eq/kWh, asumiendo una vida útil de 20 años, que coincide con la vida útil de diseño estándar.

La siguiente gráfica representa la contribución de cada una de las fases de un proyecto eólico a la huella de carbono por kWh de electricidad producida:

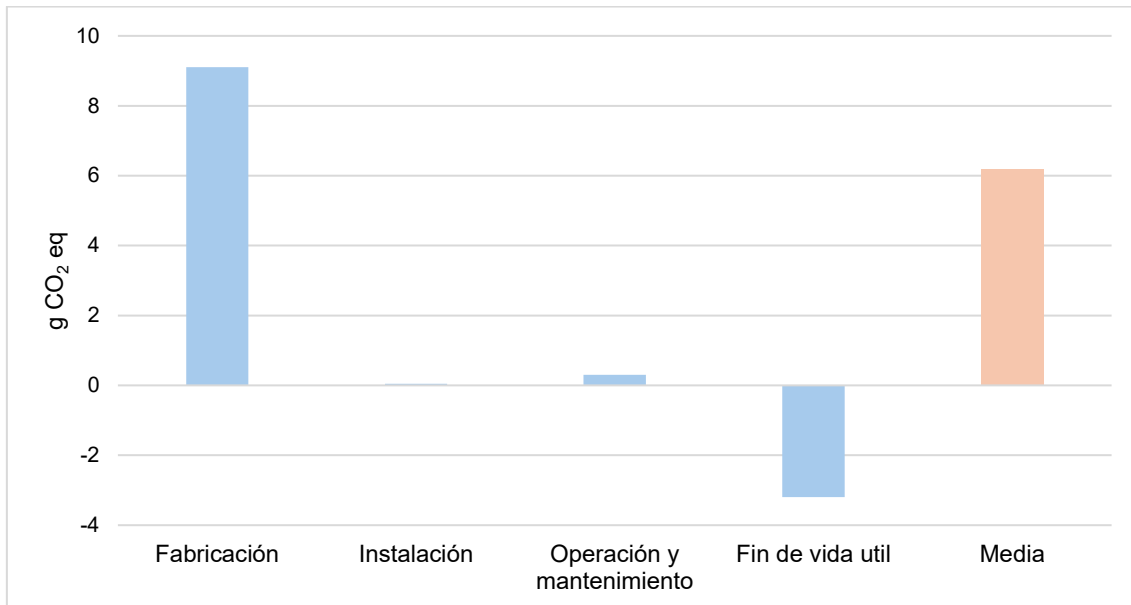


Figura 1. Contribución por etapa del ciclo de vida al potencial de calentamiento global por kWh de electricidad producida. Fuente: Vestas (2022).

Como podemos observar, la etapa de fabricación es la que contribuye en mayor medida a la huella de carbono, distribuyéndose entre los principales componentes del aerogenerador de la siguiente manera: producción de la torre (34%), cimentaciones (16%), palas (13%), engranaje y eje principal (11%), góndola (9%) y cables (2%).

Los valores negativos que se obtienen en la huella de carbono en la fase de fin de vida útil son debidos al desmantelamiento y tratamiento de los materiales de acuerdo con los diferentes sistemas de gestión de residuos.

En base a los datos de rendimiento y emplazamiento averiguados para los aerogeneradores, con un examen de la configuración de parque, teniendo en cuenta la pérdida de la red (4%), disponibilidad técnica (98%) y pérdida por desconexión, da por

resultado un rendimiento de energía por aerogenerador de 11,80 GWh/año, estimándose el rendimiento total del parque en las alternativas 1 y 2 (20 aerogeneradores) en 236,00 GWh/año, mientras que en la alternativa 3 (22 aerogeneradores) se estima en 259,60 GWh/año.

Teniendo en cuenta la contribución de cada una de las fases del proyecto eólico a la huella de carbono, obtenemos los siguientes datos de emisión:

Tabla 1. Contribución de cada una de las fases del proyecto del parque eólico a la huella de carbono para diferentes periodos temporales de las alternativas 1 y 2.

FASE DEL PROYECTO	CONTRIBUCIÓN DE CALENTAMIENTO GLOBAL		
	gCO ₂ eq/kWh	t CO ₂ eq anuales	t CO ₂ eq ciclo de vida (20 años)
Fabricación	9,10	2.147,60	42.952,00
Instalación	0,04	10,15	202,96
Operación y mantenimiento	0,30	70,80	1.416,00
Fin de vida útil	-3,20	-755,20	-15.104,00
Total	6,20	1.463,20	29.264,00

Tabla 2. Contribución de cada una de las fases del proyecto del parque eólico a la huella de carbono para diferentes periodos temporales de la alternativa 3.

