



**CENTRO DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS “JARAMA”,
TÉRMINO MUNICIPAL DE TITULCIA (COMUNIDAD DE
MADRID)**

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

ANEXO I. ESTUDIO DE LA HUELLA DE CARBONO

Septiembre, 2026





ÍNDICE

1. OBJETO Y ALCANCE DEL ESTUDIO	4
1.1. OBJETO DEL ESTUDIO	4
1.2. JUSTIFICACIÓN Y RELEVANCIA	4
1.3. LÍMITES ORGANIZATIVOS	4
1.4. LÍMITES OPERACIONALES	5
1.4.1. Alcance temporal	5
1.4.2. Alcance 1: emisiones directas	5
1.4.3. Alcance 2: emisiones indirectas por electricidad	6
1.4.4. Alcance 3: emisiones indirectas de la cadena de valor	6
1.5. CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y SIGNIFICANCIA	6
2. METODOLOGÍA DE CÁLCULO	7
2.1. NORMATIVA APLICABLE	7
2.1.1. Marco internacional	7
2.1.2. Marco europeo y nacional	8
2.1.3. Marco autonómico	8
2.2. FACTORES DE EMISIÓN	9
2.2.1. Combustibles fósiles: Gasóleo A (uso industrial)	9
2.2.2. Electricidad: mix eléctrico peninsular (consumos eléctricos)	9
2.2.3. Electricidad exportada – Factor marginal (emisiones evitadas)	10
2.2.4. Productos químicos y reactivos	10
2.2.5. Coherencia metodológica y consideraciones generales	11
3. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN	12
3.1. Características técnicas principales	12
3.1.1. Capacidad de tratamiento	12
3.1.2. Proceso productivo	13
3.2. Datos energéticos	16
3.2.1. Producción energética	16
3.2.2. Distribución del autoconsumo	17
3.2.3. Consumos energéticos	17
3.3. MATERIAS PRIMAS Y AUXILIARES	18



4. INVENTARIO DE FUENTES DE EMISIÓN GEI	20
4.1. ALCANCE 1: EMISIONES DIRECTAS	20
4.1.1. Combustión (gasóleo)	20
4.1.2. Emisiones de proceso (combustión de residuos)	22
4.1.3. Emisiones difusas	24
4.1.4. Resumen del Alcance 1: emisiones directas	24
4.2. ALCANCE 2: EMISIONES INDIRECTAS POR ELECTRICIDAD	25
4.3. ALCANCE 3: EMISIONES INDIRECTAS DE LA CADENA DE VALOR	25
4.3.1. Transporte de residuos a planta	26
4.3.2. Transporte de escorias	28
4.3.3. Transporte de cenizas y residuos del tratamiento de gases	28
4.3.4. Transporte de materiales recuperados	29
4.3.5. Productos químicos y reactivos	29
4.3.6. Resumen de emisiones del Alcance 3	30
5. RESULTADOS DE LA HUELLA DE CARBONO	32
6. EMISIONES EVITADAS DEL PROYECTO	33
6.1. Emisiones evitadas por generación eléctrica	33
6.2. Emisiones evitadas por reducción del vertido de residuos	34
6.3. Emisiones evitadas por recuperación de materiales	35
7. BALANCE CLIMÁTICO DEL PROYECTO	35
8. CONCLUSIONES	36

EQUIPO REDACTOR:

.....
[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]
.....



1. OBJETO Y ALCANCE DEL ESTUDIO

1.1. OBJETO DEL ESTUDIO

El presente estudio técnico tiene como finalidad la realización de una estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas a la operación del Centro de Tratamiento de Residuos "Jarama", ubicada en el término municipal de Titulcia, en la Comunidad de Madrid.

Este análisis se presenta como un **anexo en el marco del Estudio de Impacto Ambiental (EsIA)** y del procedimiento de Autorización Ambiental Integrada (AAI) tramitado ante la Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Agricultura de la Comunidad de Madrid. Su objetivo es proporcionar información cuantificada que sirva de base para la **evaluación del impacto climático del proyecto**, contribuyendo a la transparencia y al cumplimiento de la normativa ambiental vigente.

1.2. JUSTIFICACIÓN Y RELEVANCIA

La cuantificación de la huella de carbono del proyecto se incorpora al EsIA y al expediente de Autorización Ambiental Integrada como herramienta de caracterización climática del sistema proyectado. Su finalidad no es únicamente estimar las emisiones directas e indirectas asociadas al funcionamiento de la instalación, sino también aportar una base técnica transparente y verificable para valorar su comportamiento climático en el contexto de la gestión de residuos, la producción de energía y la economía circular.

En este marco, el estudio distingue entre:

- **La huella de carbono organizacional del proyecto**, calculada conforme a ISO 14064-1:2018 y al GHG Protocol;
- **Los beneficios climáticos potenciales asociados al sistema de gestión de residuos**, evaluados de forma complementaria mediante el análisis de emisiones evitadas por sustitución de vertido y por exportación de electricidad.

Esta separación metodológica resulta especialmente importante para evitar la confusión entre el inventario corporativo de emisiones y la evaluación climática ampliada del sistema.

La elaboración del estudio resulta coherente con la *Ley 7/2022*, con la *Guía de MITECO para el cálculo de la huella de carbono de organizaciones* y con la *Estrategia de Economía Circular de la Comunidad de Madrid 2025–2032*, que promueve la reducción del vertido, la valorización de recursos y la descarbonización de la gestión de residuos.

1.3. LÍMITES ORGANIZATIVOS

El estudio adopta el enfoque de **control operacional** para definir el perímetro organizativo, incluyendo todas las instalaciones, equipos y actividades del Centro de Tratamiento de Residuos "Jarama".

El proyecto se ubica en cinco parcelas del término municipal de Titulcia, con **superficie total de 74.000 m²**, localizadas en el polígono 2 del catastro municipal, coordenadas UTM huso 30T: X 447.500, Y 4.456.750.

El perímetro incluye:



- **Planta de Valorización Energética:** dos líneas de combustión idénticas (18,75 t/h cada una), con parrilla móvil refrigerada por aire, calderas de recuperación de calor, turbogenerador de 27 MW y sistema de depuración de gases semiseco, húmedo y catalítico.
- **Instalaciones de pretratamiento:** dos líneas con capacidad conjunta de 21,35 t/h, recuperación de metales, papel, cartón y plásticos.
- **Instalaciones auxiliares y servicios generales:** almacenamiento de reactivos y combustibles, redes de agua, electricidad y aire comprimido, protección contra incendios, edificios administrativos y de control.

1.4. LÍMITES OPERACIONALES

La definición de los límites operacionales sigue estrictamente la metodología establecida en la norma ISO 14064-1:2018 y en el GHG Protocol Corporate Standard, clasificando las emisiones en tres alcances claramente diferenciados según el grado de control directo que la organización ejerce sobre las fuentes de emisión.

1.4.1. Alcance temporal

El alcance temporal del estudio corresponde a un año completo de operación estabilizada de la instalación, estimando el año 2030 como referencia al constituir el primer ejercicio completo tras la finalización de la fase de puesta en marcha y ajuste operativo.

La unidad funcional principal del estudio es la **valorización energética de 300.000 toneladas de residuos no peligrosos al año**, que corresponde a la capacidad nominal de diseño del Centro de Tratamiento de Residuos "Jarama" operando durante 8.000 horas equivalentes anuales a plena carga.

Adicionalmente, se considera el funcionamiento de la planta de pretratamiento durante 3.500 horas anuales para el procesamiento de hasta 150.000 toneladas de residuos específicos que requieren acondicionamiento previo.

1.4.2. Alcance 1: emisiones directas

El **Alcance 1** comprende todas las *emisiones directas de gases de efecto invernadero que se producen en fuentes que son propiedad de la organización o están bajo su control directo*. En el caso del Proyecto del Centro de Tratamiento de Residuos "Jarama", este alcance incluye fundamentalmente la combustión controlada de residuos en los dos hornos de la Planta de Valorización Energética, que constituye el proceso principal y la fuente más significativa de emisiones directas.

También se incluyen las emisiones procedentes de la **combustión de gasóleo en los quemadores auxiliares**, necesarios para el mantenimiento de las condiciones térmicas durante los arranques, paradas y demás situaciones operativas que requieren un aporte energético complementario para mantener la temperatura mínima de 850 °C exigida por la normativa, así como las emisiones asociadas al **funcionamiento del grupo electrógeno de emergencia**, previsto para garantizar el suministro eléctrico a los sistemas críticos de la instalación ante eventuales fallos de la red y durante las operaciones periódicas de mantenimiento y prueba.



1.4.3. Alcance 2: emisiones indirectas por electricidad

El **Alcance 2** está constituido por las *emisiones indirectas asociadas al consumo de electricidad procedente de la red eléctrica externa*. Aunque la instalación es neta exportadora de energía eléctrica, requiere suministro externo durante las fases de arranque y parada de los equipos principales, así como para alimentar determinados servicios auxiliares y sistemas de seguridad que deben mantenerse operativos independientemente del estado de funcionamiento de la planta principal. Este consumo, estimado en **3.132 MWh anuales**, representa aproximadamente el 1,5 % de la producción eléctrica bruta de la instalación.

1.4.4. Alcance 3: emisiones indirectas de la cadena de valor

El **Alcance 3** abarca las *emisiones indirectas que se producen en la cadena de valor de la organización, pero que no están bajo su control operacional directo*. Este alcance incluye:

- Las emisiones asociadas a la fabricación de los reactivos químicos empleados en el sistema de depuración de gases.
- El transporte de residuos desde sus puntos de origen hasta la instalación
- La gestión externa de los subproductos generados.

Las emisiones asociadas a la fase de construcción de la instalación han sido identificadas como potencialmente relevantes en el marco de un análisis de ciclo de vida completo. No obstante, en la presente fase de desarrollo del proyecto no se dispone de un nivel de definición suficiente en relación con el desglose de materiales, maquinaria, consumos energéticos y logística de obra que permita realizar una estimación robusta, trazable y conforme a los criterios metodológicos establecidos en la norma ISO 14064-1:2018 y en el GHG Protocol.

En consecuencia, dichas emisiones no se incorporan al inventario cuantificado del presente estudio, que se circunscribe a la fase de operación de la instalación.

Sin perjuicio de lo anterior, en el marco del desarrollo del Proyecto Constructivo, y una vez se disponga de la información detallada de ejecución de obra, podrá realizarse una estimación específica de la huella de carbono asociada a la fase de construcción, en caso de que se considere necesario desde el punto de vista técnico o en el contexto del procedimiento administrativo.

Especialmente relevante en el sector waste-to-energy es la cuantificación de las emisiones evitadas, que incluyen la electricidad exportada a la red que sustituye generación más intensiva en carbono, los materiales recuperados que evitan extracción y procesamiento de recursos primarios, y la propia función de tratamiento de residuos que evita su deposición en vertedero con las correspondientes emisiones de metano.

