

Anexo V: Estudio de emisiones GEI del proyecto PLEMCAT

Promotor: IREC

Febrero 2024



TECNOAMBIENTE

A TRADEBE COMPANY

Índice

1	Antecedentes	3
2	Introducción a la huella de carbono	4
3	Metodología utilizada	5
4	Definición del alcance de la huella de carbono	5
4.1	Análisis de materialidad	5
4.2	Límite operacional.....	6
4.3	Tipos de gases incluidos en el estudio	8
4.4	Factores de emisión.....	9
5	Recopilación de datos y cálculo.....	9
5.1	Materias primas	10
5.2	Ejecución de la obra	11
5.3	Transporte de los prototipos al punto de anclaje.....	12
5.4	Operación y mantenimiento	13
5.5	Desmantelamiento	13
6	Resultados del estudio.....	14
6.1	Huella de carbono.....	14
6.2	Emisiones evitadas	17
7	Autores del estudio	19
8	Anexos	20

1 Antecedentes

El presente informe se elabora en el marco de la evaluación ambiental del desarrollo del Proyecto Plataforma de I+D+i en Energías Marinas de Catalunya (PLEMCAT), promovido por el Institut de Recerca en Energia de Catalunya (IREC).

La solución propuesta está formada por una boya o hub de interconexión de dispositivos de ensayo y demostración, una línea submarina de 66 kV para la exportación a costa de la energía generada por los mismos, un sistema de transición marítimo terrestre, una línea de 66 kV de evacuación de la energía a la red soterrada de 16,29 km de longitud, y una subestación eléctrica elevadora de 66 kV/132 kV que adapta la tensión de exportación a la tensión de red, la cual será adyacente a una subestación de seccionamiento que comprende la entrada-salida en la línea Jùia-Torrevent de 132 kV.

Esta instalación permite la conexión de tres posiciones de generación de energía eólica, así como tres posiciones más para otros artefactos de investigación en energías marinas que se puedan conectar en el futuro, si la evolución de la tecnológica lo permite y caben en el área autorizada, siempre limitando los 30 MW del punto de conexión. Las posiciones estarán dispuestas en torno a la boya de interconexión.

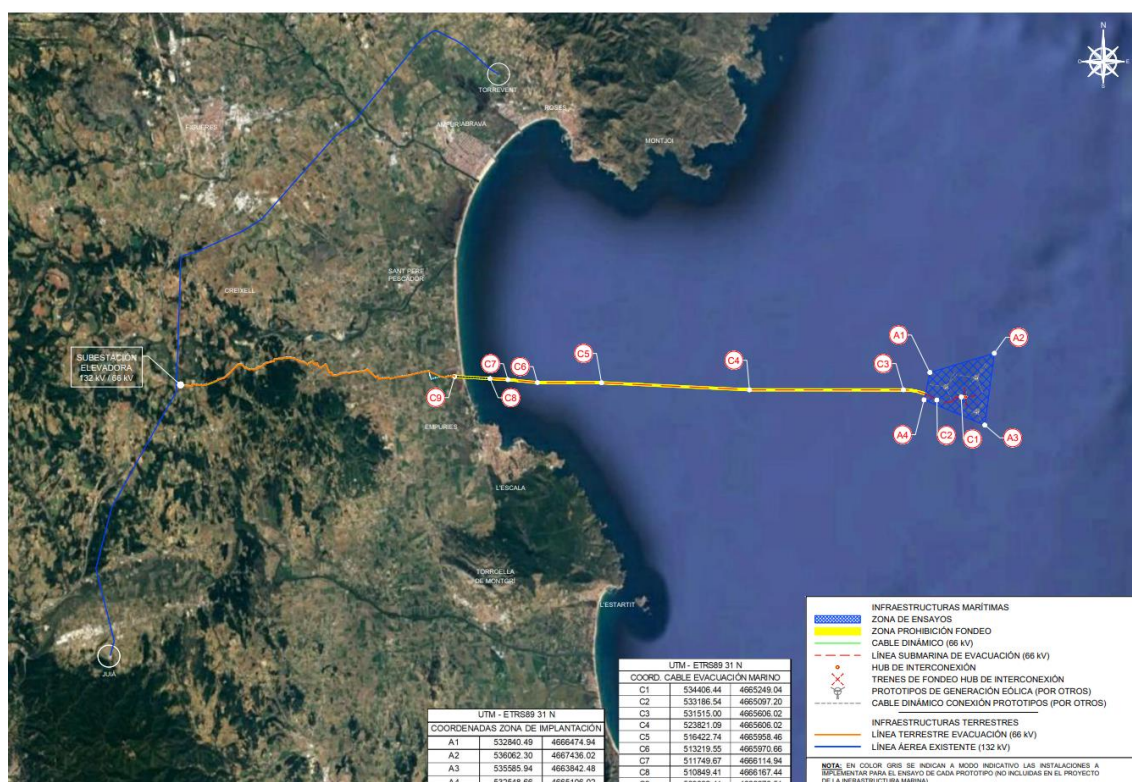


Figura 1. Planta general del proyecto PLEMCAT.