FASE DEL PROYECTO	CONTRIBUCIÓN DE CALENTAMIENTO GLOBAL		
	gCO ₂ eq/kWh	t CO ₂ eq anuales	t CO ₂ eq ciclo de vida (20 años)
Fabricación	9,10	2.362,36	47.247,20
Instalación	0,04	11,16	223,26
Operación y mantenimiento	0,30	77,88	1.557,60
Fin de vida útil	-3,20	-830,72	-16.614,40
Total	6,20	1.609,52	32.190,40

2.2 CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE SUMIDEROS DE CO₂ DERIVADA DE LA ELIMINACIÓN DE CUBIERTA VEGETAL

Para conocer la huella ecológica del proyecto, debe tenerse en cuenta no solo la huella de carbono como consecuencia del ciclo de vida de los elementos que lo componen, sino la

pérdida de sumideros de CO₂ derivada de la superficie vegetal que se elimina durante la construcción y la vida útil del parque.

El concepto de sumidero, en relación con el cambio climático, fue adoptado en la Convención Marco de Cambio Climático de 1992. Un sumidero de gases de efecto invernadero, según la Convención, es cualquier proceso, actividad o mecanismo que absorbe o elimina de la atmósfera uno de estos gases o uno de sus precursores, o bien un aerosol y que lo almacena. En el ámbito del Protocolo de Kioto, la definición se limita a determinadas actividades de uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura (creación de nuevos bosques, gestión forestal y gestión de tierras agrícolas, entre otras) que se traducen en una captura del CO₂ presente en la atmósfera y su almacenamiento posterior en forma de materia vegetal. Esta captura de CO₂ contribuye a reducir la concentración de los Gases de Efecto Invernadero de la atmósfera y, por lo tanto, a mitigar el cambio climático.

El proceso, en el caso de los ecosistemas vegetales, es el siguiente:

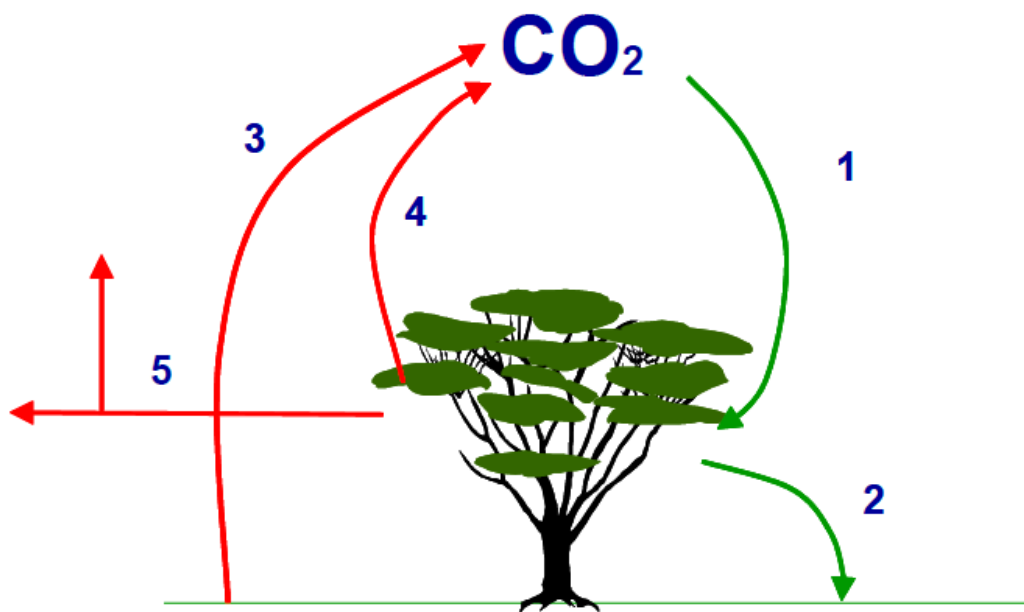


Figura 2. Imagen de funcionamiento de reservorio de carbono. Fuente: Guía para la Estimación de Absorciones de Dióxido de Carbono.

Donde:

1. Absorción por fotosíntesis.
2. Carbono incorporado al suelo desde la vegetación, COS.
3. Pérdida de carbono del suelo (mineralización, respiración heterotrófica, etc.).
4. Emisiones por respiración autotrófica y emisiones de Compuestos orgánicos volátiles (COVs).
5. Retirada de carbono por eliminación de la vegetación (cosecha, explotación forestal, incendio, etc.).

Si los procesos 1 y 2 producen más absorciones que emisiones se derivan de los procesos 3, 4 y 5, el reservorio será considerado sumidero de carbono, mientras que, si es al revés, si hay más emisiones que absorciones, el reservorio se considerará una fuente.