No obstante, dada la relevancia de este aspecto en el marco del procedimiento de evaluación ambiental, y en línea con los criterios del órgano ambiental, se prevé la realización de una estimación específica de la huella de carbono asociada a la fase de construcción en fases posteriores del proyecto, una vez se disponga del detalle constructivo necesario

1.5. CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y SIGNIFICANCIA

La aplicación de criterios de significancia rigurosos resulta fundamental para garantizar la relevancia y precisión del inventario de emisiones, evitando tanto la omisión de fuentes importantes como la complejidad derivada de incluir fuentes marginales que no aportan valor



analítico significativo. Para el presente estudio se ha adoptado un criterio dual que combina aspectos cuantitativos y cualitativos, en línea con las mejores prácticas establecidas en la norma ISO 14064-1 y en el GHG Protocol.

El criterio cuantitativo establece que **se incluirán en el inventario todas las fuentes de emisión que representen igual o más del 1% de las emisiones totales brutas de la instalación, o que superen las 100 toneladas de CO₂ equivalente anuales en términos absolutos**. Este doble umbral garantiza que no se omitan fuentes que, aunque puedan ser porcentualmente pequeñas, resulten significativas en términos absolutos debido al elevado volumen total de emisiones de la instalación.

Complementariamente, se aplica un criterio cualitativo que considera la **relevancia técnica y sectorial de determinadas fuentes de emisión**. Bajo este criterio se incluyen emisiones que, aun siendo cuantitativamente menores, resultan características y representativas del perfil emisor del sector waste-to-energy, como las emisiones de combustión de gasóleo en quemadores auxiliares o las emisiones difusas de amoníaco del sistema SCR, que permiten caracterizar adecuadamente el funcionamiento de la tecnología y establecer comparaciones técnicas con instalaciones similares.

Por el contrario, **se excluyen del cálculo aquellas actividades que claramente no alcanzan el umbral de significancia establecido y que no presentan relevancia** específica para el sector. Estas exclusiones han sido documentadas de manera transparente, incluyendo:

- *Los desplazamientos del personal al centro de trabajo, que representan menos del 0,1% de las emisiones totales.*
- *Los viajes de negocio ocasionales.*
- *Los residuos de oficina generados en pequeñas cantidades.*
- *Las emisiones asociadas al mantenimiento y reposición de gases refrigerantes de equipos de climatización, que resultan marginales en comparación con las emisiones principales de la instalación.*

2. METODOLOGÍA DE CÁLCULO

2.1. NORMATIVA APLICABLE

La presente sección describe los **marcos normativos y metodológicos** que sustentan la cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de la instalación. Se distinguen tres niveles: internacional, europeo y nacional, y autonómico, cada uno aportando criterios específicos para asegurar consistencia, transparencia y cumplimiento de la regulación vigente.

2.1.1. Marco internacional

A nivel internacional, se adoptan estándares reconocidos para la **cuantificación y reporte de GEI**:

- **ISO 14064-1:2018:** norma que establece los requisitos para la cuantificación, monitoreo y reporte de emisiones y remociones de GEI a nivel organizacional. Proporciona los principios de relevancia, integridad, coherencia, exactitud y transparencia, que constituyen la base metodológica del presente estudio.



- **GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard:** guía de referencia para la clasificación de emisiones en Alcance 1, 2 y 3, y para la definición de límites organizativos y operacionales.
- **GHG Protocol Waste Sector Guidance:** proporciona lineamientos específicos para el sector de residuos, incluyendo tratamiento térmico, valorización energética y gestión de subproductos, asegurando que la metodología refleje fielmente las emisiones asociadas a las operaciones de la planta.
- **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (2006, Volumen 5 Waste, con Refinamiento 2019):** fuente científica para la selección de factores de oxidación, potenciales de calentamiento global (GWP100) y metodologías de cálculo adaptadas al sector residuos.

Este marco asegura que la cuantificación de emisiones sea comparable a nivel internacional y compatible con las mejores prácticas de reporte de GEI.

2.1.2. Marco europeo y nacional

A nivel europeo y nacional, se consideran normas que regulan operación de instalaciones de residuos y generación de energía, así como criterios para la estimación de emisiones:

- **Decisión de Ejecución (UE) 2019/2010:** define las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) para valorización energética de residuos, estableciendo límites y procedimientos de control de emisiones.
- **Real Decreto 815/2013:** regula las emisiones industriales en instalaciones de incineración, aplicable a la planta en estudio.
- **Ley 7/2022 de residuos y suelos contaminados para una economía circular:** marco legal para la gestión sostenible de residuos en España, incluyendo valorización energética.
- **Factores de emisión oficiales publicados por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO):** publica los factores de emisión del sistema eléctrico peninsular, esenciales para el cálculo de emisiones evitadas por exportación de electricidad.
- **Guía MITECO sobre cálculo y registro de la huella de carbono de organizaciones:** referencia metodológica para garantizar coherencia y trazabilidad en la cuantificación de emisiones organizacionales.

Estas normas permiten alinear el estudio con los límites de emisiones europeos y españoles, facilitando la integración en el EsIA y la evaluación de impactos ambientales.

2.1.3. Marco autonómico

A nivel de la **Comunidad de Madrid**, se incorporan instrumentos normativos y estratégicos que contextualizan el proyecto en el territorio:

- **Estrategia de Economía Circular de la Comunidad de Madrid 2025–2032:** establece el marco estratégico autonómico en materia de gestión de recursos, reducción de residuos y descarbonización, promoviendo la valorización material y energética como alternativas prioritarias frente al vertido.



Este instrumento se alinea con la Ley 7/2022 de residuos y suelos contaminados para una economía circular y con los objetivos del Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR), reforzando el papel de las instalaciones de valorización energética en la transición hacia un modelo de economía circular.

Este marco autonómico asegura que el proyecto cumpla con las exigencias legales y estratégicas locales, reforzando la validez y aplicabilidad del inventario de emisiones en el contexto del EslA.

2.2. FACTORES DE EMISIÓN

El presente estudio de huella de carbono aplica factores de emisión procedentes de fuentes oficiales, bases de datos reconocidas internacionalmente y literatura técnica sectorial. Se priorizan factores actualizados, representativos del contexto europeo y metodológicamente coherentes con el IPCC, el GHG Protocol y las directrices del MITECO.

2.2.1. Combustibles fósiles: Gasóleo A (uso industrial)

Para el cálculo de las emisiones directas asociadas al consumo de gasóleo en maquinaria auxiliar y sistemas de apoyo, se han aplicado los factores oficiales publicados por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en su actualización de 2024. Estos factores se actualizan anualmente y corresponden al inventario nacional de emisiones, alineados con las directrices IPCC 2006 y su refinamiento de 2019. La aplicabilidad corresponde a gasóleo de automoción/uso industrial en territorio peninsular.

La coherencia de estos valores ha sido verificada frente al **EMEP/EEA Guidebook 2023**, observándose desviaciones inferiores al 5 %, lo que confirma su representatividad.

Tabla 1. Factores de emisión para Gasóleo A

Parámetro	Valor	Unidad	Incertidumbre
Factor CO ₂	2,67	kg CO ₂ /L	±3 %
Factor CH ₄	0,003	kg CH ₄ /L	±15 %
Factor N ₂ O	0,0006	kg N ₂ O/L	±20 %
Poder calorífico inferior	43,1	MJ/kg	±2 %
Densidad	0,845	kg/L	±1 %

2.2.2. Electricidad: mix eléctrico peninsular (consumos eléctricos)

Las emisiones indirectas asociadas al consumo de electricidad se han calculado utilizando el factor medio del mix eléctrico peninsular español, publicado por Red Eléctrica de España (REE) para el último ejercicio completo disponible (año 2023).

Este factor representa la intensidad media de emisiones del conjunto de tecnologías de generación eléctrica que abastecen el sistema, y es el valor recomendado para la cuantificación de emisiones de Alcance 2 conforme a la guía del MITECO y al GHG Protocol.



De acuerdo con los datos oficiales de REE, el factor medio de emisión del sistema peninsular en 2023 se sitúa en **0,187 t CO₂/MWh**.

Tabla 2. Factores medios de emisión del mix eléctrico peninsular 2021–2023

Año	Factor medio	% Renovable	% Nuclear	% Fósil
2021	0,233 t CO ₂ /MWh	46,7 %	20,8 %	32,5 %
2022	0,215 t CO ₂ /MWh	42,2 %	20,3 %	37,5 %
2023	0,187 t CO ₂ /MWh	50,3 %	20,1 %	29,6 %

Este valor se utiliza exclusivamente para el cálculo de las emisiones indirectas asociadas al consumo eléctrico (Alcance 2), reflejando la intensidad media del sistema eléctrico.

El cálculo se ha realizado bajo el enfoque *location-based*, utilizando el factor medio del mix eléctrico peninsular. No se dispone de información relativa a contratos de suministro con garantías de origen, por lo que no se ha aplicado un enfoque *market-based*.

2.2.3. Electricidad exportada – Factor marginal (emisiones evitadas)

Para la estimación de las emisiones evitadas por la electricidad exportada a la red se adopta un enfoque de sustitución basado en factores marginales, en línea con las buenas prácticas recogidas en el GHG Protocol y en la literatura técnica internacional.

A diferencia del factor medio del mix eléctrico utilizado en el Alcance 2, el cálculo de emisiones evitadas requiere considerar la generación que previsiblemente se desplaza en el sistema eléctrico como consecuencia de la inyección de nueva energía. En este contexto, la generación marginal en el sistema peninsular español está asociada mayoritariamente a ciclos combinados de gas natural en horizontes temporales próximos.

De acuerdo con análisis de escenarios energéticos publicados por Red Eléctrica de España (REE) y la Agencia Internacional de la Energía (IEA), se adopta un factor de emisión de **0,23 t CO₂/MWh** como valor representativo de dicha generación marginal.

Este valor se emplea exclusivamente para el cálculo de emisiones evitadas en el marco del balance climático del proyecto, y no se utiliza en la cuantificación de la huella de carbono organizacional (Alcances 1, 2 y 3).

La diferenciación entre factor medio (mix eléctrico) y factor marginal (generación desplazada) resulta fundamental para garantizar la coherencia metodológica del estudio y evitar la confusión entre emisiones asociadas al consumo eléctrico y emisiones evitadas del sistema.

2.2.4. Productos químicos y reactivos

Para los reactivos empleados en el tratamiento de gases se han utilizado factores procedentes principalmente de la base de datos Ecoinvent 3.9 (mercado europeo), complementados con bases PEF europeas y literatura sectorial. Los factores incluyen emisiones de proceso, energía, transporte y acondicionamiento.

Cal hidratada – Ca(OH)₂



La producción de cal hidratada implica la calcinación de carbonato cálcico (proceso intrínsecamente emisor de CO₂) seguida de hidratación.

El factor aplicado corresponde al promedio europeo de mercado, con un valor de **0,74 t CO₂/t**.

Bicarbonato sódico – NaHCO₃

El bicarbonato sódico se produce mayoritariamente mediante el proceso Solvay. Las emisiones provienen principalmente de la producción de carbonato sódico precursor y del consumo energético del proceso. El factor aplicado tiene un valor de **0,58 t CO₂/t**.

