



Universidad de Valladolid

Evaluación de la huella de carbono en la nave principal del PCMASA 2



ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

MÁSTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL

MÁSTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Evaluación de la huella de carbono en la nave principal del PCMASA 2 (Parque y Centro de Mantenimiento de Sistemas Acorazados N° 2) y propuesta de descarbonización y minimización de residuos

Autora: Dña. Diana Carolina Riátiga Rodríguez
Tutor 1: Dña. Mónica Coca Sanz
Tutor 2: Comandante María Muñoz Vélez

Valladolid, septiembre, 2025



Universidad de Valladolid

Evaluación de la huella de carbono en la
nave principal del PCMASA 2



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

MÁSTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL

MÁSTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**Evaluación de la huella de carbono en la nave principal del
PCMASA 2 (Parque y Centro de Mantenimiento de Sistemas
Acorazados N° 2) y propuesta de descarbonización y minimización
de residuos**

Autora: Dña. Diana Carolina Riátiga Rodríguez

Tutor 1: Dña. Mónica Coca Sanz

Tutor 2: Comandante María Muñoz Vélez

Valladolid, septiembre, 2025



RESUMEN

Este trabajo evalúa la huella de carbono de la nave principal del PCMASA 2 (Ejército de Tierra) durante 2024, aplicando la metodología del *GHG Protocol* y factores de emisión oficiales. El cálculo total ascendió a 217,69 tCO₂eq, lo que constituye el primer inventario de emisiones realizado en la instalación.

Los resultados indican que el alcance 1 representa el 52% de las emisiones, principalmente por el consumo de gasóleo C en calefacción y fugas de gases refrigerantes. El alcance 3 alcanza el 41%, asociado al transporte del personal, mientras que el alcance 2, vinculado al consumo eléctrico, supone un 7%. En la distribución por equipos, el TOA concentra el 88% de las emisiones, seguido por el ATP (12%).

En cuanto a residuos, su contribución resulta baja, aunque materiales como el caucho, la chatarra metálica y el aceite usado destacan por su mayor impacto ambiental, subrayando la necesidad de reforzar políticas de separación y valorización. Asimismo, la electricidad, pese a su bajo peso relativo, constituye un ámbito clave para mejorar la eficiencia y promover el uso de energías renovables.

Teniendo en cuenta los resultados, se proponen cuatro líneas de acción: digitalización de la gestión ambiental, mejora en la gestión de residuos, transición hacia energías renovables y movilidad sostenible. Finalmente, se recomienda un seguimiento anual y la mejora en la recolección de datos para garantizar inventarios más precisos y estrategias de descarbonización efectivas en el sector defensa.

Palabras clave: Huella de carbono, GHG Protocol, Economía circular, Gestión Ambiental, Ejército de Tierra – MINISDEF.

ABSTRACT

This study evaluates the carbon footprint of the main building of PCMASA 2 (Spain Army) during 2024, applying the *GHG Protocol* methodology and official emission factors. The total calculation amounted to 217.69 tCO₂e, representing the first emission inventory carried out at the facility.

The results show that Scope 1 accounts for 52% of total emissions, mainly due to the use of heating oil (diesel C) and refrigerant gas leaks. Scope 3 represents 41%, largely associated with staff commuting, while Scope 2, related to electricity consumption, contributes 7%. Regarding equipment distribution, the TOA is responsible for 88% of emissions, followed by the ATP (12%).

Waste management showed a minor contribution to the overall footprint; however, materials such as rubber, metal scrap, and used oil presented higher environmental impacts, highlighting the need to strengthen policies on separation and recovery, particularly for hazardous waste. Electricity, although relatively less significant,



remains a strategic area for improving efficiency and promoting renewable energy integration.

Based on these findings, four lines of action are proposed: digitalization of environmental management, improvement of waste management, transition towards renewable energy, and sustainable mobility. Finally, an annual follow-up and improved data collection are recommended to ensure more accurate inventories and effective decarbonization strategies in the defense sector.

Keywords: Carbon footprint, GHG Protocol, Circular economy, environmental management, Land Force – MINISDEF.



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios, por darme la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para culminar.

A mi hijo Sebastián, motor y razón de mi esfuerzo diario, a quien dedico con amor cada logro alcanzado.

A mis tutoras, Mónica Coca y María Muñoz, por su guía, dedicación y ánimo constante durante el desarrollo de este trabajo, aportando sus conocimientos y orientaciones con gran generosidad y disponibilidad.

Al Ejército de Tierra y a la UVA, por brindarme la oportunidad de llevar a cabo este trabajo, permitiéndome crecer tanto en lo personal como en lo profesional.

A mi familia, por su apoyo incondicional y confianza, que han sido pilares fundamentales en todo este proceso.

A mis compañeros de máster, por los momentos compartidos, el aprendizaje conjunto y la motivación que han hecho más enriquecedor este camino.

Finalmente, a mi querida amiga y compañera Johanna, por estar siempre presente, con su compañía, apoyo y amistad sincera en cada etapa del máster.



TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION	8
1.1. CALENTAMIENTO GLOBAL Y EMISIONES DE EFECTO INVERNADERO (GEI) 8	
1.2. CONCEPTO Y DEFINICIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN INSTALACIONES MILITARES	11
1.3. EL IMPACTO DE LOS RESIDUOS Y SU RELACIÓN CON EL CALENTAMIENTO GLOBAL	13
1.4. METODOLOGÍAS DE CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO	14
1.5. MARCO LEGISLATIVO.....	15
1.6. LA DESCARBONIZACIÓN Y LA GESTIÓN DE RESIDUOS EN LA INDUSTRIA MILITAR EN ESPAÑA	17
2. OBJETIVOS	20
2.1. OBJETIVO GENERAL	20
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	20
3. METODOLOGIA.....	21
3.1. DESCRIPCION GENERAL PARQUE Y CENTRO DE MANTENIMIENTO DE SISTEMAS ACORAZADOS (PCMASA 2)	21
3.2. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	21
3.2.1. Fase I. Caracterización del PCMASA 2 (nave principal)	22
3.2.2. Fase II. Definición de límites del estudio	22
3.2.3. Fase III. Cálculo de la Huella de Carbono y factores de emisión	24
3.2.4. Fase V. Selección de los instrumentos de recogida de datos	27
3.2.5. Fase VI. Diseño del Plan acción para la de minimización de residuos y emisiones	27
4. RESULTADOS	29
4.1. DATOS DE ACTIVIDAD	29
4.1.1. Alcance 1: Emisiones directas	29
4.1.2. Alcance 2: Emisiones indirectas por consumo energético	33
4.1.3. Alcance 3: Otras emisiones indirectas	33
4.2. FACTORES DE EMISIÓN APLICADOS	38
4.3. CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO	39
4.3.1. Alcance 1: Emisiones directas	39
4.3.2. Alcance 2: Emisiones indirectas por consumo energético	41
4.3.3. Alcance 3: Otras emisiones indirectas	42



4.3.4.	Huella de carbono total de la organización	46
4.4.	ACCIONES PROPUESTAS PARA DESCARBONIZACIÓN Y MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS EN LA NAVE PRINCIPAL	49
5.	CONCLUSIONES.....	58
6.	REFERENCIAS.....	60
7.	ANEXOS	64
	ANEXO 1: CALCULADORA HUELLA DE CARBONO (SINTESIS).....	65
	ANEXO 2: ENCUESTA DE MOVILIDAD 2024	66
	ANEXO 3: FACTORES DE EMISION.....	69



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factores de emisión utilizados para el cálculo de la huella de carbono PCMASA2. Fuentes utilizadas..... 25

Tabla 2. Factores de emisión por especie de gas de efecto invernadero utilizados para el PCMASA2. Fuentes utilizadas..... 25

Tabla 3. Unidades en mantenimiento año 2024 (nave principal)..... 30

Tabla 4. Consumos y duración pruebas unidades en mantenimiento año 2024 31

Tabla 5. Listado equipos refrigerantes tipo de aire acondicionado nave principal.... 32

Tabla 6. Producción anual de residuos no peligrosos y gestores autorizados PCMASA 2. Año 2024. 34

Tabla 7. Producción anual de residuos peligrosos y gestores autorizados PCMASA 2. Año 2024. 35

Tabla 8. Producción anual de residuos (Grupo III Sanitarios) y gestores autorizados PCMASA 2. Año 2024. 37

Tabla 9. Distancias recorridas y aporte relativo por tipo de transporte en desplazamientos del personal. 38

Tabla 10. Emisiones anuales debidas al consumo de gasóleo tipo C en calderas que abastecen a la nave principal. Año 2024. 39

Tabla 11. Emisiones mensuales debidas al consumo de gasóleo tipo C en edificios año 2024..... 39

Tabla 12. Emisiones anuales debidas a consumo de gasóleo A por vehículos sacados de mantenimiento. Año 2024 40

Tabla 13. Distribución de emisiones por tipo de vehículo sacado de mantenimiento - consumo de gasóleo A. Año 2024..... 40

Tabla 14. Emisiones debidas a fugas de equipos de climatización año 2024 41

Tabla 15. Emisiones debidas al consumo de electricidad en edificios año 2024..... 41

Tabla 16. Tratamiento residuos PCMASA 2 43

Tabla 17. Emisiones debidas a la gestión de residuos. Año 2024..... 43

Tabla 18. Distancia y emisiones debidas al transporte interno. Año 2024. 45

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. GEAM, el Modelo de Actividad Económica Global, que describe el proceso que genera el calentamiento global..... 9

Figura 2.Evolución Temporal del Cambio de Temperatura Global Relativo a 1850–1900 bajo Escenarios de Emisiones del IPCC. 10

Figura 3. Distribución de las emisiones directas e indirectas de gases de efecto invernadero entre diferentes sectores en 2018. 13

Figura 4. Representación esquemática del proceso de reporte de la entidad informante..... 14