En general, en la estrategia de construcción e instalación de la plataforma de I+D+i, se distinguen las siguientes operaciones:

- Fabricación del cuerpo de la boya y ensamblaje de los componentes eléctricos y superestructura de la boya de interconexión (a realizar en astillero o en puerto).
- Ejecución de la transición litoral del cable de evacuación submarino y construcción de la arqueta de conexión marítimo-terrestre.
- Construcción de la subestación transformadora.
- Ejecución de la conducción eléctrica soterrada desde la arqueta de conexión marítimo-terrestre hasta la subestación eléctrica elevadora.
- Instalación de los elementos del sistema de fondeo de la boya de interconexión marina.
- Botadura, transporte e instalación de la boya de interconexión hasta la posición en el área de ensayos, mediante conexión con el sistema de fondeo preinstalado.
- Tendido y enterrado del cable submarino estático de evacuación de la energía generada a la costa.
- Tendido y conexión del cable dinámico de exportación al cable de exportación estático y a la boya de interconexión.

2 Introducción a la huella de carbono

El cambio climático es actualmente uno de los retos ambientales más urgentes a nivel mundial, y afecta no solo al desarrollo sostenible, sino también el ámbito social y diferentes sectores económicos como la agricultura, la silvicultura, la producción energética, el turismo, entre otros¹.

Aunque España avanza en la transición hacia una economía baja en carbono, las empresas y organizaciones desempeñan un papel fundamental en este objetivo, pues sus actividades tienen un efecto directo sobre el medio ambiente, a la vez que contribuyen con el desarrollo económico y social. En ese sentido, **las organizaciones tienen una gran responsabilidad para liderar el proceso de mitigación del cambio climático**².

En los últimos años han surgido diferentes iniciativas y metodologías dirigidas a conocer el impacto de las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI). Entre ellas se encuentra la Huella de Carbono, que identifica las áreas que más contribuyen al cambio climático.

La huella de carbono es un parámetro que representa las emisiones totales de CO₂ y otros gases de efecto invernadero (GEI), expresadas en masa de CO₂ equivalente, causadas directa o indirectamente por un producto, organización, servicio o evento a lo largo de su ciclo de vida.

¹ <https://www.ihobe.eus/cambio-climatico>

² <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/industria.aspx>

El cálculo de la huella de carbono es más que un dato de emisiones de GEI, y es que permite identificar las mayores fuentes de emisión de GEI de una organización o de un producto para tener una imagen global de su impacto sobre el cambio climático. Asimismo, constituye una base necesaria para abordar y dar seguimiento a acciones de reducción de este impacto. Por lo tanto, su valoración tiene un aspecto estratégico importante y supone una gran cantidad de beneficios medioambientales, económicos y reputacionales.

3 Metodología utilizada

Los cálculos de la huella de carbono del Proyecto PLEMCAT **se han realizado siguiendo en la medida de lo posible las directrices de los documentos de referencia en España en materia de emisiones GEI**: se trata de la norma ISO 14064-1:2019 para cálculo de la huella de carbono de la organización, que se basa a su vez en The Greenhouse Gas Protocol, a Corporate Accounting and Reporting Standard, desarrollado por el World Business Council for Sustainable Development.

Teniendo en cuenta el hecho de que se trata de una estimación **en base a datos del proyecto básico**, se han modificado los planteamientos y agrupaciones de las emisiones según se ha requerido para poder arrojar un resultado significativo sobre este caso concreto.

De cara a la obtención de los datos, se ha priorizado la información proveniente de la documentación del proyecto y se ha recurrido a bibliografía sobre la temática cuando ha sido necesario en el resto de los casos.

4 Definición del alcance de la huella de carbono

El estudio se realiza sobre la vida útil total de la plataforma de ensayos PLEMCAT, proyectada en 30 años, teniendo en cuenta todo el ciclo de vida de sus componentes (desde su creación hasta el desecho tras su desmantelamiento), tal como se desarrolla en los siguientes apartados.

4.1 Análisis de materialidad

Al comienzo del análisis se ha estudiado toda la documentación disponible sobre el proyecto, incluyendo plan de obra, características de la maquinaria, especificaciones generales de los equipos a instalar, y planos de la ubicación y de los componentes que intervendrán en el proyecto.

Además, se consultó bibliografía sobre el tratamiento y los resultados de la huella de carbono en parques eólicos, tanto onshore como offshore, de donde se extrajo información que ha permitido abarcar flujos de emisión para los que no se disponía de una estimación inicial en la documentación del proyecto.

Teniendo en cuenta ese análisis, se considera que **existen datos adecuados para el estudio de las emisiones de gases de efecto invernadero en las siguientes etapas del ciclo de vida del proyecto:**

- **Materias primas:** se contabilizan las emisiones derivadas de la fabricación de todas las materias primas consideradas significativas, usadas tanto para la creación de la boya de interconexión como en los cables de evacuación y en la obra de instalación de los mismos. No se contempla para su estimación la contribución de los posibles prototipos, ya que su desarrollo es independiente del proyecto y su periodo de ensayos será limitado, pudiendo luego desplazarse a otro emplazamiento.
- **Ejecución de la obra:** este término incluye las emisiones derivadas del consumo de combustible de la maquinaria usada en la obra, en sus etapas terrestre, de transición marítimo-terrestre y obra marítima.
- **Transporte de los prototipos de turbinas flotantes:** estas emisiones se enmarcan conceptualmente fuera del alcance del proyecto, pero se decide calcularlas dado que conllevan emisiones que tendrán lugar durante la vida útil del mismo y en asociación a su operación. Su cálculo se basa en la distancia entre los puntos de ensamblaje de los aerogeneradores y el punto desde el que se transportan finalmente a su posición de fondeo en la PLEMCAT.
- **Operación y mantenimiento:** se contabilizan las emisiones derivadas del consumo de aceite lubricante y del consumo de la electricidad consumida en horas no productivas durante toda la vida útil de la PLEMCAT, asociada tanto a los equipos de la boya de interconexión como a los de los prototipos ensayados y embarcaciones de inspección y mantenimiento.
- **Desmantelamiento:** en este flujo se contabilizan las emisiones derivadas del tratamiento de los residuos resultantes del desmantelamiento de la PLEMCAT, partiendo de la premisa de que será desmantelada la boya de interconexión, su sistema de anclaje y cable dinámico, arqueta de transición y subestación, pero no los restantes elementos de obra terrestre (canalizaciones subterráneas) o el cable de exportación submarino.