Carbón activo

El carbón activo presenta un factor elevado debido a la intensidad energética de la pirólisis y activación (800–900 °C). El factor aplicado tiene un valor de **4,2 t CO₂/t**.

Hidróxido sódico – NaOH

El NaOH se produce por electrólisis de salmuera, proceso altamente dependiente del mix eléctrico. El factor aplicado considera un mix eléctrico europeo promedio, con un valor de **1,04 t CO₂/t**.

Amoníaco – NH₃

La producción de amoníaco mediante Haber-Bosch implica reformado de gas natural para obtención de hidrógeno, siendo este el principal foco emisor. El factor aplicado tiene un valor de **1,78 t CO₂/t**.

2.2.5. Coherencia metodológica y consideraciones generales

La selección de factores de emisión y criterios metodológicos aplicados en el presente estudio se ha realizado a partir de fuentes oficiales y referencias técnicas de reconocido prestigio, priorizando su coherencia con la norma ISO 14064-1:2018, el GHG Protocol, las Directrices del IPCC (2006) y su Refinamiento de 2019, así como con la guía del MITECO para el cálculo de la huella de carbono de organizaciones. Este marco garantiza la consistencia, trazabilidad y comparabilidad de los resultados obtenidos.

A efectos de estructuración del inventario, se distinguen tres planos metodológicos claramente diferenciados. En primer lugar, las emisiones directas e indirectas bajo control operacional de la organización, que conforman la huella de carbono corporativa (Alcances 1 y 2). En segundo lugar, las emisiones indirectas de la cadena de valor (Alcance 3), incorporadas cuando han podido ser estimadas con un nivel de detalle y fiabilidad suficiente. Finalmente, las emisiones evitadas del sistema se calculan de forma independiente como un indicador complementario del balance climático del proyecto, sin integrarse en el inventario organizacional, en línea con las recomendaciones del GHG Protocol.

En relación con el transporte, se adopta de forma homogénea el enfoque basado en tonelada-kilómetro (t·km), conforme a las directrices del GHG Protocol Scope 3 Calculation Guidance. Los factores de emisión se expresan en unidades de kg CO₂e/t·km para transporte por carretera, evitando el uso simultáneo de factores por vehículo-kilómetro con el fin de garantizar la coherencia metodológica y prevenir duplicidades en la cuantificación.

Asimismo, el presente estudio se apoya en datos de diseño y en hipótesis representativas del funcionamiento previsto de la instalación, al tratarse de un proyecto en fase de desarrollo. En este contexto, determinados parámetros, como la composición exacta del residuo, las



condiciones operativas o la logística efectiva, podrán diferir de los valores estimados. No obstante, se han adoptado criterios conservadores y metodologías internacionalmente reconocidas con el objetivo de evitar la infraestimación de las emisiones y asegurar la robustez del inventario.

Las fuentes de emisión identificadas, pero no cuantificadas en esta fase —en particular las asociadas a la fase de construcción— podrán ser incorporadas en etapas posteriores del proyecto, una vez se disponga de información más detallada que permita su estimación con el nivel de precisión requerido.

De forma complementaria, se han considerado los resultados del estudio específico de dispersión atmosférica del proyecto con el fin de contrastar la coherencia de los parámetros de funcionamiento de la instalación (caudales de gases, condiciones de operación y configuración del sistema de depuración). No obstante, dicho estudio no incluye información relativa a la concentración de CO₂ en gases de combustión ni a la fracción fósil del carbono en los residuos, por lo que su utilización se limita a un contraste técnico del escenario operativo y no sustituye la metodología específica de cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero.

En conjunto, el nivel de detalle y precisión alcanzado se considera adecuado para su integración en el Estudio de Impacto Ambiental y en el procedimiento de Autorización Ambiental Integrada, sin perjuicio de posibles refinamientos en fases posteriores del desarrollo del proyecto.

De forma adicional, se estima una incertidumbre global del inventario en el rango de ± 15 –25 %, asociada principalmente a la variabilidad en la composición del residuo, la fracción fósil del carbono, los factores de emisión aplicados a los reactivos y las hipótesis logísticas adoptadas. Este nivel de incertidumbre se considera coherente con estudios de características similares en fase de proyecto y no compromete la validez del análisis comparativo realizado.

3. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

3.1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PRINCIPALES

3.1.1. Capacidad de tratamiento

El Proyecto Jarama se configura como un sistema industrial integrado para la gestión sostenible de residuos no reciclables, combinando pretratamiento mecánico avanzado y valorización energética de alta eficiencia mediante tecnología de parrilla móvil.

El diseño responde a una filosofía operativa basada en cuatro principios:

- **Máxima valorización:** recuperación previa de aproximadamente el 7 % en forma de materiales reciclables, destinando el 93 % restante a valorización energética.
- **Emisiones mínimas:** cumplimiento garantizado en el extremo inferior del rango de las Mejores Técnicas Disponibles (MTD).
- **Alta disponibilidad:** operación superior al 91 % del tiempo anual (≈ 8.000 h/año).
- **Flexibilidad operativa:** capacidad de adaptación a variaciones del poder calorífico inferior (PCI) del residuo de ± 30 %.

Capacidades nominales y de diseño

La instalación se compone de dos líneas de valorización energética y dos líneas de pretratamiento:



Centro de Tratamiento de Residuos "Jarama"

- **Capacidad nominal total (valorización energética):** 300.000 t/año (37,5 t/h).
- **Capacidad de diseño:** 341.600 t/año (42,7 t/h).
- **Margen de seguridad estructural:** 14 %.
- **Factor de carga previsto:** 87,8 %.

Planta de Pretratamiento

- **Capacidad nominal total:** 150.000 t/año.
- **Capacidad de diseño:** 170.000 t/año.
- **Factor de carga previsto:** 87,7 %.

El margen de diseño permite absorber picos estacionales o variaciones en la composición del residuo sin comprometer la estabilidad del proceso.

3.1.2. Proceso productivo

El proceso productivo del Proyecto Jarama se articula en tres bloques principales: combustión controlada, recuperación energética y depuración avanzada de gases. Cada bloque garantiza la máxima eficiencia, seguridad y cumplimiento de la normativa ambiental.

a. Tecnología de valorización energética

Para la combustión se ha seleccionado la parrilla móvil refrigerada por aire (moving grate), una tecnología ampliamente utilizada en Europa para tratar residuos heterogéneos. Sus principales ventajas son la robustez, fiabilidad y bajo mantenimiento, incluso con residuos de composición variable.

Cada línea de valorización energética cuenta con las siguientes características:

- **Potencia térmica nominal:** 53,4 MW.
- **Potencia térmica máxima:** 58,7 MW (110 % de la capacidad máxima de diseño).
- **Temperatura mínima de los gases:** >850 °C, garantizando combustión completa.
- **Tiempo mínimo de residencia de los gases:** >2 segundos.
- **Contenido de inquemados en escorias:** <3 %.

Estas condiciones cumplen estrictamente con el artículo 39 del Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre, por el que aprueba el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación, asegurando una combustión eficiente y segura.

b. Caldera de recuperación

El calor generado en los hornos se aprovecha en una **caldera acuotubular horizontal de circulación natural**, diseñada para maximizar la eficiencia energética.

Parámetros clave por línea:

- **Presión del vapor:** 61,5 bar.
- **Temperatura del vapor:** 422 °C.



- **Producción de vapor:** 58,4 t/h.
- **Temperatura de salida de gases:** 165 °C.

El diseño horizontal facilita el mantenimiento, mejora la disponibilidad de la planta y reduce el riesgo de incrustaciones en el interior de la caldera.

c. *Sistema integral de depuración de gases*

Para garantizar una contabilización precisa de las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes atmosféricos, la instalación emplea un sistema integral de depuración de gases en cuatro etapas, que combina técnicas físicas y químicas:

1. **Reactor semiseco de absorción.**
2. **Filtro de mangas.**
3. **Scrubber húmedo.**
4. **Reducción Catalítica Selectiva (SCR).**

Cada etapa contribuye de manera específica a la reducción de contaminantes, permitiendo vincular directamente los flujos de salida con los factores de emisión utilizados en el cálculo de la huella de carbono.

La siguiente tabla resume la tecnología empleada, los contaminantes tratados, la eficiencia de captura y el impacto estimado en las emisiones reportadas, facilitando la trazabilidad y la interpretación de los resultados:

Tabla 3. Etapas del sistema integral de depuración de gases y características principales (Fuente: elaboración propia a partir de la información del Proyecto Administrativo Básico)

Etapas	Objetivo principal	Reactivo / Tecnología	Contaminante principal	Eficiencia de captura	Impacto en huella de carbono
Reactor semiseco de absorción	Neutralizar gases ácidos y fijar contaminantes persistentes	Ca(OH) ₂ o NaHCO ₃ + carbón activo	HCl, HF, SO ₂ , PCDD/F, metales	>98%	Reduce emisiones directas (Alcance 1) de gases ácidos y contaminantes persistentes; permite aplicar factores de emisión precisos.
Filtro de mangas	Retener partículas y sales de reacción	PTFE expandido + pulsos aire	Partículas y sales de reacción	>99,9%	Evita emisiones difusas; mejora trazabilidad en inventario GEI.
Scrubber húmedo	Neutralizar gases ácidos residuales	NaOH 50%	HCl residual, SO ₂ residual	>95% adicional	Neutraliza gases ácidos remanentes, reduciendo emisiones indirectas en inventario.
Reducción Catalítica Selectiva (SCR)	Reducir óxidos de nitrógeno	NH ₄ OH 25%, catalizador TiO ₂ + V ₂ O ₅ + WO ₃	NOx	>90%	Reduce emisiones de NOx y N ₂ O; permite calcular correctamente el factor de emisión de óxidos de nitrógeno.



Gracias a estas cuatro etapas, la planta asegura que todas las emisiones contaminantes se mantienen en el extremo inferior del rango MTD, garantizando un funcionamiento seguro y sostenible desde el punto de vista ambiental, y proporcionando una base sólida para el cálculo de la huella de carbono del proyecto.

La caracterización de la fase de funcionamiento se ha contrastado asimismo con el estudio específico de modelización de dispersión atmosférica elaborado para el proyecto, en el que se definen los parámetros principales del foco emisor y de la línea de tratamiento de gases. En particular, dicho estudio considera dos líneas de valorización energética con evacuación a través de una chimenea de 70 m de altura, con dos conductos independientes de 2 m de diámetro, una temperatura de salida de gases de 135 °C, un contenido de oxígeno del 9,42 %, una humedad del 17,9 % y un caudal real de gases depurados de 46,004 m³/s por línea, en coherencia con la configuración tecnológica adoptada para la instalación.