Figura 5. Metas de temperatura del acuerdo de París 16

Figura 6. Etapas del Proceso de Evaluación de Emisiones GEI en el PCMASA 2... 21

Figura 7. Consumos mensuales de combustible gasóleo tipo C – fuentes estacionarias 30

Figura 8. Consumos mensuales de combustible Gasóleo A – fuentes móviles 31



Figura 9. Proporción recarga de gases refrigerantes equipos de refrigeración tipo aire acondicionado en la nave principal PCMASA 2.....	32
Figura 10. Consumos mensuales energía eléctrica año 2024.....	33
Figura 11. Clasificación porcentual de residuos no peligrosos generados 2024	35
Figura 12. Clasificación porcentual de residuos peligrosos generados 2024	36
Figura 13. Distribución de patrones de movilidad según encuesta año 2024.....	38
Figura 14. Distribución del aporte de emisiones de acuerdo con el consumo eléctrico mensual.....	42
Figura 15. Distribución de la generación de residuos y de las emisiones según tipologías de residuos. Año 2024	44
Figura 16. Emisiones y distancia recorrida según medio de transporte interno. Año 2024.	46
Figura 17. Distribución del aporte de emisiones por categoría (Huella de Carbono). Año 2024	47
Figura 18. Distribución del aporte de emisiones por Alcance (Huella de Carbono). Año 2024	48
Figura 19. Distribución de emisiones por tipo de vehículo con mantenimiento finalizado. Año 2024	49



1. INTRODUCCION

1.1. CALENTAMIENTO GLOBAL Y EMISIONES DE EFECTO INVERNADERO (GEI)

Desde la revolución industrial, la comunidad científica ha registrado un incremento progresivo de la temperatura media global. Este fenómeno se ha intensificado a partir de la década de 1970, cuando se evidencia un aumento constante de la temperatura media terrestre, directamente asociado al crecimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero, como consecuencia del desarrollo industrial y del uso intensivo de combustibles fósiles.

Este fenómeno mundial es conocido como 'Calentamiento Global' y es definido por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2021) como el aumento progresivo, a lo largo del tiempo, de la temperatura media de la atmósfera terrestre y de las grandes masas de agua, debido, principalmente, al incremento de las concentraciones de gases de efecto invernadero derivados de actividades humanas.

Los gases de efecto invernadero (GEI), como el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O) y otros, son capaces de absorber una parte de la radiación infrarroja emitida por la Tierra (Finlonchik et al., 2024; Ledley et al., 1999). Estos contaminantes pueden permanecer en la atmósfera durante años o incluso siglos, reteniendo el calor. El efecto invernadero es un fenómeno natural, siendo una consecuencia directa de que este calor ya no se irradia al espacio (Finlonchik et al., 2024), el cual mantiene la temperatura de la vida terrestre. No obstante, dicho proceso natural se ha intensificado en las últimas décadas debido a la acción antropogénica. Esto ha ocurrido principalmente por la emisión de GEI provenientes de actividades como la agricultura y ganadería intensiva, la deforestación y la quema de combustibles fósiles, lo que ha provocado un aumento en los niveles de estos gases en la atmósfera. Esto, a su vez, ha generado un efecto invernadero antropogénico que está potenciando el calentamiento global y acelerando el cambio climático.

De acuerdo con lo anterior, se entiende que el calentamiento global es una de las principales causas del cambio climático, el cual, se refiere a los cambios a largo plazo en las temperaturas y los patrones climáticos (United Nations, s.f.). Así, aunque el calentamiento global y el cambio climático son dos términos distintos, no son fenómenos completamente aislados, sino el resultado de una compleja red de causas interrelacionadas, en la que influyen el crecimiento económico, el aumento de la población y el ritmo acelerado de las actividades diarias de la sociedad. Esta relación puede comprenderse mejor a través del GEAM (Global Economic Activity Model), un modelo que representa cómo las dinámicas económicas a nivel mundial generan emisiones de gases de efecto invernadero (**Figura 1**).

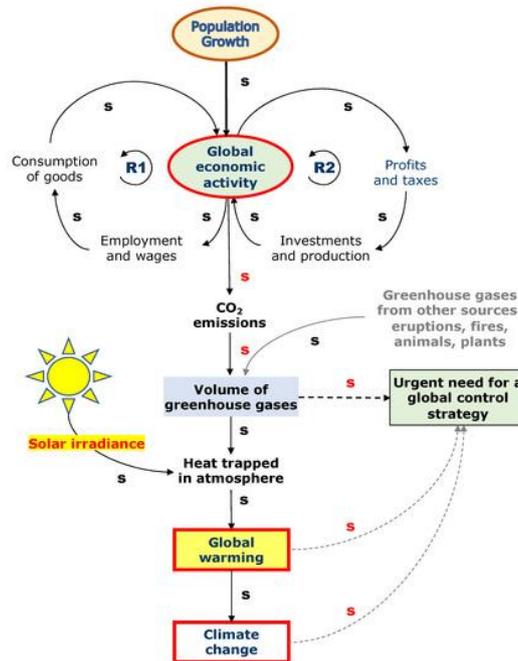


Figura 1. GEAM, el Modelo de Actividad Económica Global, que describe el proceso que genera el calentamiento global

Fuente: Mella, 2022

De acuerdo con el GEAM, se concluye que el incremento de la población mundial induce el consumo de bienes y servicios, lo que a su vez impulsa la actividad económica global a través de dos bucles de retroalimentación positiva: uno asociado al empleo y los salarios (R1), y otro afín a las inversiones y los beneficios fiscales (R2). En conclusión, el crecimiento de la población en la Tierra, así como la tendencia natural del hombre a buscar mejores condiciones de vida, apoya el ciclo (R1) y “fuerza” una expansión de la actividad económica global, intensificando así las emisiones de gases de efecto invernadero y, en consecuencia, el crecimiento del calentamiento global (Mella, 2022).