4.2 Límite operacional

En base a la descripción del proyecto, se establece el alcance del estudio en el conjunto de operaciones derivadas del proyecto básico de Autorización Administrativa Previa de la Plataforma de I+D+i en Energías Marinas de Catalunya (PLEMCAT).

Esto implica que el análisis se realizará sobre las etapas del ciclo de vida descritas en el apartado anterior, sobre los elementos cuya instalación está planteada en la PLEMCAT, atendiendo a la siguiente distribución:

- Una boya de interconexión para la monitorización de ensayos y exportación de la energía generada por los prototipos durante el proceso de testeo. Por ese motivo, la premisa

para la realización de los cálculos en este caso es que se ejecutará la instalación de boya y cables, excluyendo el resto de las fases del ciclo de vida contempladas en el resto de la infraestructura.

- Tres posiciones ocupadas por prototipos de aerogeneradores offshore de hasta 15 MW de potencia unitaria, con una capacidad nominal de generación conjunta simultánea de 30 MW. Se contempla en el análisis las emisiones derivadas de su instalación, operación durante la fase de ensayos y desinstalación, pero no de su fabricación.

Teniendo en cuenta las directrices de las metodologías de referencia, GHG Protocol (Chapter 6: Identifying and Calculating GHG Emissions; y Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard) y la Norma UNE-EN ISO 14064-1:2019 (5.2.4. Inventario de categorías de GEI), se muestran en la siguiente tabla los flujos fuente contemplados según la etapa del ciclo de vida del proyecto.

Dado el caso concreto del estudio, donde al tratarse de un proyecto básico no se han definido los parámetros de ejecución que permiten hacer un análisis por alcances, no se ha tenido en cuenta este criterio para agrupar los flujos fuente.

Etapa del proyecto	Marco temporal	Flujo fuente de emisiones
Materias primas	Construcción PLEMCAT	Consumo de los principales materiales para fabricación de los componentes de la boya de interconexión:
		Acero
		Hierro fundido
		Hierro
		Silicato
		Cobre
		Consumo de materiales en ejecución de la obra, anclajes e instalaciones complementarias de la plataforma de ensayos:
		Acero
		Cobre
		Hormigón
		Hormigón armado
		XLPE
		Aluminio
Ejecución de la obra	Construcción PLEMCAT	Consumo de combustible en maquinaria de obra (incluyendo embarcaciones)
Transporte, instalación y		Consumo de combustible en transporte por carretera

desinstalación de prototipos	Durante fase de Operación de la PLEMCAT	Consumo de combustible en transporte por barco
Operación y mantenimiento	Vida útil completa	Consumo de aceite lubricante para mantenimiento de equipos eléctricos
		Consumo de combustibles en embarcaciones de inspección y mantenimiento
		Consumo de electricidad de los equipos eléctricos y de sensorización en horas no productivas de los prototipos
Desmantelamiento	Final de la vida útil	Gestión de residuos generados en el desmantelamiento de la PLEMCAT

La distribución de estos flujos de emisión en los alcances 1 (emisiones directas por consumo de combustible en operaciones y emisiones fugitivas), alcance 2 (emisiones indirectas por compra de energía y vapor) y alcance 3 (otras emisiones indirectas) contemplados en la metodología de referencia dependerá de la participación accionarial de la compañía en el proyecto finalizado, o bien del control que tenga la compañía sobre los bienes que conformen la instalación y que intervengan en su operación. Este último enfoque, llamado “de control operacional”, es el adoptado comúnmente al calcular la huella de carbono de una instalación productora de energía.

Asumiendo ese último planteamiento, e independientemente de la ejecución de la obra, se puede afirmar que el flujo fuente “Consumo de electricidad en los sistemas de la PLEMCAT en horas no productivas” se enmarcará en el Alcance 2 (emisiones indirectas por compra de electricidad). Respecto al resto de flujos de emisión, es probable que se enmarquen en Alcance 3 (otras emisiones indirectas) al ser común la subcontratación de las actividades correspondientes a cada uno, pero no podrá definirse definitivamente hasta que se cierren las condiciones en las que se ejecutará la obra.

4.3 Tipos de gases incluidos en el estudio

Los GEI considerados en la huella de carbono del proyecto PLEMCAT son aquellos que, de entre los contemplados en el Protocolo de Kioto, serán inequívocamente generados por la actividad que se desarrollará en todas las etapas del ciclo de vida del proyecto. Estos son: el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O). Debido a la incertidumbre sobre su generación en la etapa de proyecto básico y a la incapacidad de plantear una estimación debidamente soportada, los hidrofluorocarbonos (HFC), el hexafluoruro de azufre (SF₆), el trifluoruro de nitrógeno (NF₃) y perfluorocarbonos (PFC) se han excluido del alcance del estudio.

Teniendo en cuenta que los factores de emisión utilizados están disponibles únicamente para el cálculo directo de emisiones de CO₂ equivalente (CO₂e, que incluye ya los términos de metano y óxido nitroso con sus potenciales de calentamiento global correspondientes en este término),

todos los resultados se han expresado directamente en tCO₂e, sin hacer distinción entre los tres gases GEI que componen dichos resultados.