Las cantidades de CO₂ absorbidas por un sumidero pueden volver a la atmósfera si esa formación vegetal desaparece por cualquier circunstancia, como por ejemplo por el desbroce para la construcción de pistas o la implantación de infraestructuras del parque eólico sobre la vegetación, por lo que, conociendo las superficies de ocupación del proyecto, es posible estimar las emisiones de CO₂ procedente del desbroce y la tala de esta.

En la siguiente tabla se indican las superficies de vegetación afectadas por cada una de las alternativas analizadas, tanto por estructuras permanentes como temporales:

Tabla 3. Estimación de superficies de afección de las diferentes unidades de vegetación.

Tipo de vegetación	Superficie de afección (ha)		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
<i>Eucalyptus globulus</i>	21,74	23,99	23,87
<i>Pinus radiata</i>	2,39	1,95	2,39
<i>Quercus robur</i>	1,45	1,45	1,45
<i>Alnus glutinosa</i>	0,85	0,85	0,85
<i>Robinia pseudoacacia</i>	0,11	0	0
<i>Salix alba</i>	0,09	0	0
Brezales	0,24	0,31	0,27

Tipo de vegetación	Superficie de afección (ha)		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Tojares mixtos	10,54	9,63	10,47
Zonas agrícolas	39,29	40,05	40,79

Para tener una estimación de la pérdida de sumidero de cada una de las alternativas, considerando la publicación “*Guía para la estimación de absorciones de dióxido de carbono*”, elaborada por la Oficina Española de Cambio Climático (OECC), se ha realizado un cálculo *ex ante*, en base a estimaciones del crecimiento de las especies afectadas para el periodo de permanencia del proyecto.

Para las especies eliminadas, se ha adoptado el dato de fijación promedio de 30 años (el indicado por el MITERD para el cálculo estándar de absorciones) para obtener el dato de pérdida de sumidero de CO₂ derivada de la eliminación de la cubierta vegetal. Para el cálculo de la cantidad de CO₂ no absorbido debido a la permanencia de las infraestructuras sobre el terreno, se ha adoptado el dato de fijación de 20 años, coincidente con la vida útil de diseño estándar de un proyecto eólico.

La superficie arbolada cuya eliminación será necesaria en todas las alternativas para la construcción del parque eólico está compuesta principalmente por zonas agrícolas, plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus globulus*), tojales mixtos, así como, en menor medida, pino insignne (*Pinus radiata*), roble (*Quercus robur*) y aliso (*Alnus glutinosa*). En el caso de la alternativa 1, también hay superficies ocupadas por la falsa acacia (*Robinia pseudoacacia*) y el sauce blanco (*Salix alba*).

Teniendo en consideración el marco de plantación aconsejado para estas especies, se han estimado las pérdidas de sumideros de CO₂ considerando la existencia de 1.100 pies/ha para el eucalipto, 1.333 pies/ha para los pinos, 200 pies/ha para el roble, 800 pies/ha para el aliso, 1450 pies/ha para la falsa acacia y 650 pies/ha para el sauce. Se ha considerado además una absorción estimada de CO₂ por parte de los terrenos de cultivo de 0,99 t/ha por año, y de 0,25 t/ha por año en el caso de los brezales y los tojares mixtos.

En la siguiente tabla se indica la pérdida de sumidero de CO₂ derivada de la eliminación de la cubierta vegetal como consecuencia de la ejecución del proyecto, así como la cantidad

de CO₂ no absorbido durante el periodo de vida útil de diseño estándar del proyecto, para cada una de las alternativas analizadas:

Tabla 4. Pérdida de sumidero de CO₂.

	PÉRDIDA DE SUMIDERO (t CO ₂)		
	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
Eliminación de cubierta vegetal	44.983,74	58.792,13	59.234,61
Permanencia del proyecto	13.232,26	17.271,16	17.483,69
Total	58.216,00	76.063,29	76.718,30

En el presente apartado no se ha tenido en consideración la compensación de la huella de carbono como consecuencia de las labores de restauración vegetal de las superficies afectadas de manera temporal en fase de construcción.

2.3 RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO

La Huella de Carbono de cada una de las alternativas de proyecto sería el resultado de la suma de las emisiones de CO₂ en del ciclo de vida del proyecto (fabricación, instalación, mantenimiento y fin de vida útil del proyecto), y de la pérdida de sumideros de CO₂ derivada de la eliminación de cubierta vegetal en el proceso de construcción, y de la ocupación durante la vida útil del proyecto, obteniendo los siguientes resultados para cada una de las alternativas analizadas.