De cara al futuro, en la **Figura 2** se presentan cinco escenarios de emisiones: muy altas, altas, intermedias, bajas y muy bajas, que representan diferentes trayectorias posibles en función de las políticas y acciones para mitigar el cambio climático. Según el escenario de emisiones "muy alto" (“very high”), el calentamiento global continuará incrementándose más allá del año 2100, lo que afectará gravemente al clima y la calidad de vida de las futuras generaciones. Este escenario refleja un aumento continuo en las temperaturas globales, con efectos severos para las generaciones nacidas después de 2020, quienes enfrentarán condiciones climáticas extremas, cambios en los patrones de temperatura y eventos climáticos más intensos a lo largo de sus vidas.

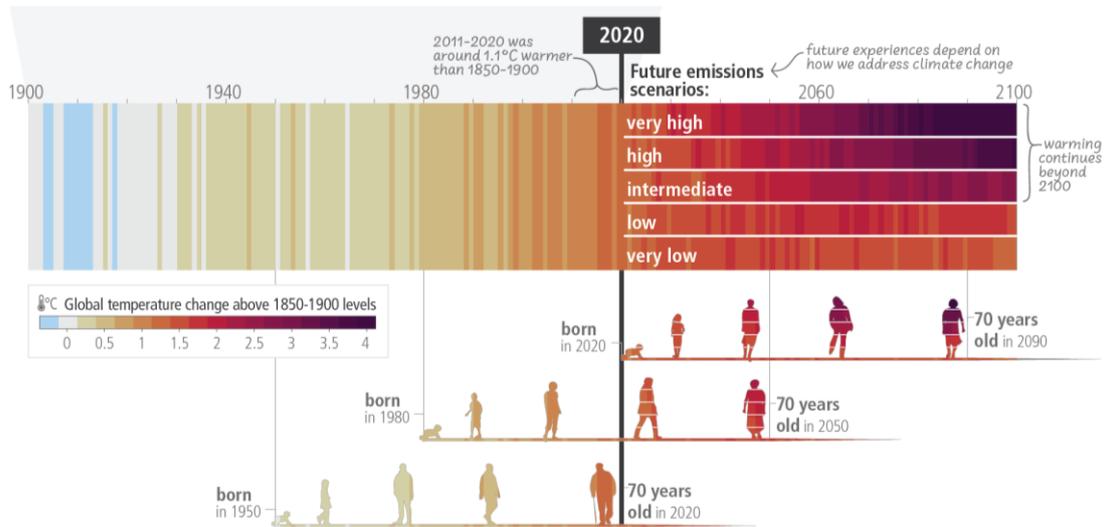


Figura 2. Evolución Temporal del Cambio de Temperatura Global Relativo a 1850–1900 bajo Escenarios de Emisiones del IPCC.

Fuente: IPCC, 2023

Estas proyecciones adquieren especial relevancia si se considera que, incluso en el presente, algunas poblaciones y naciones en desarrollo ya son especialmente susceptibles a los impactos climáticos. Dichas regiones enfrentan mayores riesgos ante fenómenos como intensas sequías, incendios forestales, tormentas severas, deshielo de los polos, aumento del nivel del mar y pérdida acelerada de biodiversidad (Coque, 2024). En consecuencia, el calentamiento global no solo representa una amenaza ambiental, sino también una seria preocupación para la seguridad alimentaria y la estabilidad de los sistemas agrícolas, al comprometer la producción, disponibilidad y acceso a los alimentos a nivel mundial (Báez et al., 2018; Montilla-Pacheco et al., 2024; Viglizzo, 2018).

Los efectos del calentamiento global no solo alteran el equilibrio ambiental, sino que también impactan directamente en la seguridad nacional, al poner en riesgo las operaciones militares, comprometer los recursos naturales y amenazar infraestructuras clave de defensa. El cambio climático también plantea desafíos significativos para la logística militar que necesita adquirir capacidades que resistan el impacto de climas extremos y cambiantes (United Nations, s.f.).

En este escenario, las dificultades para el mantenimiento de los materiales sometidos a desgastes mayores de lo normal, el aumento de la demanda de suministros críticos y las dificultades para su abastecimiento suponen un gran reto para los procedimientos logísticos (United Nations, s.f.). Como consecuencia de lo anterior, las interrupciones en los procesos productivos se vuelven más frecuentes, generando retrasos, costos adicionales y una reducción en la capacidad de respuesta ante demandas urgentes.