4.4 Factores de emisión

Los factores de emisión (FE) son valores representativos que relacionan una cantidad de gas emitido a la atmósfera con una actividad asociada a la emisión de dicho gas. Normalmente, estos factores se expresan como peso del gas dividido entre el peso, volumen, distancia o duración de la actividad que genera el gas.

Los factores de emisión utilizados en el cálculo de la huella del proyecto PLEMCAT para transformar consumos de energía o combustibles en emisiones de GEI tienen que ser transparentes y consistentes. Por ello, se han utilizado los factores de emisión más fiables y adecuados geográficamente, cuyas fuentes se enumeran a continuación. Se han usado los FE más actualizados disponibles como referencia, del año 2021, aunque estos podrán cambiar durante la vida útil del proyecto. En el Anexo I de este documento se detallan los valores y fuentes de cada uno de los factores de emisión usados en el estudio.

- Combustión de gasóleo (etapa de Obra): el FE para el gas CO₂ se ha obtenido de la lista publicada por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD) para 2021, usados cada año para el cálculo del inventario nacional de emisiones. Los FE para metano y óxido nitroso se han tomado del IPCC 2006: Volumen 2_2 Combustión estacionaria. Este es el único caso en que se han calculado las emisiones de los tres gases por separado, ya que en el resto de los flujos de emisión se han usado FE agregados en CO₂e.
- Materiales: los FE para el cálculo de las emisiones en la creación de todas las materias primas se han consultado en la herramienta SimaPro de cálculo de huella de carbono.
- Gestión de residuos y transporte de materiales: en estas dos etapas, los FE provienen de DEFRA Carbon Factors 2021.
- Consumo de electricidad (y emisiones evitadas): en este caso se usa el FE del mix energético español, procedente también de la lista publicada por el MITERD de factores de emisión de 2021.

5 Recopilación de datos y cálculo

Al inicio del análisis se estudió la documentación disponible del proyecto básico. A raíz de esa revisión se definieron los límites del cálculo, las etapas del ciclo de vida y los flujos fuente de emisión que se consideran en este ejercicio.

Se define dato de actividad como aquella medida cuantitativa de la actividad que produce una emisión de GEI (AENOR, 2006). En este caso, al no disponerse de datos primarios medidos directamente en la ejecución de las actividades, se han priorizado los recogidos en el proyecto

de la plataforma de ensayos, recurriendo a la bibliografía en materia de emisiones GEI en tecnología eólica en los casos en que no se contase con datos predefinidos ya en la documentación. A continuación, se detalla una descripción de los datos de actividad y el tratamiento realizado sobre cada uno de ellos en cada etapa del ciclo de vida del proyecto.

5.1 Materias primas

En esta etapa se contabilizan las emisiones por la producción de las materias primas que luego forman la boya de interconexión y sus equipos asociados, y que se usan en la obra de construcción de la PLEMCAT. Los datos de actividad en este caso se dividen en dos bloques:

- Componentes de obra: en este caso, los datos de actividad han sido extraídos del proyecto básico de PLEMCAT y de la documentación auxiliar aportada por la compañía, donde figuran medidas, número de componentes y materiales de los mismos (excluyendo los componentes para los que no se pudiese obtener una aproximación razonable a esos parámetros).
- Boya de interconexión: los cálculos de las materias primas necesarias para la construcción de la boya se han planteado a partir de dos datos de actividad diferenciados. Por un lado, el peso total aproximado de acero de la misma de 342 t, incluyendo su sistema de fondeo, a la que se le añade un 10% de margen en concepto de soldadura y elementos no modelados.

A partir de esa información, se obtiene una cantidad aproximada de cada material movilizado para la creación e instalación de la plataforma de ensayos, pudiendo obtener así las emisiones derivadas de esta etapa para todo el proyecto. En la siguiente tabla se detallan las cantidades de material movilizado para el total del proyecto sobre el que se han realizado los cálculos de emisiones GEI:

Material	Peso total Proyecto PLEMCAT (t)
Acero	370
Aluminio	0,82
Cobre	204,99
Hierro	210,39
Hierro fundido	119,74
Hierro-acero	88.096,36
Hormigón	3,33
Hormigón armado	32.601,60
Silicato	2,99
XLPE	100,33
Total	121.710,55

5.2 Ejecución de la obra

Los datos de actividad en este caso provienen también de fuentes diferenciadas:

- Mediante el listado de maquinaria que se proyecta usar en obra (terrestre, de transición terrestre-marítima y obra marítima) se obtuvo la potencia total que se moviliza para cada clase de operación de las que pueden tener lugar en el proceso de construcción de la plataforma I+D+i. Este dato de actividad es la suma de la potencia de cada maquinaria involucrada en la operación.
- A partir del cronograma de la ejecución del proyecto, se obtuvo el dato de actividad de los días totales dedicados a cada una de las operaciones previstas en obra.
- Internamente, la compañía proporcionó un factor de uso medio de la maquinaria usado comúnmente en proyectos similares, que define que la mayor parte de los equipos utilizados en obra estarán activos aproximadamente el 50% del tiempo que está movilizada en obra.