Tabla 5. Huella de carbono.

	PÉRDIDA DE SUMIDERO (t CO ₂)		
	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
Emisiones ciclo de vida (LCA)	29.264,00	29.264,00	32.190,40
Pérdida de sumidero de CO ₂	58.216,00	76.063,29	76.718,30
Huella de carbono	87.480,00	105.327,29	108.908,70

3 EMISIONES EVITADAS RESPECTO A OTRAS FUENTES DE ENERGÍA

De acuerdo con la información disponible en el informe Emisiones de CO₂ asociadas a la generación de electricidad en España, elaborado por Red Eléctrica Española en marzo de 2011, los factores de emisión de CO₂ asociados a la generación de electricidad para las diferentes tecnologías de generación en el sistema eléctrico peninsular se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 6. Factores de emisión utilizados para los TNP, recogidos en la Resolución de la DGPEM de 10 de julio de 2017.

TECNOLOGÍA	EMISIONES CO ₂ (tCO ₂ /MWh)
Central Térmica Ciclo Combinado (Gasóleo)	0,60
Central Térmica Ciclo Combinado (Gas Natural)	0,41
Central Térmica de Carbón	1,05
Motores Diesel (gasoil, fuel, gas natural)	0,65
Central Térmica Vapor	0,90
Turbina de Gas (Gasóleo)	1,12
Turbina de Gas (Gas Natural)	0,84

Considerando los datos proporcionados por REE, la operación del proyecto supone evitar anualmente la emisión de las siguientes cantidades de tCO₂eq en comparación con otras tecnologías:

Tabla 7. Emisiones evitadas respecto asociados a las diferentes tecnologías de generación en el sistema eléctrico peninsular.

TECNOLOGÍA	EMISIONES EVITADAS (tCO ₂ eq/año) (Alt. 1 y 2)	EMISIONES EVITADAS (tCO ₂ eq/año) (Alt. 3)
Central Térmica Ciclo Combinado (Gasóleo)	140.136,80	154.150,48
Central Térmica Ciclo Combinado (Gas Natural)	95.296,80	104.826,48
Central Térmica de Carbón	246.336,80	270.970,48
Motores Diesel (gasoil, fuel, gas natural)	151.936,80	167.130,48
Central Térmica Vapor	210.936,80	232.030,48
Turbina de Gas (Gasóleo)	262.856,80	289.142,48
Turbina de Gas (Gas Natural)	196.776,80	216.454,48

Si lo relacionamos con el factor de emisión del sistema eléctrico español, las emisiones de gases de efecto invernadero evitadas por año de funcionamiento, según el mix actual energético es de 26.856,80 tCO₂ eq/año en el caso de las alternativas 1 y 2, y de 29.542,48 tCO₂ eq/año en el caso de la alternativa 3 (para un factor de emisión del sistema eléctrico español de 0,12 tCO₂eq/MWh según el informe de Emisiones de CO₂ asociadas a la generación de electricidad en España, año 2023).

4 CONCLUSIONES

A partir de los resultados de este cálculo podemos concluir que la huella de carbono asociada al ciclo de vida del proyecto es menor en el caso de la alternativa 1, estimándose su valor en 87.480,00 tCO₂, frente a las 105.327,29 y 108.908,70 tCO₂ producidas en el caso de las alternativas 2 y 3, respectivamente.

De este balance global, las operaciones de eliminación de la cubierta vegetal concentran la mayor contribución a la huella de carbono, representando en torno al 51% de las emisiones para la alternativa 1 y en torno al 56% y 54% para las alternativas 2 y 3 respectivamente, mientras que los procesos de fabricación, instalación, operación y mantenimiento y el fin de la vida útil del parque suponen en torno al 28-33% de las mismas en el caso de las tres alternativas. La pérdida de sumidero de CO₂ derivada de la ocupación durante la vida útil del proyecto supone el 15% para la alternativa 1 y el 16% para las alternativas 2 y 3.

Si bien la construcción y funcionamiento de cualquier instalación o infraestructura conlleva la emisión de un determinado volumen de gases de efecto invernadero, lo que realmente tiene interés en la valoración del proyecto es el balance global de emisiones en un contexto de funcionamiento más amplio, el del sistema eléctrico del que formará parte.

En este contexto, la puesta en funcionamiento del proyecto supondrá un efecto positivo sobre el cambio climático evitando, de acuerdo con las estimaciones realizadas, la emisión de 537.136,00 tCO₂ equivalentes (alternativas 1 y 2) y 590.849,60 tCO₂ equivalentes (alternativa 3) a lo largo del periodo de 20 años de vida útil respecto al mix actual energético (2023).