Frente a esta creciente problemática, la comunidad científica y los organismos internacionales han reforzado los esfuerzos por comprender y enfrentar las causas y efectos del cambio climático. En este sentido, el Grupo Intergubernamental de



Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) fue creado en 1988 con el propósito de realizar evaluaciones periódicas integrales sobre el estado del conocimiento científico, técnico y socioeconómico relativo al cambio climático, sus causas, sus posibles repercusiones y las estrategias de mitigación y adaptación (IPCC, 2025). De hecho, en su informe de síntesis de 2014, correspondiente al quinto informe de evaluación, el IPCC concluyó con un 95 % de certeza científica que las actividades antropogénicas representan la principal causa del cambio climático global, debido fundamentalmente a la emisión descontrolada de gases de efecto invernadero (IPCC, 2014).

Desde este enfoque, no solo se requiere una reducción sustancial de las emisiones en los sectores tradicionales como lo son la energía, el transporte o la industria, sino también una mayor transparencia y regulación en sectores históricamente menos estudiados, como lo es el sector defensa. Frente a esta realidad, resulta imprescindible contar con herramientas que permitan cuantificar y gestionar las emisiones responsables de este fenómeno ambiental. En este sentido, el siguiente apartado aborda el concepto de huella de carbono, con énfasis en su aplicación en instalaciones militares, como mecanismo clave para identificar fuentes emisoras y diseñar estrategias de mitigación efectivas.

En este contexto, integrar criterios ambientales en la planificación militar no solo responde a una exigencia ecológica, sino también a una estrategia de seguridad preventiva, donde la sostenibilidad se convierte en un factor clave de estabilidad a largo plazo. Por tanto, la cuantificación y gestión de la huella de carbono en instalaciones militares no puede desvincularse del marco normativo que regula las acciones climáticas. De este modo, es imprescindible analizar el marco legislativo vigente, tanto a nivel nacional como internacional, que establece directrices para la medición, reporte y reducción de emisiones, y que orienta la implementación de prácticas sostenibles en el sector defensa.

1.2. CONCEPTO Y DEFINICIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN INSTALACIONES MILITARES

La Huella de Carbono (HC) es definida de manera general como la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos a la atmósfera derivados de las actividades de producción o también en el consumo de bienes (Ferrer, 2021; Schneider y Samaniego, 2010). Más allá de su definición, este concepto ha evolucionado hacia un instrumento clave para la evaluación ambiental.

La huella carbono, como indicador integrado y unificado de gestión y evaluación ambiental, se ha convertido en un método común para medir las emisiones directas e indirectas de gases de efecto invernadero (GEI) durante la producción y el consumo (British Standards Institution, 2008a; Wiedmann y Minx, 2007; Yan, 2020). En el contexto militar, mediante la utilización de la huella de carbono se pueden cuantificar las emisiones generadas por diferentes actividades específicas, desde la operatividad hasta el mantenimiento de infraestructuras, el uso de vehículos y maquinaria, y el consumo energético asociado a las instalaciones. Esto permite evaluar su impacto ambiental y a desarrollar diferentes estrategias de mitigación, tales como la adopción de tecnologías y combustibles más limpios, la optimización de recursos, la



implementación de prácticas sostenibles en las operaciones y la reducción de las emisiones a través de la mejora en la gestión de residuos y la eficiencia energética.

El sector militar global, incluida su cadena de suministro, representa un componente importante del gasto público y un gran consumidor de combustibles fósiles. En el informe de 2022, publicado como contribución a las negociaciones climáticas de la COP27 y en colaboración con el Observatorio de Conflictos y Medio Ambiente (CEOBS), se estimó que la huella de carbono militar global asciende a aproximadamente 2750 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente (MtCO_2eq), lo que equivale al 5,5 % de las emisiones globales (Parkinson, 2023).

Por lo tanto, es esencial que la huella de carbono generada por el sector militar sea cuantificada y esté sujeta a metas claras de reducción. No obstante, en la actualidad, esta práctica aún no se ha generalizado ni estandarizado en muchas fuerzas armadas. Estas emisiones fueron declaradas exentas en el Protocolo de Kioto, y con el Acuerdo de París, la entrega de información pasó a ser voluntaria.

Para evaluar la huella de carbono es necesario contemplar todas las fases del ciclo de producción, desde la extracción de materias primas necesarias para la fabricación de las armas y equipos militares, hasta la utilización de esas armas y la gestión de los residuos que todo ello genera. En este sentido, las bases dedicadas al mantenimiento de acorazados y equipos pesados, ubicadas dentro del sector de mantenimiento y apoyo logístico de la industria militar, pueden generar un impacto ambiental especialmente significativo debido al alto consumo energético y a la producción de desechos industriales.