Prestaciones ambientales garantizadas

La instalación garantiza unas concentraciones de emisión correspondientes al valor inferior de los Niveles de Emisión Asociados a las MTDs. Su modelización matemática ha validado que, con la altura geométrica de 70 metros empleada para los focos emisores, se garantizan en inmisión los criterios de calidad del aire legalmente establecidos, e incluso los más restrictivos previstos para 2030. Todas las concentraciones de emisión indicadas se expresan en condiciones normalizadas y referidas a un contenido de oxígeno del 11 %, conforme a la normativa aplicable a instalaciones de valorización energética, lo que garantiza la correcta comparación con los niveles de emisión asociados a las MTD.

Tabla 4. Límites de las MTD y garantías de emisiones reales de la instalación del Centro de Tratamiento de Residuos "Jarama" (Fuente: elaboración propia a partir de la información del Estudio de Dispersión Atmosférica elaborado por Fitchner)

Contaminante	Umbral inferior de los NEAs MTDs (mg/Nm ³) normalizadas al 11%	Umbral superior de los NEAs MTDs (mg/Nm ³) normalizadas al 11%	Emisiones mg/Nm ³ corregidas al 9,54% de O ₂
NOx (como NO ₂)	50	120	57,9
PM10	1	5	1,158
PM2,5	1	5	1,158
SO ₂	5	30	5,79
CO	10	50	11,58
Benceno (COV)	0,03	0,10	0,03474
Benzo(a)pireno	0,000003	0,00001	0,000003474
NH ₃	2	10	2,316
HCl	2	6	2,316
HF	<1	1	1,158
Hg	0,005	0,020	0,00579
Pb	0,0068	0,05	0,0078744



Contaminante	Umbral inferior de los NEAs MTDs (mg/Nm ³) normalizadas al 11%	Umbral superior de los NEAs MTDs (mg/Nm ³) normalizadas al 11%	Emisiones mg/Nm ³ corregidas al 9,54% de O ₂
As	0,00068	0,05	0,00078744
Cd	0,0016	0,02	0,0018528
Ni	0,0025	0,05	0,002895
PCDD/F	0,00000001	0,00000004	0,00000001158

3.2. DATOS ENERGÉTICOS

3.2.1. Producción energética

La instalación genera energía eléctrica mediante el aprovechamiento de la energía contenida en los residuos en un ciclo agua-vapor. El vapor producido en las calderas, a **61,5 bar y 422 °C**, se conduce a una turbina de vapor multietapa, donde se transforma parcialmente en energía eléctrica. La instalación dispone de una **potencia eléctrica bruta de 27 MW**, alcanzando una producción eléctrica anual estimada de **216.000 MWh/año**.

De forma complementaria, el proyecto incorpora un sistema de **generación solar fotovoltaica**, distribuido sobre la cubierta de la planta de pretratamiento, la plataforma de descarga y las marquesinas de las zonas de aparcamiento. La instalación contará con una potencia pico aproximada de **2,2 MWp** y una producción eléctrica estimada de **3.200 MWh/año**, destinada al autoconsumo del Centro de Tratamiento de Residuos "Jarama".

Considerando la configuración energética prevista, el **autoconsumo eléctrico total de la instalación se estima en 35.084 MWh/año**, mientras que la **energía eléctrica neta exportable a la red asciende a aproximadamente 180.916 MWh/año**. Estos valores constituyen la referencia para la cuantificación de las emisiones asociadas al consumo eléctrico y de las emisiones evitadas por la exportación de electricidad a la red.

El consumo anual de gasóleo de diseño asciende a **260.000 L/año**, destinado a los quemadores auxiliares de la Planta de Valorización Energética y al grupo electrógeno de emergencia. La maquinaria móvil interna prevista será eléctrica, por lo que no se considera consumo de gasóleo asociado a estos equipos.

El **índice de eficiencia energética R1** de la instalación se ha calculado conforme al Anexo II de la **Directiva 2008/98/CE**, considerando los parámetros de diseño y balances energéticos de la Planta de Valorización Energética. El cálculo proporciona un valor de **R1 = 0,6703 sin corrección climática**. Para Titulcia se obtiene un valor de 1.600,5 grados-día de calefacción (HDD), por lo que resulta de aplicación un factor climático de **1,12**, obteniéndose un **R1 corregido de 0,751**.

Ambos valores superan el umbral mínimo de **R1 ≥ 0,65** establecido para las instalaciones autorizadas con posterioridad al 31 de diciembre de 2008, por lo que la Planta de Valorización Energética puede considerarse una instalación de **valorización energética (operación R1)**.



3.2.2. Distribución del autoconsumo

En el Centro de Tratamiento de Residuos "Jarama", una parte de la energía eléctrica producida se destina a cubrir los consumos propios de la Planta de Valorización Energética, la planta de pretratamiento y los sistemas y servicios auxiliares de la instalación.

La PVE presenta una producción eléctrica bruta estimada de **216.000 MWh/año**. Adicionalmente, la instalación fotovoltaica prevista aportará aproximadamente **3.200 MWh/año**, destinados al autoconsumo. Considerando esta aportación renovable y el conjunto de consumos internos, el Proyecto Técnico establece un **autoconsumo eléctrico total de 35.084 MWh/año**, equivalente aproximadamente al **16,2 % de la producción eléctrica de la PVE**.

Dentro de estos consumos, la **planta de pretratamiento** dispone de una potencia instalada de **950 kW** y una potencia media estimada de **724 kW**. Considerando un régimen de funcionamiento de **3.500 h/año**, su consumo eléctrico anual se estima en **2.534 MWh/año**, integrado dentro del autoconsumo global de la instalación.

Como resultado del balance energético previsto, la **energía eléctrica neta exportable a la red se estima en 180.916 MWh/año**. Asimismo, para determinadas situaciones de operación, principalmente arranques, paradas y determinados servicios auxiliares, se prevé un **consumo de energía eléctrica procedente de la red de 3.132 MWh/año**.

La siguiente tabla resume los principales flujos eléctricos considerados en el estudio de huella de carbono.

Tabla 5. Balance energético anual del Centro de Tratamiento de Residuos "Jarama" (Fuente: elaboración propia a partir de la información del Proyecto Técnico Administrativo)

Concepto	Valor
Energía eléctrica generada en la PVE	216.000 MWh/año
Generación eléctrica fotovoltaica	3.200 MWh/año
Autoconsumo total de la instalación	35.084 MWh/año
Energía eléctrica neta exportable a la red	180.916 MWh/año
Consumo de energía eléctrica de la red	3.132 MWh/año

3.2.3. Consumos energéticos

Los principales consumos energéticos de la instalación se encuentran asociados al funcionamiento de la Planta de Valorización Energética (PVE), la planta de pretratamiento y los sistemas y servicios auxiliares.

De acuerdo con el Proyecto Técnico Administrativo, los principales consumos eléctricos internos corresponden a la **planta de pretratamiento, los servicios comunes, las dos líneas**



horno-caldera y sus sistemas de depuración de gases, y el ciclo agua-vapor. El Proyecto estima un consumo eléctrico anual asociado a estos sistemas de aproximadamente **21.672 MWh/año**.

En particular, la **planta de pretratamiento** presenta una potencia instalada de **950 kW** y un consumo medio estimado de **724 kW**. Para un funcionamiento previsto de **3.500 h/año**, su consumo eléctrico anual se estima en **2.534 MWh/año**.

A estos consumos se añaden los correspondientes a otros sistemas y servicios auxiliares de la instalación. Considerando el conjunto de la instalación y la aportación de la generación solar fotovoltaica, el Proyecto establece finalmente un **autoconsumo eléctrico total de 35.084 MWh/año**. La generación fotovoltaica, estimada en **3.200 MWh/año**, se destina íntegramente al autoconsumo, reduciendo la demanda interna que debe ser cubierta mediante la electricidad generada por la PVE.

Por otro lado, se contempla un consumo de electricidad procedente de la red de **3.132 MWh/año**, de los cuales **182 MWh/año** corresponden a los procesos de arranque y parada de la PVE y **2.950 MWh/año** a áreas y servicios comunes. Este consumo constituye el dato de actividad empleado para la determinación de las emisiones indirectas asociadas a la electricidad adquirida (**Alcance 2**) en el presente estudio de huella de carbono.

3.3. MATERIAS PRIMAS Y AUXILIARES

La operación de la planta requiere tanto **residuos como materias auxiliares**:

Residuos

- Residuos industriales asimilables a domésticos (RAD)
- Rechazos de plantas de tratamiento
- Combustible Derivado de Residuo (CDR)

Todos se emplean como combustible para la valorización energética y para pretratamiento y recuperación de materiales reciclables.

Materias auxiliares

Se utilizan principalmente en procesos de depuración de gases y tratamiento de aguas, con los siguientes consumos anuales aproximados:

- **Hidróxido cálcico:** 5.540 t
- **Bicarbonato sódico:** 6.320 t
- **Carbón activo:** 120 t
- **Hidróxido sódico:** 320 t
- **Amoníaco diluido al 25%:** 960 t
- **Ácido clorhídrico al 36%:** 40 m³
- **Secuestrantes:** 15 t
- **Antiincrustantes:** 3,5 t



- **Aceite para turbina:** 7,5 m³ cada 3 años
- **Aceite para motogeneradores:** 50 litros

Su almacenamiento y manipulación se realiza siguiendo la normativa vigente de productos químicos, con medidas de seguridad y control de emisiones de polvo o líquidos.

En conjunto, estas materias auxiliares resultan necesarias para la operación segura y eficiente de la instalación. Aunque no constituyen una fuente principal de emisiones directas de gases de efecto invernadero dentro de la planta, sí representan una contribución indirecta relevante en el Alcance 3, asociada a su fabricación, acondicionamiento y transporte hasta la instalación, especialmente en el caso de los reactivos empleados en la depuración de gases.



4. INVENTARIO DE FUENTES DE EMISIÓN GEI

4.1. ALCANCE 1: EMISIONES DIRECTAS

4.1.1. Combustión (gasóleo)

La combustión de gasóleo constituye una de las fuentes directas de emisiones de gases de efecto invernadero de la instalación. Este combustible se utiliza en diversos procesos operativos esenciales para garantizar la continuidad, seguridad y estabilidad térmica del sistema de valorización energética. Tal como se detalla en el Proyecto Técnico y en el *Anexo 01 – Dimensionado y cálculos justificativos*, los consumos de gasóleo se distribuyen entre los siguientes usos:

- **Quemadores auxiliares de la PVE**, empleados para:
 - Mantener las condiciones óptimas de combustión durante la operación.
 - Realizar los arranques y paradas de las líneas de combustión.
- **Grupo electrógeno de emergencia**, cuya función es garantizar el suministro eléctrico en caso de fallo de red, permitiendo realizar paradas seguras y mantener operativos los sistemas críticos.

La **maquinaria móvil interna no se considera como fuente de consumo de gasóleo**, dado que los equipos previstos para las operaciones internas de movimiento y manipulación de materiales y otras operaciones auxiliares serán **eléctricos**. En consecuencia, su consumo energético no genera emisiones directas de combustión correspondientes al Alcance 1.

Estos consumos han sido calculados de forma detallada en el Anexo 01 del proyecto y se consolidan como un **único valor anual de consumo**, que constituye el dato de actividad empleado en el inventario de emisiones GEI del Alcance 1.