Cruzando la potencia movilizada en cada tipo de operación con las operaciones planeadas, y teniendo en cuenta el tiempo dedicado a cada una de ellas, se obtiene un término de energía utilizada (producto de la multiplicación de la potencia por el tiempo de uso). Sobre este resultado, se aplica el factor de uso de la maquinaria y se obtiene una energía aproximada requerida por la obra. Es conveniente destacar que esta es una estimación sólida y coherente pero cuya incertidumbre es grande, al intervenir en ella multitud de factores que son difíciles de definir tanto en obra como en la etapa de proyecto básico. Por ese motivo, el resultado real una vez sea ejecutado el proyecto podrá variar del estimado en este ejercicio.

Sobre esa energía se aplica un factor de emisión de consumo de gasóleo, al considerarse que la maquinaria estará en su mayoría activada por diésel, y se obtiene así el resultado de las emisiones GEI asociados a esta etapa del proyecto. A continuación, se muestra en la tabla el total de potencia movilizada (suma de las potencias de toda la maquinaria involucrada) en cada etapa de la obra, y el resultado de la energía consumida en etapas una vez realizados los cálculos que determinan el tiempo de uso de cada tipo de maquinaria.

Etapas obra	Potencia total movilizada (kWh)	Energía consumida (kWh)	Energía consumida (GJ)
Onshore	6.077,90	21.417.185,00	77.101,87
Transición mar-tierra	3.277,00	5.801.790,00	20.886,44
Offshore	13.395,00	7.040.700,00	25.346,52

Una alternativa que mejoraría el desempeño en materia de emisiones en la etapa de obra es el uso de biodiésel en la maquinaria, que permitiría sustituir parte del combustible fósil por uno de origen renovable. Las emisiones generadas por la combustión del gasóleo se componen mayoritariamente de CO₂ (más del 99%), y también de pequeñas cantidades de metano, óxido

nitroso y otros gases con una contribución mucho menor al potencial de efecto invernadero de este flujo de emisiones. Al proceder de una fuente renovable, las emisiones de CO₂ generadas no se consideran en los factores de emisión por consumo del combustible. Existe biodiésel con distintas proporciones de biocombustible sobre el total; teniendo en cuenta lo anterior, las emisiones por consumo de diésel podrían reducirse sustituyendo diésel convencional por biodiésel, evitando mayor cantidad de emisiones conforme la proporción de biocombustible en el biodiésel fuese mayor. En la siguiente tabla se muestra el % de reducción de emisiones de CO₂ que supondría el uso de biodiésel con proporciones del 7, 10, 20, 30 y 100% de biocombustible, frente al uso de gasóleo B convencional, según los factores de emisión más actualizados publicados por el MITERD en 2020.

Combustible	FE 2021 (kgCO ₂ /l)	% reducción CO ₂ vs Gas. B
Gasóleo B (convencional)	2,686	-
B7%	2,456	8,56%
B10%	2,377	11,50%
B20%	2,113	21,33%
B30%	1,849	31,16%
B100%	0	100,00%

Las emisiones evitadas serían mayores o menores dependiendo de la cantidad de combustible sustituido, y la proporción de biocombustible en el biodiesel que fuera usado finalmente. Se plantea como ejemplo la premisa de sustituir todo el combustible de la etapa de obra marítima por biodiésel; en este caso concreto, se estarían evitando del orden de 230 tCO₂ con el uso de un biodiésel con una composición del 10% de biocombustible, unas 623,97 tCO₂ con el uso de un biodiesel del 30%, y más de 2.002,38 tCO₂ en el caso de poder hacer una sustitución completa por un biodiesel con el 100% de origen renovable.

5.3 Transporte de los prototipos al punto de anclaje

En esta etapa se contemplan los transportes de los prototipos desde el punto de ensamblaje, que se considera a priori Tarragona, hasta la ubicación final de la PLEMCAT. Al no estar contemplados los aerogeneradores dentro del alcance del proyecto, únicamente se considera esta etapa de transporte hasta el punto de conexión en el cálculo. El transporte se realizará por barco hasta la ubicación de la posición de conexión correspondiente, que será el punto de anclaje temporal durante la realización de los ensayos en condiciones reales para cada prototipo.

Los datos de actividad en este caso son la cantidad de material movilizado para su instalación en la plataforma de ensayos. La distancia considerada es la presente entre el puerto de Tarragona y la ubicación del área de ensayos. Las emisiones se obtienen mediante la multiplicación del material movilizado por la distancia cubierta, teniendo en cuenta el medio de transporte usado en cada trayecto.

5.4 Operación y mantenimiento

Dadas las características de la PLEMCAT, no se dispone de datos históricos de instalaciones similares de donde extraer un dato primario válido. Por tanto, para cada uno de los flujos de emisión contemplados se ha recurrido a un planteamiento distinto:

- Consumos de embarcaciones de inspección, operación y mantenimiento, con visitas bimensuales.
- Consumo de aceite lubricante: en este caso, los datos de actividad han sido un parámetro de consumo específico por unidad de producción extraído del documento anteriormente citado *Análisis comparativo de la Huella de Carbono de Un Parque Eólico en Tenerife*, P. Cortés, Instituto Politécnico de Leiria, España 2019; y por otro lado, el cálculo de producción total de la instalación en toda su vida útil basado en la potencia instalada y en el factor de capacidad (0,45), considerando una operación máxima de las instalaciones del 70%, estimada considerando los periodos de espera entre rotaciones de prototipos. Así, se ha obtenido un valor estimado en base a la extrapolación usando el parámetro de consumo específico.
- Consumo de energía eléctrica de los sistemas de la PLEMCAT en las horas no productivas: este consumo residual se compra a la red al no poder abastecerse mediante autoconsumo de los prototipos, por lo que tiene asociado un término de emisiones. Los datos de actividad en este caso han sido el factor de capacidad de la planta, considerando el porcentaje de operación durante la realización de ensayos, la potencia instalada y la potencia de ese consumo residual en horas no productivas. Así, se ha calculado la estimación de horas no productivas durante toda la vida útil del proyecto y, sobre ellas, la energía consumida en estos términos. Sobre esa energía se ha aplicado el factor de emisión del mix español del año 2021 para obtener la estimación de emisiones en toda la vida útil del proyecto usando ese año de referencia.