Con base a lo anterior, el mantenimiento de acorazados y equipos, aunque no participan directamente en la generación de armamento, cumple funciones estratégicas para asegurar la operatividad y extensión del ciclo de vida del material militar, contribuyendo así a disminuir la necesidad de fabricar nuevos equipos, reduciendo el consumo de recursos y la generación de residuos. Sin embargo, su realización implica un consumo elevado de recursos y energía, lo que genera una huella de carbono significativa. Por ello, integrar prácticas circulares en estos procesos representa una oportunidad para reducir el impacto ambiental y avanzar hacia aumentar la sostenibilidad en el sector defensa.

Por último, tras abordar la importancia de medir y gestionar la huella de carbono en instalaciones militares, es necesario considerar también el impacto ambiental de los residuos generados durante las actividades de mantenimiento de equipos y vehículos militares. Estos residuos, que incluyen aceites usados, solventes, piezas metálicas y otros desechos industriales, pueden contribuir significativamente al calentamiento global si no se gestionan adecuadamente. Por ello, en el siguiente apartado se analiza su efecto en el medio ambiente y su relación con las emisiones de gases de efecto invernadero.

1.3. EL IMPACTO DE LOS RESIDUOS Y SU RELACIÓN CON EL CALENTAMIENTO GLOBAL

La producción de residuos sólidos urbanos a nivel mundial ha alcanzado cifras considerables. En 2016, se generaron alrededor de 2010 millones de toneladas, y las proyecciones indican que esta cifra podría incrementarse hasta los 3400 millones de toneladas para el año 2050, lo que evidencia un crecimiento sostenido con importantes implicaciones ambientales (Abdallah y Elfeky, 2021; Kaza et al., 2018). Este aumento no solo supone un reto en términos de gestión, sino que también contribuye significativamente al calentamiento global. Las actividades de gestión de residuos representan aproximadamente el 4 % de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI), en particular la liberación de metano procedente de la descomposición de residuos orgánicos en vertederos (De la Barrera&Hooda, 2016; Papageorgiou et al., 2009; Vergara y Tchobanoglous, 2012).

Desde esta perspectiva, cobra especial relevancia considerando que este sector para el 2018 contribuyó cerca del 3,7% de las emisiones indirectas globales anuales (Lamb et al., 2021), tal como se muestra en la Figura 3.

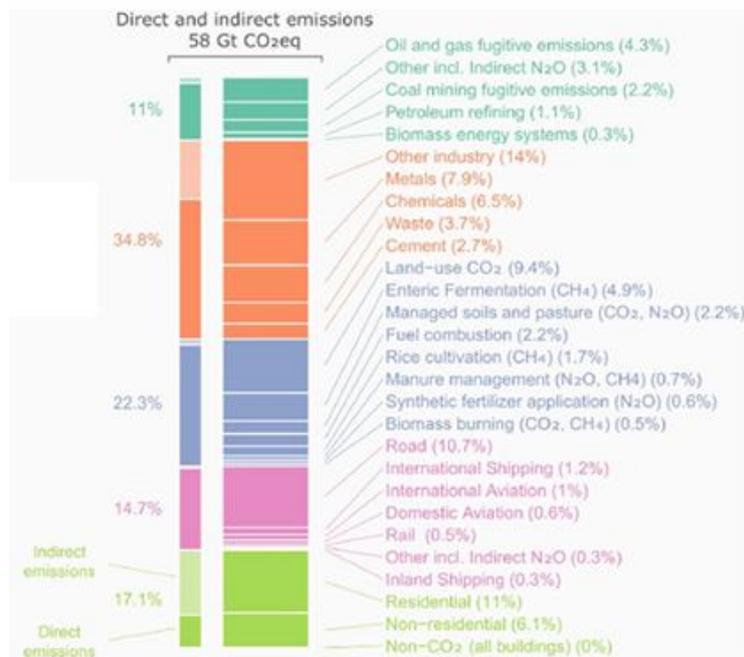


Figura 3. Distribución de las emisiones directas e indirectas de gases de efecto invernadero entre diferentes sectores en 2018.

Fuente: Lamb et al., 2021.

La transición hacia una economía circular y baja en carbono, donde se prioricen la reducción, reutilización y valorización de los residuos, se presenta como una estrategia fundamental para afrontar el cambio climático y promover un desarrollo más sostenible.

Para evaluar con precisión el impacto de estas estrategias en términos climáticos, resulta esencial aplicar metodologías adecuadas para el cálculo de la huella de

carbono. Estas herramientas permiten cuantificar las emisiones asociadas a cada etapa del ciclo de vida de los residuos, proporcionando datos clave para la toma de decisiones informadas en políticas públicas y gestión ambiental.

1.4. METODOLOGÍAS DE CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO

- **GHG Protocol**

El Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHG Protocol) es una técnica ampliamente aceptada para medir y controlar las emisiones de GEI. Fue desarrollado por el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD) y el Instituto de Recursos Mundiales (WRI) (GHG Protocol, 2024; Hickmann, 2017; Sharaf, 2024).

De acuerdo con el GHG Protocol, la estimación y el reporte de las emisiones de gases de efecto invernadero por parte de una organización dependen de dos decisiones clave: la definición de los límites organizacionales y la delimitación del alcance de las emisiones a considerar (Antonini et al., 2017; Gao et al., 2014; Kasperzak, 2023). La **Figura 4** ofrece una visión general del papel de estos dos aspectos en el reporte de GEI.