En respuesta al requerimiento de información complementaria emitido por la Consejería de Medio Ambiente, Agricultura e Interior de la Comunidad de Madrid con fecha 6 de agosto de 2026, en el que se solicita que *“deberán considerarse las emisiones generadas por el grupo electrógeno de emergencia en la estimación de las emisiones totales de la planta en base a las horas de funcionamiento anuales previstas de este equipo (mantenimiento y fallos de suministro eléctrico)”*, se han incorporado expresamente al presente estudio las emisiones asociadas al funcionamiento previsto del grupo electrógeno de emergencia.

A tal efecto, se ha considerado su consumo anual estimado de gasóleo, determinado a partir de las horas de funcionamiento previstas tanto para las operaciones periódicas de mantenimiento y prueba como para eventuales situaciones de fallo del suministro eléctrico. De acuerdo con el Proyecto Técnico, se prevé un funcionamiento de **18 h/año**, correspondientes a **6 h/año de pruebas periódicas** y **12 h/año por posibles fallos del suministro eléctrico**, con un consumo anual estimado de **6.748 litros de gasóleo/año**. Dicho consumo se integra, junto con el correspondiente a los quemadores auxiliares de la Planta de Valorización Energética, en el consumo anual total de gasóleo considerado para el cálculo de las emisiones directas del Alcance 1.

A partir de los consumos de diseño considerados en el Proyecto Técnico, el **consumo anual de gasóleo de la instalación** se estima según el siguiente desglose:



Tabla 6. Consumo anual de gasóleo por proceso (Fuente: elaboración propia a partir de la información del Proyecto Técnico Administrativo)

Proceso	Consumo (L/año)
Quemadores auxiliares para mantenimiento de condiciones óptimas de valorización energética	152.471
Quemadores auxiliares para arranques y paradas	88.492
Suministro de energía de emergencia	6.748
Margen de seguridad (5%)	12.296
Consumo total de diseño (valor redondeado)	260.000

El cálculo de las emisiones asociadas al uso de gasóleo se realiza a partir del **consumo anual consolidado de 260.000 L/año** indicado anteriormente. A este dato de actividad se le aplican los **factores de emisión oficiales de MITECO (2024)** para CO₂, CH₄ y N₂O, junto con los **potenciales de calentamiento global del IPCC AR6**, obteniéndose así las emisiones expresadas en CO₂ equivalente. El resultado de estos cálculos se presenta a continuación, desglosado por cada uno de los gases y con su conversión correspondiente a CO₂e.

Cabe señalar que el margen de seguridad del 5 % no constituye un uso adicional de combustible asociado a un proceso independiente, sino una previsión conservadora incorporada al consumo anual de diseño de la instalación.

Dato de actividad (proyecto): consumo total de gasóleo = 260.000 L/año.

Factores de emisión (MITECO 2024, indicados en el documento):

- CO₂: 2,67 kg CO₂/L
- CH₄: 0,003 kg CH₄/L
- N₂O: 0,0006 kg N₂O/L

$$\text{CO}_2 = 260.000 \text{ L} \cdot 2,67 \text{ kg CO}_2/\text{L} = 694.200 \text{ kg CO}_2 = \mathbf{694,20 \text{ t CO}_2}$$

$$\text{CH}_4 = 260.000 \text{ L} \cdot 0,003 \text{ kg CH}_4/\text{L} = 780 \text{ kg CH}_4 = \mathbf{0,780 \text{ t CH}_4}$$

$$\text{N}_2\text{O} = 260.000 \text{ L} \cdot 0,0006 \text{ kg N}_2\text{O}/\text{L} = 156 \text{ kg N}_2\text{O} = \mathbf{0,156 \text{ t N}_2\text{O}}$$

Para convertir la cantidad de CH₄ y N₂O a CO₂ equivalente se aplican los PCG100 AR6 (IPCC AR6):

- $GWP_{100}(\text{CH}_4) = 27,2$
- $GWP_{100}(\text{N}_2\text{O}) = 273$

$$\text{CH}_4(\text{CO}_2\text{e}) = 780 \text{ kg CH}_4 \cdot 27,2 = 21.216 \text{ kg CO}_2\text{e} = \mathbf{21,22 \text{ t CO}_2\text{e}}$$

$$\text{N}_2\text{O}(\text{CO}_2\text{e}) = 156 \text{ kg N}_2\text{O} \cdot 273 = 42.588 \text{ kg CO}_2\text{e} = \mathbf{42,59 \text{ t CO}_2\text{e}}$$

TOTAL EMISIONES POR COMBUSTIÓN DE GASÓLEO

$$\text{CO}_2\text{ total} = \text{CO}_2 + \text{CH}_4(\text{CO}_2\text{e}) + \text{N}_2\text{O}(\text{CO}_2\text{e}) = 694,20 + 21,22 + 42,59 = \mathbf{758,00 \text{ t CO}_2\text{e/año}}$$



Por tanto, la combustión de gasóleo supone unas emisiones directas estimadas de **758,00 t CO₂e/año**. Este valor representa la contribución total del gasóleo consumido por los **quemadores auxiliares y el grupo electrógeno de emergencia** a las emisiones directas de la instalación.

Una vez determinado este bloque de emisiones directas asociadas al uso de combustible auxiliar, el inventario del Alcance 1 se completa con las emisiones derivadas del propio proceso de valorización energética, es decir, aquellas generadas por la propia combustión del residuo en los hornos (CO₂ fósil, CH₄ y N₂O), cuya magnitud depende de la composición del residuo y de las condiciones de operación del sistema térmico.

4.1.2. Emisiones de proceso (combustión de residuos)

Las emisiones de proceso representan la fracción más significativa del Alcance 1 en una planta de valorización energética, ya que proceden directamente de la **combustión del residuo en los hornos**. A diferencia de las emisiones derivadas del uso de gasóleo, estas emisiones no dependen del consumo de un combustible auxiliar, sino de la **composición del residuo**, su **contenido en carbono fósil**, el **rendimiento de combustión** y las **condiciones operativas del sistema térmico**. Dentro de este grupo se incluyen tres gases de efecto invernadero: **CO₂ fósil**, **CH₄** y **N₂O**, cada uno con mecanismos de formación y relevancia climática distintos.

La planta valoriza energéticamente 300.000 t/año de residuos. Los parámetros adoptados para el cálculo (contenido en carbono, fracción fósil y humedad) se han seleccionado en ausencia de análisis elemental específico del residuo (CHNS), a partir de valores por defecto representativos para residuos municipales y asimilables, en línea con las Directrices del IPCC (2006, Volumen 5: Waste, Capítulo 5: Waste Incineration) y su Refinamiento de 2019, así como con literatura técnica sectorial.

Este enfoque permite garantizar la coherencia metodológica del cálculo y su comparabilidad con inventarios internacionales, adoptando hipótesis conservadoras que evitan la infraestimación de las emisiones.



La emisión de CO₂ procedente de la combustión de los residuos en los hornos de la PVE se calcula a partir del **carbono fósil contenido en el residuo**, siguiendo la metodología del IPCC (2006).

La fórmula general aplicada es:

$$CO_2 = M \times (1 - H) \times C \times F_f \times FO \times \frac{44}{12}$$

Donde:

- **M** = masa anual de residuo tratado (t/año)
- **H** = fracción de humedad del residuo (t agua / t residuo húmedo)
(1 - H) → Corrección por humedad
El residuo contiene agua que no genera CO₂.
Si la humedad es 25 %, solo el 75 % es materia seca.
- **C** = fracción de carbono total en base seca (t C / t residuo seco)
Indica cuánto carbono contiene el residuo seco.
Se adopta un 30 % en ausencia de análisis elemental.
- **F_f** = fracción fósil del carbono (adimensional)
No todo el carbono genera emisiones fósiles.
El carbono biogénico (papel, madera, orgánico) no se contabiliza como CO₂ fósil.
Se adopta 25 % como valor conservador.
- **FO** = factor de oxidación (porcentaje de carbono realmente oxidado en la combustión)
Representa el porcentaje de carbono que realmente se convierte en CO₂.
En valorización energética moderna se asume 99 %.
- **44/12** = factor estequiométrico de conversión de carbono (C) a dióxido de carbono (CO₂)
El carbono tiene peso molecular 12.
El CO₂ tiene peso molecular 44.
Por cada tonelada de carbono oxidado se generan 3,67 t de CO₂.

Cálculo:

$$\begin{aligned} \text{Masa seca} &= 300.000 \times 0,75 = \mathbf{225.000 \text{ t/año}} \\ \text{CO}_2 \text{ fósil} &= 225.000 \times 0,30 \times 0,25 \times 0,99 \times (44/12) \\ \text{Resultado:} \\ &\mathbf{61.256 \text{ t CO}_2/\text{año}} \end{aligned}$$

En ausencia de análisis elemental específico del residuo (CHNS), se ha optado por un enfoque conservador basado en rangos típicos, garantizando que la estimación no infravalore las emisiones reales del sistema.

En particular, la fracción fósil del carbono se ha fijado en un 25 %, valor coherente con la presencia de plásticos y materiales sintéticos en la corriente de residuos, y alineado con referencias técnicas empleadas en instalaciones europeas de valorización energética.

Este enfoque asegura la consistencia metodológica del cálculo y su adecuación a los estándares internacionales aplicables.

En relación con las emisiones de N₂O asociadas a la combustión de residuos, estas se consideran no significativas en el contexto de la instalación analizada. De acuerdo con las Directrices del IPCC (2006) y el EMEP/EEA Guidebook (2023), las emisiones de N₂O en



instalaciones modernas de valorización energética con control de temperatura ($>850\text{ }^{\circ}\text{C}$) y sistemas avanzados de depuración (SCR) presentan factores de emisión muy bajos (inferiores a $0,01\text{ kg N}_2\text{O}$ por tonelada de residuo tratado).

En consecuencia, y dado su impacto marginal en el balance global de emisiones, no se han incluido explícitamente en el inventario, sin que ello afecte de forma significativa a la precisión del resultado. La exclusión de estas emisiones se considera consistente con su contribución inferior al 1 % del total estimado del Alcance 1.

4.1.3. Emisiones difusas

El sistema de Reducción Catalítica Selectiva (SCR) no constituye una fuente significativa de emisiones de gases de efecto invernadero. El posible escape de amoníaco (NH_3), conocido como "slip", no se incluye en el inventario al no tratarse de un gas de efecto invernadero.

En consecuencia, **las emisiones difusas asociadas al sistema de depuración se consideran no significativas en el balance global del proyecto.**

4.1.4. Resumen del Alcance 1: emisiones directas

Las emisiones directas de gases de efecto invernadero incluidas en el **Alcance 1** corresponden a aquellas generadas en fuentes que son propiedad de la instalación o están bajo su control operacional directo. En el caso del Centro de Tratamiento de Residuos "Jarama", estas emisiones proceden fundamentalmente de dos procesos: la combustión de combustibles auxiliares y la combustión del residuo tratado en los hornos de valorización energética.