5.5 Desmantelamiento

El dato de actividad en la etapa de desmantelamiento proviene de la etapa de Materias primas, ya que el input para el planteamiento de los cálculos es en este caso la cantidad de material contenido en la boya de interconexión y la infraestructura asociada. Se han incluido en esta etapa los componentes pertenecientes al cuerpo de la boya y su sistema de anclaje, excluyendo el material de obra que no será desmantelado (cable submarino estático y conducción terrestre soterrada) y aquellos componentes para los que no se dispone de información bibliográfica de referencia (subestación en este caso).

Los cálculos se han planteado según dos premisas distintas, suponiendo el caso más favorable y el menos favorable en materia de emisiones GEI respectivamente:

- Desmantelamiento con valorización de los materiales que forman los componentes retirados de la boya de interconexión y sus sistemas de amarre y cable dinámico. Se aplicaron porcentajes de valorización sobre los materiales más significativos según las proporciones propuestas en el artículo *Análisis comparativo de la Huella de Carbono de Un Parque Eólico en Tenerife*, P. Cortés, Instituto Politécnico de Leiria, España 2019, en base a la recomendación de Siemens-Gamesa sobre gestión de residuos de un aerogenerador.
- Desmantelamiento con disposición total en vertedero de todos los materiales retirados en el proceso.

En base a las cantidades de material revalorizado o dispuesto en vertedero en cada una de las premisas, se han aplicado los factores de emisión correspondientes a cada tipo de residuo para obtener las emisiones de esta etapa.

6 Resultados del estudio

6.1 Huella de carbono

En este apartado se exponen los resultados del análisis de emisiones GEI durante toda la vida útil del proyecto PLEMCAT, basado en la información disponible en el proyecto básico de la instalación.

Dado que los resultados se calculan sobre un marco temporal extenso, que los datos de actividad son estimatorios (incluyendo bibliografía externa al propio proyecto), y que además no se dispone de referencia de datos históricos de instalaciones similares por el momento, **se considera que la incertidumbre de todos los flujos de emisión y del resultado total es alta, en cualquier caso.**

Dentro de las etapas de transporte de los prototipos y de desmantelamiento se plantean premisas diferenciadas dada la incertidumbre que hay por el momento sobre la ejecución de estas actividades; el resultado total de la huella de carbono del proyecto será la media aritmética entre el resultado de las combinaciones posibles de estas premisas. En cualquier caso, en la tabla de resultados puede consultarse el resultado por separado de cada una de las combinaciones.

Según las especificaciones del proyecto, los resultados se dividen en dos bloques correspondientes a los planteados en el apartado 4.2 Límite operacional:

- Infraestructuras asociadas: incluye los cables de interconexión (marinos y terrestres), y las operaciones y mantenimiento en ciclo de vida útil del proyecto (incluye instalaciones de prototipos), y desmantelamiento de infraestructuras.
- Boya de interconexión: en este bloque se han contemplado solo las etapas de materiales de la boya y cableado de conexión y la obra marítima. No incluye balizamiento exterior.

La huella de carbono total de la plataforma I+D+i durante toda su vida útil se estima en un total de **212.770,09 tCO₂e**, y será la suma del resultado de estos dos términos. En las tablas siguientes, por orden, se desglosa el resultado consolidado, de las infraestructuras generales de la plataforma y de la boya.

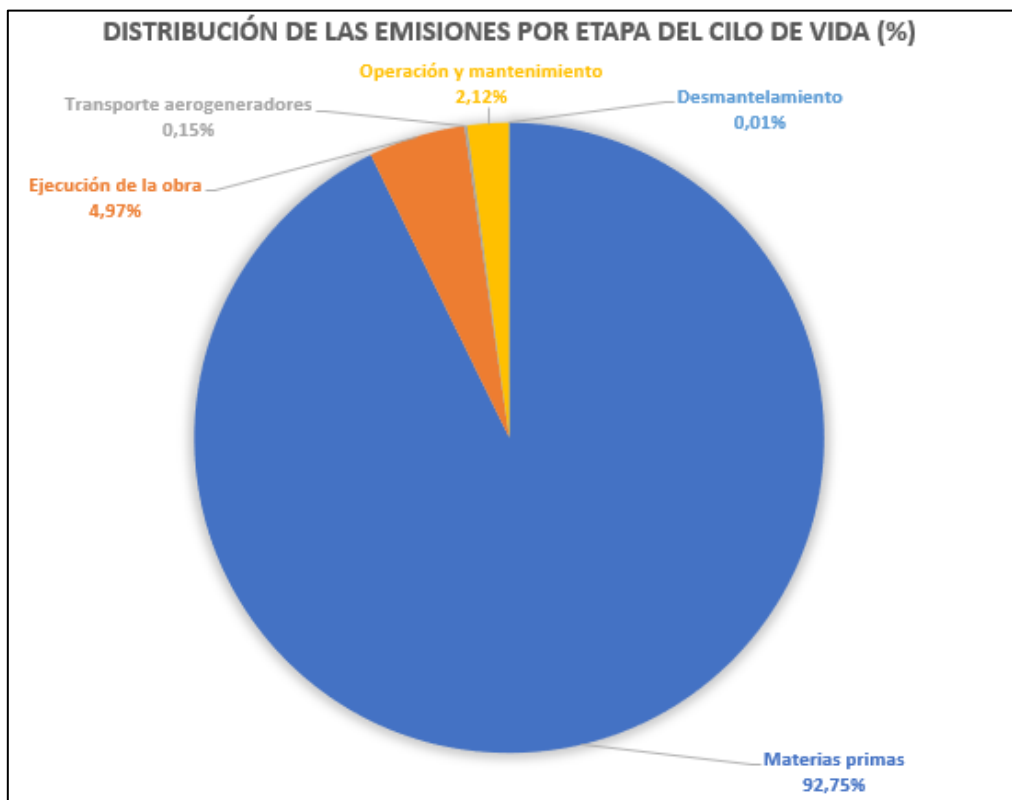
RESULTADOS: CONSOLIDADO			
Segmento del proyecto	Marco temporal	Emisiones	Unidad
Plataforma ensayos I+D+i	Vida útil completa	196.591,05	tCO ₂ e
Boya PLEMCAT	Boya y cableado	16.179,04	tCO ₂ e
Total proyecto		212.770,09	tCO₂e