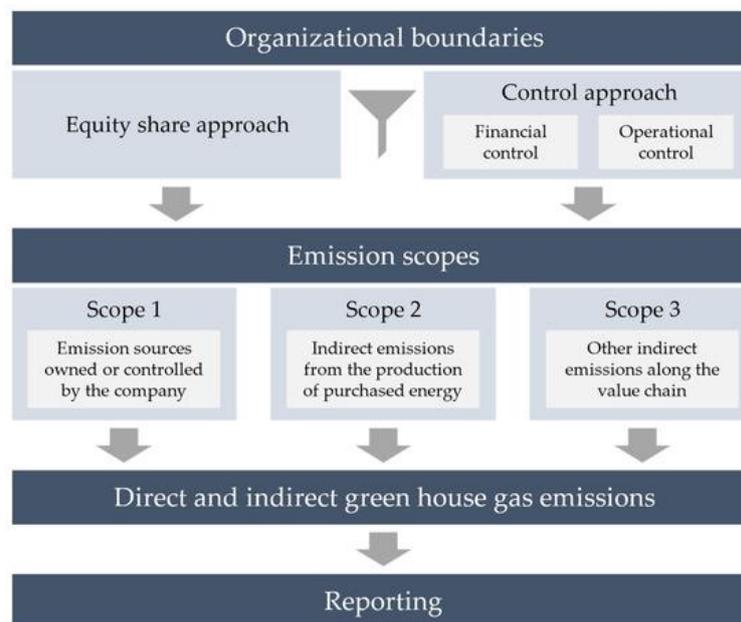


Figura 4. Representación esquemática del proceso de reporte de la entidad informante.

Fuente: Kasperzak, 2023

En primer lugar, la organización debe establecer sus límites organizacionales, que determinan qué operaciones o entidades se incluyen en el inventario de emisiones. Para ello, el GHG Protocol ofrece dos enfoques:

- El enfoque de participación accionaria, que asigna las emisiones según la proporción de participación de la organización en cada operación.



- El enfoque de control, que puede basarse en el control financiero (cuando la organización tiene la capacidad de dirigir las políticas financieras y operativas) o en el control operativo (cuando tiene la autoridad para introducir y aplicar políticas operativas en una instalación).

Una vez definidos estos límites, las emisiones se clasifican según tres alcances (scopes):

- Alcance 1: Emisiones directas generadas por fuentes que son propiedad de la organización o están bajo su control, como calderas, vehículos o procesos industriales.
- Alcance 2: Emisiones indirectas derivadas de la producción de electricidad, vapor, calor o refrigeración adquirida por la organización.
- Alcance 3: Otras emisiones indirectas que ocurren fuera de las operaciones directas, a lo largo de la cadena de valor, como las asociadas a proveedores, logística, viajes de negocios, uso de productos vendidos o disposición final.

- **UNE-EN ISO 14064-1:2019**

La norma UNE-EN ISO 14064-1:2019 se centra en los inventarios de GEI a nivel de organización, especificando una metodología (o las condiciones) a seguir para su diseño, desarrollo, gestión, y la presentación de informes acerca de los mismos (Muñoz, 2023).

Según lo señalado por Chica (2025), la primera parte de la norma está orientada a las organizaciones e introduce una delimitación estructurada de sus emisiones de gases de efecto invernadero, clasificándolas en tres alcances, de manera similar al enfoque propuesto por el GHG Protocol.

- Alcance 1: Emisiones directas de fuentes controladas por la organización.
- Alcance 2: Emisiones indirectas por el consumo de energía.
- Alcance 3: Otras emisiones indirectas.

Por último, tras establecer los alcances correspondientes, es necesario recopilar la información relativa a las actividades realizadas y aplicar los factores de emisión adecuados, con el fin de calcular la cantidad total de gases de efecto invernadero emitidos.

1.5. MARCO LEGISLATIVO

La lucha contra el cambio climático ha cobrado protagonismo en la agenda internacional, siendo clave la adhesión de más países a los acuerdos climáticos para reducir las emisiones de GEI. De acuerdo con lo anterior, se pueden encontrar dos principales acuerdos que fueron establecidos a partir de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático - CMNUCC (1992): el Protocolo de Kyoto (1997) y el Acuerdo de París (2015). Siendo este último el más inclusivo y ambicioso hasta la fecha, el Acuerdo de París (2015) marcó un hito en la diplomacia climática mundial.

- **Acuerdo de París**

Las palabras clave del acuerdo de París son: mitigación, adaptación, financiamiento, tecnología y construcción de capacidades. El principal objetivo del acuerdo es: mantener el aumento de la temperatura global por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales “y de seguir esforzándose por limitar el aumento de la temperatura a 1,5 °C” (Mendoza, 2016).