En primer lugar, se han cuantificado las emisiones asociadas al consumo de gasóleo empleado en los **quemadores auxiliares y en el grupo electrógeno de emergencia**. La maquinaria móvil interna prevista será de accionamiento eléctrico y, por tanto, no genera emisiones directas asociadas al consumo de gasóleo. A partir del consumo anual consolidado de **260.000 litros de gasóleo**, y aplicando los factores de emisión considerados en el presente estudio, se obtienen unas emisiones totales de **758,00 toneladas de CO_2 equivalente al año**. Estas emisiones incluyen dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), convertidos a CO_2 equivalente mediante los potenciales de calentamiento global establecidos en el Sexto Informe de Evaluación del IPCC.

La segunda fuente de emisiones directas corresponde a las **emisiones de proceso derivadas de la combustión de residuos** en los hornos de la planta. Estas emisiones se han estimado siguiendo la metodología propuesta por el IPCC para instalaciones de valorización energética, considerando el contenido medio de carbono del residuo, su fracción fósil, la humedad media del combustible residual y el grado de oxidación durante la combustión.

Aplicando estos parámetros al volumen anual de **300.000 toneladas de residuos no peligrosos valorizados energéticamente**, se obtiene una emisión anual estimada de **61.256 toneladas de CO_2 fósil**. Este valor representa exclusivamente la fracción fósil del carbono contenido en los residuos, ya que el carbono de origen biogénico no se contabiliza dentro del inventario de emisiones de gases de efecto invernadero conforme a las metodologías internacionales.

En relación con las posibles **emisiones difusas**, el análisis del proceso de depuración de gases indica que el sistema de Reducción Catalítica Selectiva (SCR) empleado en la instalación transforma los óxidos de nitrógeno en nitrógeno molecular y vapor de agua, sin generar gases de efecto invernadero relevantes. El posible escape de amoníaco (NH_3), conocido como *slip* de



amoníaco, no se considera en el inventario de emisiones dado que este compuesto no posee potencial de calentamiento global.

Como resultado, las emisiones difusas asociadas al sistema SCR se consideran **no significativas** dentro del balance de la huella de carbono del proyecto.

En conjunto, las emisiones directas del Alcance 1 ascienden aproximadamente a **62.014 t CO₂ equivalente al año**, siendo la combustión del residuo el principal contribuyente dentro de este alcance.

4.2. ALCANCE 2: EMISIONES INDIRECTAS POR ELECTRICIDAD

El Alcance 2 recoge las emisiones indirectas asociadas al consumo de electricidad adquirida de la red. En el caso de la instalación, este suministro externo se utiliza únicamente en situaciones en las que el Centro de Tratamiento de Residuos "Jarama" no está generando electricidad o cuando determinados equipos auxiliares requieren alimentación independiente. El consumo anual procedente de la red asciende a **3.132 MWh/año**.

Los principales usos de esta electricidad son:

- **Arranques y paradas de la PVE:** durante estas fases la planta necesita energía externa para activar los sistemas previos a la combustión, garantizar la seguridad operativa y realizar un apagado controlado. Este consumo representa **182 MWh/año**.
- **Servicios comunes y auxiliares:** incluyen iluminación, sistemas de control, bombeos, ventilación, climatización y otros equipos que deben mantenerse operativos incluso cuando la planta no está exportando energía. Su consumo total es de **2.950 MWh/año**.

Para la cuantificación de las emisiones asociadas a este consumo se aplica el **factor de emisión del mix eléctrico peninsular español de 2023**, establecido en **0,187 t CO₂/MWh**. Este valor permite estimar el impacto ambiental derivado de la electricidad adquirida a la red y calcular las emisiones indirectas correspondientes al Alcance 2.

La aplicación del factor de emisión del mix eléctrico peninsular español de 2023, fijado en **0,187 t CO₂/MWh**, permite cuantificar el impacto ambiental asociado a la electricidad adquirida de la red. Considerando un consumo anual de **3.132 MWh**, las emisiones indirectas derivadas de este suministro ascienden a **aproximadamente 586 t CO₂/año**. Este valor representa la contribución del consumo eléctrico externo al Alcance 2 de la instalación.

EMISIONES INDIRECTAS DE ALCANCE 2

Emisiones = 3.132 MWh/año × 0,187 t CO₂/MWh;

Emisiones por consumo de electricidad comprada a red = 585,68 t CO₂/año

4.3. ALCANCE 3: EMISIONES INDIRECTAS DE LA CADENA DE VALOR

El Alcance 3 recoge las emisiones indirectas relevantes de la cadena de valor asociada al funcionamiento del proyecto, cuya cuantificación ha podido realizarse con el grado de detalle disponible en la presente fase. En este contexto, se incluyen tanto las emisiones logísticas asociadas al transporte de residuos, subproductos y materiales recuperados, como las derivadas de la fabricación y suministro de los reactivos químicos empleados en la instalación.



Las emisiones asociadas a la fase de construcción han sido identificadas como potencialmente relevantes desde un punto de vista conceptual, pero no se incorporan al inventario cuantificado debido a la ausencia de información suficientemente desagregada en esta fase del proyecto.

En el contexto de una instalación de valorización energética de residuos, las fuentes más relevantes de este alcance están relacionadas con:

- *Transporte de residuos hasta la planta para su pretratamiento y/o valorización.*
- *Transporte de escorias generadas durante el proceso de combustión hasta instalaciones de valorización o tratamiento.*
- *Transporte de cenizas y residuos del sistema de depuración de gases a gestores.*
- *Transporte de materiales recuperados en la planta de pretratamiento hacia instalaciones de reciclaje.*
- *Fabricación y transporte de reactivos y productos químicos (cal hidratada, bicarbonato sódico, carbón activo, hidróxido sódico, amoníaco diluido).*
- *Emisiones asociadas a la fase de construcción de la instalación (no cuantificadas en esta fase).*

*Nota metodológica: El Alcance 3 no se limita al transporte de insumos y subproductos. También incluye las emisiones generadas durante la **fabricación, transporte y acondicionamiento de los reactivos químicos** que se emplean en la planta, ya que estas emisiones forman parte de la **huella de carbono completa de la cadena de valor**. Esto es especialmente relevante para la depuración de gases, donde los reactivos (cal hidratada, bicarbonato sódico, carbón activo, etc.) representan la mayor parte de las emisiones indirectas.*

Estas actividades se desarrollan fuera del control operacional directo del titular de la instalación, pero son necesarias para el funcionamiento del sistema y, por tanto, deben considerarse para obtener una estimación completa de la huella de carbono del proyecto.

Dado que el presente estudio tiene como objetivo proporcionar una **estimación sencilla y comprensible**, se han aplicado hipótesis representativas del sector basadas en los datos disponibles en el Proyecto Técnico Administrativo.

Para todos los cálculos de transporte se adopta un **escenario conservador en el que el 100 % de los desplazamientos se realizan mediante camiones de 20 toneladas de capacidad**, que constituye el tipo de vehículo más habitual en el transporte de residuos y materiales industriales.

Se considera asimismo que los camiones realizan **trayecto completo ida y vuelta**, por lo que el kilometraje total incluye ambos recorridos.

Los factores de emisión empleados en el presente estudio se expresan en unidades de kg CO₂/t·km, en coherencia con el enfoque metodológico adoptado. Estos valores son equivalentes a los factores expresados por vehículo-kilómetro utilizados en literatura técnica, ajustados en función de la carga media del vehículo, evitando inconsistencias en la cuantificación.

4.3.1. Transporte de residuos a planta

El transporte de residuos constituye una de las principales fuentes de emisiones indirectas del Alcance 3, al estar asociado a la logística de suministro de materia prima desde los puntos de generación hasta la instalación.



En el presente estudio, la estimación de estas emisiones se ha realizado a partir de datos específicos de procedencia, volúmenes transportados y distancias reales de transporte, diferenciando entre residuos de origen público y residuos de origen privado. Este enfoque permite sustituir el uso de distancias medias teóricas por un análisis basado en condiciones logísticas reales del proyecto, mejorando significativamente la representatividad del cálculo.

Caracterización de los flujos de transporte

Se han identificado dos grandes flujos de entrada a la instalación:

a) Residuos de origen público (pretratados)

- Cantidad anual: 160.500 t
- Número de vehículos: 8.025 vehículos/año
- Distancia media ponderada (solo ida): 29,9 km

b) Residuos de origen privado

- Cantidad anual: 150.000 t
- Número de vehículos: 7.500 vehículos/año
- Distancia media ponderada (solo ida): 41,8 km

Metodología de cálculo

Las emisiones se han estimado conforme al enfoque de tonelada-kilómetro (t·km), aplicando un factor de emisión representativo del transporte pesado por carretera:

- **Factor de emisión: 0,09 kg CO₂/t·km** (Fuente: EMEP/EEA Guidebook 2023, valores medios para heavy-duty vehicles)

La fórmula empleada es:

$$\text{Emisiones} = \text{masa transportada} \times \text{distancia} \times 2 \times \text{factor de emisión}$$

Cálculo de emisiones

Residuos de origen público

$$\text{Emisiones} = 160.500 \text{ t} \times 29,9 \text{ km} \times 2 \times 0,09 \text{ kg CO}_2/\text{t}\cdot\text{km}$$

$$\text{Emisiones} = 863,81 \text{ t CO}_2/\text{año}$$

Residuos de origen privado

$$\text{Emisiones} = 150.000 \text{ t} \times 41,8 \text{ km} \times 2 \times 0,09 \text{ kg CO}_2/\text{t}\cdot\text{km}$$

$$\text{Emisiones} = 1.128,60 \text{ t CO}_2/\text{año}$$

$$\text{Emisiones totales del transporte de residuos a planta} = 1.992,41 \text{ t CO}_2/\text{año}$$

Las emisiones totales asociadas al transporte de residuos hasta la planta ascienden a **1.992,41 t CO₂/año**. Si bien se han cuantificado las emisiones asociadas al transporte de residuos dentro del Alcance 3, debe señalarse que estos flujos logísticos son preexistentes al proyecto. En la situación actual, los residuos son transportados hacia otras instalaciones de tratamiento y continuarán siéndolo independientemente de la operación de la PVE. En este sentido, el impacto neto atribuible exclusivamente a la instalación resulta limitado, e incluso puede considerarse marginal o nulo en escenarios de optimización logística a escala regional.



4.3.2. Transporte de escorias

Durante el proceso de combustión se generan **escorias de fondo de horno**, constituidas principalmente por fracciones minerales e inertes no combustibles. De acuerdo con el Proyecto Técnico Administrativo, la producción estimada es de **72.000 toneladas anuales**.

Estas escorias se transportarán a instalaciones autorizadas para su tratamiento y valorización material, pudiendo reutilizarse posteriormente como **árido en aplicaciones de obra civil**, lo que contribuye al principio de economía circular.