RESULTADOS: Plataforma I+D+i			
Fase ciclo de vida del proyecto	Escenario	Emisiones	Unidad
Materias primas		182.345,91	tCO ₂ e
Ejecución de la obra		9.774,68	tCO ₂ e
Transporte prototipos	Desde puerto de Tarragona a punto de conexión	296,41	tCO ₂ e
Operación y mantenimiento		4.116,11	tCO ₂ e
Desmantelamiento	Revalorización	1,99	tCO ₂ e
	Disposición	13,88	tCO ₂ e
Total vida útil de la plataforma	Revalorización desmantelamiento	196.585,10	tCO ₂ e
	Disposición desmantelamiento	196.596,99	tCO ₂ e
	Total emisiones (media 2 escenarios)	196.591,05	tCO₂e
	Emisiones específicas	0,0216	tCO ₂ e/MWh

RESULTADOS: Boya PLEMCAT	
Premisa	Instalación de boya y cables, únicamente, en el área de ensayos
Factor corrección em. (obra)	33,3%

Fase ciclo de vida del proyecto	Escenario	Emisiones	Unidad
Materias primas		15.509,45	tCO ₂ e
Ejecución de la obra		669,60	tCO ₂ e
Total instalación		16.179,04	tCO₂e

El siguiente resultado muestra el peso de las emisiones de cada etapa del ciclo de vida de la plataforma I+D+i, al considerarse el estudio más cercano a las que serán las condiciones finales del complejo.



Como puede observarse, las emisiones derivadas de la fabricación de las materias primas es con diferencia el flujo de emisiones más significativo del proyecto, seguido por la ejecución de la obra y la operación y mantenimiento. De este último punto, casi la totalidad de las emisiones corresponden al consumo de electricidad en las instalaciones del proyecto; sin embargo, en las siguientes tablas se muestra la división de las emisiones derivadas de la fabricación de cada materia prima, y de las emisiones generadas en cada tramo de obra según su ubicación.

MATERIAS PRIMAS		
Material	Peso total (t)	Emisiones (tCO ₂ e)
Acero	370	754,80
Aluminio	0,82	7,98
Cobre	204,99	1.637,87
Hierro	210,39	399,74
Hierro fundido	119,74	227,51
Hierro-acero	88.096,36	173.549,84
Hormigón	3,33	0,52

Hormigón armado	32.601,60	5.528,69
Silicato	2,99	5,24
XLPE	100,33	233,77
Total	121.710,55	182.345,91

OBRA		
Obra	Emisiones (tCO ₂ e)	% frente al total
Terrestre	6.110,57	62,51%
Transición mar-tierra	1.655,32	16,93%
Obra marítima	2.008,79	20,55%
Total	9.774,68	100,00%

6.2 Emisiones evitadas

Durante la realización de ensayos en la plataforma I+D+i se lleva a cabo la generación de electricidad por medio de tecnologías renovables, que podrá inyectarse en la red eléctrica, por lo que sus emisiones específicas por unidad de producción serán significativamente menores a la media de la generación que tiene lugar en el mix energético español, que incluye tecnologías mucho menos eficientes en este sentido.

Tratándose de una energía renovable, se parte de la premisa de que las emisiones por la generación de energía serán iguales a cero de cara al cálculo de emisiones evitadas. Así, se compara el valor de cero emisiones con las que emitiría el mix español para abastecer a la red la misma cantidad que habrá generado la instalación en el total de su vida útil. **Por tanto, las emisiones evitadas por la generación mediante renovables del proyecto PLEMCAT, serán equivalentes a las emisiones que generaría el sistema eléctrico peninsular para abastecer la misma demanda de electricidad que cubrirá la PLEMCAT en toda su vida útil.**

En las siguientes tablas se muestran los resultados de las emisiones evitadas por la PLEMCAT, considerando los 3 prototipos y una operatividad global estimada del 70%.