A fin de mantener la coherencia metodológica con el resto del Alcance 3, las emisiones asociadas a su transporte se calculan mediante el enfoque de tonelada-kilómetro, considerando una distancia media a la instalación gestora de 100 km en ida y 100 km en vuelta, y un factor de emisión de 0,09 kg CO₂/t·km para transporte pesado por carretera.

$$\text{Emisiones} = 72.000 \text{ t} \times 100 \text{ km} \times 2 \times 0,09 \text{ kg CO}_2/\text{t}\cdot\text{km}$$

$$\text{Emisiones} = 1.296.000 \text{ kg CO}_2/\text{año} = 1.296 \text{ t CO}_2/\text{año}$$

Emisiones del transporte de escorias a gestor = 1.296 t CO₂/año

4.3.3. Transporte de cenizas y residuos del tratamiento de gases

Además de las escorias, el proceso de valorización energética genera **cenizas volantes y residuos del tratamiento de gases**, que incluyen principalmente:

- *Cenizas capturadas en el filtro de mangas.*
- *Sales y subproductos procedentes del reactor semiseco.*
- *Residuos del sistema de depuración de gases.*

Según el Proyecto Técnico, la producción estimada de este flujo se sitúa entre **14.720 y 16.320 toneladas anuales**. Para el presente cálculo se adopta un valor medio representativo de **15.500 t/año**.

Este tipo de residuos requiere **gestión especializada en instalaciones autorizadas**, que habitualmente se localizan a mayor distancia que las instalaciones de tratamiento de escorias.

Dado que estos residuos requieren gestión especializada, se adopta una distancia media de transporte de 200 km en ida y 200 km en vuelta.

Aplicando el mismo enfoque de tonelada-kilómetro y el mismo factor de emisión utilizado en el resto de transportes por carretera:

Emisiones del transporte de cenizas y residuos del tratamiento de gases

$$\text{Emisiones} = 15.500 \text{ t} \times 200 \text{ km} \times 2 \times 0,09 \text{ kg CO}_2/\text{t}\cdot\text{km}$$

$$\text{Emisiones} = 558.000 \text{ kg CO}_2/\text{año} = 558 \text{ t CO}_2/\text{año}$$

Emisiones del transporte de cenizas y residuos del tratamiento de gases =

558 t CO₂/año



4.3.4. Transporte de materiales recuperados

La planta de pretratamiento permite recuperar materiales reciclables antes del proceso de valorización energética. Según el Proyecto Técnico Administrativo, la instalación tiene una capacidad de tratamiento de hasta **160.500 t/año**, si bien el escenario operativo considerado contempla el tratamiento de aproximadamente **150.000 t/año de residuos asimilables a domésticos**.

Durante este proceso se recupera aproximadamente **un 7 % en peso del residuo de entrada**, principalmente en forma de:

- Metales férricos
- Metales no férricos (principalmente aluminio)
- Papel y cartón
- Plásticos (PET y PEAD)

Estos materiales se separan mediante **equipos de clasificación automatizados** (separadores magnéticos, separadores de inducción y separadores ópticos) y posteriormente se envían a **gestores autorizados para su reciclaje**.

La cantidad anual de materiales recuperados se estima aplicando el porcentaje de recuperación al flujo de entrada a la planta de pretratamiento:

$\text{Cantidad recuperada} = \text{Residuo tratado} \times \text{tasa de recuperación}$

$\text{Cantidad recuperada} = 150.000 \text{ t} \times 7 \%$

Material recuperado = 10.500 t/año

Para estimar las emisiones asociadas al transporte de estos materiales hacia las plantas de reciclaje se adoptan las siguientes hipótesis:

- Capacidad media camión: **20 toneladas**
- Distancia media al gestor: **150 km**
- Recorrido completo (ida y vuelta): **300 km**

Cantidad recuperada = 10.500 toneladas

Emisiones del transporte de materiales recuperados

$\text{Emisiones} = 10.500 \text{ t} \times 150 \text{ km} \times 2 \times 0,09 \text{ kg CO}_2/\text{t} \cdot \text{km}$

$\text{Emisiones} = 283.500 \text{ kg CO}_2/\text{año} = 283,50 \text{ t CO}_2/\text{año}$

Emisiones del transporte de materiales recuperados = 283,50 t CO₂/año

4.3.5. Productos químicos y reactivos

Los productos químicos y reactivos utilizados en la depuración de gases y otros procesos auxiliares se cuantifican considerando:

1. **Producción de los insumos:** Incluye la energía, materias primas y emisiones directas asociadas a la fabricación de cada producto.



2. **Transporte y acondicionamiento:** Emisiones asociadas al traslado del producto hasta la planta y su almacenamiento.
3. **Uso en planta:** Las emisiones directas asociadas a la reacción química suelen ser mínimas y, en la mayoría de los casos, se consideran **no significativas**.

El consumo anual y los factores de emisión adoptados se presentan a continuación:

Tabla 7. Consumo anual de reactivos y emisiones asociadas de gases de efecto invernadero

Producto	Consumo anual	Factor de emisión	Emisiones asociadas
Cal hidratada (Ca(OH)_2)	5.540 t	0,74 t CO_2 /t	4.099,60 t CO_2 /año
Bicarbonato sódico (NaHCO_3)	6.320 t	0,58 t CO_2 /t	3.665,60 t CO_2 /año
Carbón activo	120 t	4,2 t CO_2 /t	504,00 t CO_2 /año
Hidróxido sódico (NaOH 50 %)	320 t	1,04 t CO_2 /t	332,80 t CO_2 /año
Amoníaco diluido 25 % (NH_3)	960 t	1,78 t CO_2 /t	1.708,80 t CO_2 /año
EMISIONES TOTALES			10.310,80 t CO_2/año

Nota: otros productos auxiliares (ácido clorhídrico, secuestrantes, antiincrustantes, aceites) se consumen en cantidades limitadas y su contribución a las emisiones es considerada muy baja para la estimación global.

Importante: La inclusión de la fabricación y transporte de estos reactivos permite reflejar de manera más completa la **huella de carbono de la planta**, ya que estas etapas representan la mayor parte de las emisiones indirectas dentro del Alcance 3, mientras que los transportes logísticos de residuos y subproductos, aunque relevantes, aportan un porcentaje menor.

4.3.6. Resumen de emisiones del Alcance 3

Las emisiones del Alcance 3 consideradas en el presente estudio incluyen todas las emisiones indirectas asociadas a la cadena de valor necesaria para el funcionamiento de la planta, no solo las logísticas, sino también aquellas derivadas de la producción y transporte de productos químicos y reactivos utilizados en los procesos de depuración de gases y otros procesos auxiliares.

Estas emisiones se han estimado a partir de las cantidades de residuos, subproductos y reactivos indicadas en el Proyecto Técnico, aplicando hipótesis representativas respecto a capacidades de carga de los vehículos, distancias medias de transporte y factores de emisión para camiones pesados diésel. Para los reactivos, se han utilizado factores de Ecoinvent 3.9 y bases PEF europeas, incluyendo emisiones de proceso, energía y transporte.



El resumen de emisiones estimadas para el Alcance 3 es el siguiente:

Fuente de emisión	Emisiones estimadas
Transporte de residuos a planta	1.992,41 t CO ₂ /año
Transporte de escorias	1.296,00 t CO ₂ /año
Transporte de cenizas y residuos del tratamiento de gases	558,00 t CO ₂ /año
Transporte de materiales recuperados	283,50 t CO ₂ /año
Reactivos químicos y productos auxiliares	10.310,80 t CO ₂ /año
Total emisiones Alcance 3	14.440,71 t CO₂/año

Como se observa, la **mayor contribución del Alcance 3 corresponde a la fabricación y transporte de los reactivos químicos**, mientras que las emisiones logísticas (transporte de residuos y subproductos) representan un porcentaje menor del total. Las emisiones totales del Alcance 3 ascienden a un valor redondeado de **14.441 t CO₂/año**.

En comparación con las emisiones directas del proceso de combustión y del consumo energético de la instalación, las emisiones del Alcance 3 presentan un **peso relativo menor**, aunque su inclusión es clave para reflejar la totalidad de impactos asociados a la operación de la planta.



5. RESULTADOS DE LA HUELLA DE CARBONO

A partir del inventario de fuentes de emisión descrito en los apartados anteriores, se ha realizado la agregación de emisiones de gases de efecto invernadero correspondientes a los tres alcances definidos por el **GHG Protocol**.

El resultado del cálculo de la huella de carbono anual del Proyecto Jarama se resume en la siguiente tabla, donde se redondean los valores de emisiones (t CO₂eq/año):

Alcance	Fuente de emisión	Emisiones (t CO ₂ eq/año)	% del total
Alcance 1	Combustión de residuos (CO ₂ fósil)	61.256	79,5 %
	Combustión de gasóleo	758	1,0 %
	Subtotal Alcance 1	62.014	80,5 %
Alcance 2	Consumo de electricidad de red	586	0,8 %
	Subtotal Alcance 2	586	0,8 %
Alcance 3	Transporte de residuos a planta	1.992	2,6 %
	Transporte de escorias	1.296	1,7 %
	Transporte de cenizas y residuos de depuración	558	0,7 %
	Transporte de materiales recuperados	284	0,4 %
	Reactivos químicos y productos auxiliares	10.311	13,4 %
	Subtotal Alcance 3	14.441	18,8 %
TOTAL HUELLA DE CARBONO		77.041 t CO₂eq/año	100 %

El análisis de los resultados muestra que:

- La **mayor parte de las emisiones** se concentra en el Alcance 1, principalmente por la combustión del residuo, debido al carbono fósil presente en plásticos y otros materiales sintéticos.
- Las emisiones del **Alcance 2**, derivadas del consumo de electricidad de red, son relativamente bajas, representando menos del 1 % del total.
- Las emisiones del **Alcance 3**, incluyendo fabricación y transporte de reactivos, representan aproximadamente el 18,8 % de la huella total. Dentro de este alcance, la **mayor contribución corresponde a los reactivos químicos y productos auxiliares**, mientras que el transporte de residuos y subproductos tiene un peso menor en comparación.

En conjunto, el perfil de emisiones es consistente con otras instalaciones europeas de valorización energética, donde la **combustión del residuo sigue siendo la fuente**



predominante, aunque la inclusión de los reactivos químicos ofrece una visión más completa de la huella de carbono de toda la cadena de valor.

6. EMISIONES EVITADAS DEL PROYECTO

Además de las emisiones directas e indirectas asociadas a su funcionamiento, El Centro de Tratamiento de Residuos "Jarama" genera una serie de **beneficios climáticos indirectos** derivados de la gestión alternativa de los residuos y de la producción de energía.

En particular, la instalación permite evitar emisiones de gases de efecto invernadero mediante dos mecanismos principales:

- **Sustitución de generación eléctrica del sistema eléctrico**, al producir energía a partir de residuos no reciclables.
- **Reducción del vertido de residuos en vertedero**, evitando la generación de CH₄ procedente de la degradación anaerobia de la fracción orgánica.

Estos efectos deben considerarse para evaluar el **balance climático global del sistema de gestión de residuos**, aunque no formen parte del inventario directo de la huella de carbono de la instalación según la metodología del GHG Protocol.