EMISIONES EVITADAS CONSOLIDADAS		
Bloque	Valor	Referencia
Producción prototipos (millones de tCO ₂)	0,644	Mix 2021
Total vida útil proyecto (millones de tCO₂)	0,644	

El mix energético español varía anualmente según el cambio gradual en las tecnologías del parque energético, así como en función de la disponibilidad de los recursos renovables y fósiles. Se ha usado como referencia para el cálculo del valor del FE mix España ($\text{kgCO}_2\text{e/KWh}$) = 0,26; este valor correspondería con el mix energético de España si no hubiese renovables. Por otra parte, el mix real de España se prevé que vaya disminuyendo en el futuro, conforme a la presencia cada vez mayor de tecnologías renovables en el mix energético. Por ello, si se usase ese para obtener las emisiones evitadas de la PLEMCAT podría ocurrir que las emisiones evitadas al final del ciclo de vida del proyecto fueran menores a las reflejadas en el cálculo.

Tomando como referencia los valores proporcionados por Red Eléctrica Española para el año 2021, se muestran en la tabla al final del apartado los factores de emisión específicos para cada tecnología de generación no renovable en el sistema eléctrico nacional. Este valor corresponde con las toneladas de CO_2 equivalentes emitidas para la generación de cada MWh procedente de cada uno de esos tipos de tecnología. La combinación de ellas más el resto de generación por renovables da como resultado el FE del mix nacional durante ese periodo.

El planteamiento de proyectos de energía renovable pretende suplir parte de la demanda energética con fuentes de producción de bajas emisiones, permitiendo sustituir gradualmente las tecnologías basadas en combustibles fósiles que operan en el parque energético nacional por otras más favorables en materia de emisiones GEI. La introducción en el sistema eléctrico nacional de nueva potencia instalada mediante renovables condiciona la gestión de las fuentes no renovables, junto a multitud de factores que dependen de la organización del sistema eléctrico en cada zona y de la red eléctrica nacional.

Así, la sustitución de la demanda eléctrica por una tecnología renovable como la eólica podría tener el efecto reflejado en los factores de emisión de la siguiente tabla sobre el mix nacional: por cada MWh proveniente de esas tecnologías cubierto con una generación renovable, podrían evitarse un máximo de tCO_2e correspondiente al valor del factor de emisión. Este efecto no puede contabilizarse de forma específica, sino que es trazable de forma general mediante la evolución del mix energético nacional a lo largo del tiempo.

Tecnología generación (no renovable)	Emisiones específicas 2021 (Factores de emisión)
Carbón	0,973
Motores diésel	0,684
Turbina de gas	1,060
Turbina de vapor	0,908
Ciclo combinado	0,389
Cogeneración	0,373
Residuos no renovables	0,353
Total no renovables	0,439

7 Autores del estudio

En la redacción del presente estudio ha participado el siguiente personal de Tecnoambiente:

Nombre	Titulación	DNI
Koldo Diez-Caballero	Ldo. CC Ambientales	52592684-X
Núria Andón Mañero	Gda. Ciencias del Mar	47977150-R

8 Anexos

FACTORES DE EMISIÓN				
Flujo fuente	Dato de actividad	Unidad	Valor	Referencia
Consumo de combustible	Gasóleo	kgCO ₂ /GJ	79,00	MITERD Factores de emisión 2021
		kg CH ₄ /TJ	3,00	IPCC 2006: Volumen 2_2 Combustión estacionaria (pág. 16/47)
		kg N ₂ O/TJ	0,60	IPCC 2006: Volumen 2_2 Combustión estacionaria (pág. 16/47)
Consumo eléctrico	Electricidad de red Mix España	kgCO ₂ e/KWh	0,26	MITERD Factores de emisión 2021
Uso de materiales	Acero	kg CO ₂ e/kg	2,04	SimaPro: Steel, unalloyed {GLO} market for APOS, S
	Hierro fundido	kg CO ₂ e/kg	1,90	SimaPro: Cast iron {GLO} market for APOS, S
	Hormigón	kg CO ₂ e/kg	0,16	SimaPro: Concrete, 20MPa {RoW} market for concrete, 20MPa APOS, S
	Plástico	kg CO ₂ e/kg	2,33	SimaPro: Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for APOS, S
	Hormigón armado	kg CO ₂ e/m ³	407,00	SimaPro: Fibre-reinforced concrete {BR} market for fibre-reinforced concrete, steel APOS, S
	Hierro	kg CO ₂ e/kg	1,90	SimaPro: Cast iron {GLO} market for APOS, S
	Silicato	kg CO ₂ e/kg	1,75	SimaPro: Steel, low-alloyed {GLO} market for APOS, S
	Cobre	kg CO ₂ e/kg	7,99	SimaPro: Copper {GLO} market for APOS, S
	XLPE	kg CO ₂ e/kg	2,33	SimaPro: Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for APOS, S
	Aluminio	kg CO ₂ e/kg	9,69	SimaPro: Aluminium, primary, ingot {IAI Area, EU27 & EFTA} market for APOS, S

FACTORES DE EMISIÓN (continuación)				
Flujo fuente	Dato de actividad	Unidad	Valor	Referencia
Gestión de residuos	Acero	kgCO2e/t	1,2643	DEFRA 2021 - Waste disposal - Construction (Landfill)
	Resina epoxi	kgCO2e/t	1,2393	
	Fibra de vidrio	kgCO2e/t	1,2393	
	Hierro	kgCO2e/t	1,2643	
	Cobre	kgCO2e/t	1,2643	
	Silicato	kgCO2e/t	1,2393	
POTENCIALES DE CALENTAMIENTO GLOBAL (GWP)				
Gas		Unidad	Valor	Referencia
CO2		kg CO2e/kg CO2	1	IPCC Sixth Assessment Report
CH4		kg CO2e /kg CH4	30	IPCC Sixth Assessment Report
N2O		kg CO2e/kg N2O	273	IPCC Sixth Assessment Report