Para su estimación se han aplicado factores de emisión representativos del sistema eléctrico español y del potencial de generación de metano en vertedero según las metodologías del IPCC.

6.1. EMISIONES EVITADAS POR GENERACIÓN ELÉCTRICA

El Centro de Tratamiento de Residuos "Jarama" presenta una **producción anual de electricidad exportada a la red estimada en 180.916 MWh**. Esta energía generada a partir de residuos no reciclables sustituye, en el sistema eléctrico, la producción de electricidad procedente de otras tecnologías de generación.

A efectos de estimar las emisiones evitadas, se adopta un enfoque de sustitución basado en factores marginales, conforme a las buenas prácticas recogidas en el GHG Protocol y en la literatura técnica internacional para la evaluación de sistemas energéticos. Este enfoque considera que la electricidad generada por la instalación desplaza tecnologías de generación convencionales que operan en el margen del sistema eléctrico.

En el contexto del sistema eléctrico peninsular español, y de acuerdo con los análisis de escenarios energéticos publicados por Red Eléctrica de España (REE) y organismos internacionales como la Agencia Internacional de la Energía (IEA), la generación marginal está dominada previsiblemente por ciclos combinados de gas natural en horizontes temporales próximos.

En consecuencia, se adopta un factor de emisión de 0,23 t CO₂/MWh como valor representativo de la generación desplazada, coherente con valores de referencia para ciclos combinados en condiciones reales de operación.

Las emisiones evitadas se calculan mediante la siguiente expresión:

$$\text{Emisiones evitadas} = \text{Energía exportada} \times \text{Factor de sustitución}$$

$$\text{Emisiones evitadas} = 180.916 \text{ MWh} \times 0,23 \text{ t CO}_2/\text{MWh}$$

$$\text{Emisiones evitadas por generación eléctrica exportada a la red} = 41.610 \text{ t CO}_2/\text{año}$$



Este valor se emplea exclusivamente en el marco del balance climático ampliado del sistema, y no forma parte del inventario de emisiones organizacional (Alcances 1, 2 y 3), en coherencia con las directrices del GHG Protocol. Su finalidad es reflejar el efecto comparativo del proyecto sobre el sistema energético, bajo hipótesis explícitas de sustitución de generación convencional.

En consecuencia, el resultado obtenido debe interpretarse como una estimación dependiente del escenario considerado, particularmente del mix de generación marginal del sistema eléctrico, y no como una reducción directa atribuible a la instalación en términos de huella de carbono corporativa.

Este enfoque es coherente con las recomendaciones del GHG Protocol para el análisis de proyectos y evaluación de escenarios, diferenciándose expresamente del inventario corporativo de emisiones.

6.2. EMISIONES EVITADAS POR REDUCCIÓN DEL VERTIDO DE RESIDUOS

El vertido de residuos biodegradables en vertederos genera **metano (CH_4)** como consecuencia de la descomposición anaerobia de la materia orgánica.

El metano posee un **potencial de calentamiento global 27,2 veces superior al CO_2** , por lo que la reducción del vertido constituye una de las principales medidas de mitigación climática en el sector de residuos.

La planta permite valorizar energéticamente **300.000 toneladas anuales de residuos no peligrosos**, evitando su disposición final en vertedero (estimación aproximada basada en factores IPCC). Diversos estudios europeos y guías metodológicas del IPCC (2006, Refinamiento 2019) estiman que el vertido de residuos municipales genera entre 0,8 y 1,2 t CO_2eq por tonelada de residuo, considerando las emisiones de metano a lo largo de la vida útil del vertedero.

La estimación de emisiones evitadas por sustitución del vertido se ha realizado mediante un enfoque simplificado derivado del modelo First Order Decay (FOD) del IPCC (2006, Volumen 5: Waste), que describe la generación de metano a lo largo del tiempo como resultado de la degradación anaerobia de la fracción biodegradable de los residuos.

En ausencia de información específica sobre la composición detallada del residuo, las condiciones de explotación del vertedero o la tasa de captura de biogás, se adopta un factor agregado de **1,0 t CO_2eq por tonelada de residuo**, representativo de valores medios reportados en la literatura técnica internacional para residuos municipales sin recuperación efectiva de metano.

Este valor representa un escenario de referencia sin captación efectiva de metano en vertedero y con condiciones medias de degradación de la fracción biodegradable del residuo. En escenarios con sistemas de captación y aprovechamiento energético del biogás, las emisiones reales podrían ser inferiores. Este valor se considera conservador en ausencia de sistemas de captación y aprovechamiento energético del biogás.

Emisiones evitadas = Residuos tratados × Factor de emisión vertedero

Emisiones evitadas = 300.000 t × 1,0 t $\text{CO}_2\text{eq}/\text{t}$

Emisiones evitadas por evitar vertido = 300.000 t $\text{CO}_2\text{eq}/\text{año}$



6.3. EMISIONES EVITADAS POR RECUPERACIÓN DE MATERIALES

Adicionalmente, la planta de pretratamiento permitirá la recuperación de aproximadamente 10.500 t/año de materiales reciclables (metales, plásticos, papel y cartón), que serán reintroducidos en ciclos productivos. La utilización de estos materiales secundarios en sustitución de materias primas vírgenes conlleva un ahorro significativo de emisiones de gases de efecto invernadero, al evitar los procesos de extracción, transformación y fabricación asociados.

Si bien no se ha cuantificado de forma específica en el presente estudio por depender de las cadenas de reciclaje finales, este efecto constituye un beneficio climático adicional relevante del proyecto, en línea con los principios de economía circular.

7. BALANCE CLIMÁTICO DEL PROYECTO

Las emisiones evitadas se presentan como un indicador de carácter comparativo del sistema de gestión de residuos, y no constituyen reducciones directas atribuibles a la instalación en el marco del inventario organizacional de gases de efecto invernadero.

La consideración conjunta de las emisiones generadas por la operación de la planta y de las emisiones evitadas por la valorización energética permite estimar el **balance climático global del sistema**.

Concepto	Emisiones (t CO ₂ eq/año)
<i>Huella de carbono del proyecto</i>	77.041
<i>Emisiones evitadas por generación eléctrica</i>	-41.610
<i>Emisiones evitadas por evitar vertido</i>	-300.000
Balance climático neto del sistema	-264.569

El resultado indica que, considerando los beneficios asociados a la sustitución del vertido y a la generación de energía, **la instalación presenta un balance climático que resulta netamente favorable bajo las hipótesis de cálculo adoptadas**, evitando aproximadamente **264.569 toneladas de CO₂ equivalente al año**.

Este resultado refleja que la valorización energética de residuos no reciclables constituye una **alternativa climáticamente más favorable que el vertido en el escenario de referencia considerado**, especialmente en contextos donde el residuo contiene fracciones biodegradables susceptibles de generar metano.



8. CONCLUSIONES

El presente estudio ha permitido cuantificar la huella de carbono asociada a la fase de operación del Centro de Tratamiento de Residuos "Jarama", a partir de la identificación y evaluación de las principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero vinculadas al funcionamiento de la instalación, al consumo energético y a las actividades indirectas de la cadena de valor relevantes para el proyecto.

La cuantificación se ha realizado conforme a los principios establecidos en la norma ISO 14064-1:2018, el GHG Protocol, las Directrices del IPCC (2006) y su Refinamiento de 2019, así como a la guía del MITECO para el cálculo de la huella de carbono de organizaciones, lo que garantiza un marco metodológico coherente, trazable y alineado con las referencias técnicas aplicables en el contexto europeo y nacional.

El inventario de emisiones resultante estima una huella de carbono anual de **77.041 t CO₂eq**, distribuida de la siguiente manera:

- **Alcance 1:** 62.014 t CO₂eq/año.
- **Alcance 2:** 586 t CO₂eq/año.
- **Alcance 3:** 14.441 t CO₂eq/año.

El análisis de los resultados pone de manifiesto que las emisiones del Alcance 1 constituyen la principal contribución del inventario, debido fundamentalmente a la fracción fósil del carbono contenido en los residuos tratados. Las emisiones del Alcance 2 presentan un peso reducido, en coherencia con el carácter netamente exportador de energía de la instalación. Por su parte, en el Alcance 3 destaca la contribución asociada a la fabricación y suministro de reactivos utilizados en la depuración de gases, seguida de las emisiones derivadas del transporte de residuos y subproductos.

En relación con las emisiones logísticas, el cálculo se ha basado en datos específicos del proyecto (orígenes, distancias y volúmenes transportados), aplicando de forma homogénea el enfoque de tonelada-kilómetro, lo que permite mejorar la representatividad del inventario frente a aproximaciones genéricas y refuerza la consistencia del análisis.

De forma complementaria al inventario de emisiones, se ha evaluado el efecto de las emisiones evitadas derivadas de la exportación de electricidad a la red y de la sustitución del vertido como opción de gestión finalista. Bajo las hipótesis de cálculo adoptadas, el balance climático del sistema resulta netamente favorable, con una reducción estimada de **264.569 t CO₂eq/año** respecto al escenario de referencia considerado. Este resultado debe interpretarse como un indicador de carácter comparativo del sistema de gestión de residuos, y no como parte integrante de la huella de carbono organizacional.

En conjunto, los resultados obtenidos ponen de manifiesto que el Centro de Tratamiento de Residuos "Jarama" constituye una infraestructura alineada con los principios de la economía circular, la transición energética y la descarbonización promovidos por la normativa europea y nacional, al permitir recuperar materiales, generar energía a partir de la fracción no reciclable de los residuos y reducir de forma significativa las emisiones asociadas a su gestión frente al escenario de referencia basado en el vertido.

De este modo, además de su función como infraestructura estratégica para la gestión sostenible de residuos y la producción de energía, el Centro de Tratamiento de Residuos "Jarama" se



concibe como una instalación preparada para incorporar progresivamente soluciones tecnológicas innovadoras que permitan ampliar su contribución a los objetivos de neutralidad climática, favoreciendo el aprovechamiento del carbono de origen biogénico como recurso para futuras aplicaciones industriales de alto valor añadido.

En este sentido, el Centro de Tratamiento de Residuos "Jarama" representa un modelo de instalación concebida no solo para minimizar su impacto climático, sino también para evolucionar hacia nuevas estrategias de valorización del carbono, contribuyendo a transformar una corriente residual del proceso en un recurso estratégico para la descarbonización de otros sectores productivos.

Finalmente, el presente anexo proporciona una base técnica sólida, coherente y metodológicamente fundamentada para la evaluación de la huella de carbono del proyecto en el marco del procedimiento de Autorización Ambiental Integrada. Asimismo, la coherencia del escenario de funcionamiento considerado ha sido contrastada con el resto de estudios técnicos desarrollados para el proyecto, reforzando la consistencia global de la documentación ambiental y la fiabilidad de los resultados obtenidos.

Madrid, a 07 de septiembre de 2026



ALTACIA CONSULTORÍA
ESTRATÉGICA
MEDIOAMBIENTAL



Padre Damián 40, 2ºA 28036 Madrid_917 647 489 www.altacia.com