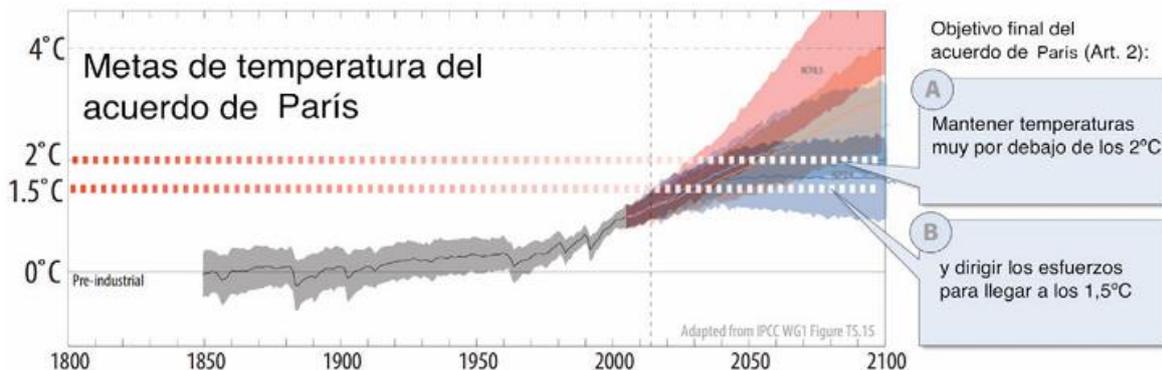


Figura 5. Metas de temperatura del acuerdo de París

Fuente: Martínez, 2016; Meinshausen, 2015

Cada país que ratifique el Acuerdo de París debe establecer sus propias metas de reducción de emisiones, conocidas como Contribuciones Nacionalmente Determinadas (INDC, por sus siglas en inglés: Intended Nationally Determined Contributions) (Martínez, 2016). Estas metas no solo se basan en criterios científicos, sino que también constituyen compromisos políticos con implicaciones significativas para el diseño e implementación de políticas climáticas a nivel nacional e internacional. Tal como se observa en la **Figura 5**, el cumplimiento de los objetivos establecidos dependerá en gran medida del nivel de ambición, coherencia y urgencia con que los países apliquen sus compromisos y avancen hacia modelos de desarrollo bajos en carbono y ambientalmente sostenibles.

- **Estrategias Europeas**

A partir de los resultados científicos del IPCC sobre la urgencia de actuar frente al cambio climático, y en paralelo con la adopción del Acuerdo de París en 2015, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) incorporó en la Agenda 2030 el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 13: Acción por el Clima, con el fin de impulsar medidas concretas para combatir el cambio climático y sus efectos. Este objetivo exige las acciones necesarias para minimizar el cambio climático y abordar sus impactos. Además, exige la adopción de medidas a diferentes niveles organizativos, con miras a ofrecer una respuesta más amplia al problema (Filho et al, 2023).

Es de resaltar que la Unión Europea (UE) es parte activa de este compromiso global, en el que ejerce cierto liderazgo, y persigue objetivos cada vez más ambiciosos (Banco de España, 2022). El pilar principal para el cumplimiento de los compromisos establecidos dentro del Acuerdo de París y la Agenda 2030 por parte de la UE es el **Pacto Verde Europeo** (Comisión Europea, 2019), cuya meta para el 2050 es que Europa sea un continente climáticamente neutro, con cero emisiones de GEI.



- **Contexto Español**

Para España, la lucha global contra el cambio climático constituye no sólo un compromiso a nivel internacional por ser parte en la CMNUCC, el Protocolo de Kyoto y el Acuerdo de París; sino también a nivel regional, como Estado miembro de la UE (Zambrano, 2023). De tal manera, para alinearse con los mismos, ha avanzado desarrollando legislación, estrategias y acciones. En el caso de la legislación, estas son llevadas a través del Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico (MITECO). Entre las medidas propuestas por el Ministerio está la reducción de la Huella de Carbono. El Real Decreto 163/2014, de 14 de marzo, establece las bases para el cálculo de la Huella de Carbono y plantea la compensación de parte de la reducción propuesta a través de una serie de proyectos (Martínez, 2022). Este último decreto fue modificado en marzo del 2025 a través del Real Decreto 214/2025, determinó la obligatoriedad de calcular anualmente la huella de carbono para todas las empresas que ya estaban sujetas a la Ley de Información No Financiera (EINF) y a las instituciones de la Administración General del Estado.

Igualmente, se creó el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030 y se aprobó la Ley 7/2021, de cambio climático y transición energética. Esta última constituye el marco estatal para alcanzar la neutralidad climática antes de 2050, y tiene como objetivo facilitar la descarbonización de la economía española y su transición hacia un modelo circular, garantizando el uso racional y solidario de los recursos naturales (BOE, 2021). Sus disposiciones son de aplicación también a la Administración General del Estado, y por ende al sector de la defensa.

Bajo esta perspectiva, la Ley 7/2022, de residuos y suelos contaminados para una economía circular, entra a complementar estos esfuerzos al crear medidas concretas para prevenir la generación de residuos, mejorar su gestión y reducir el impacto ambiental asociado. Esta ley no solo aborda la contaminación directa, sino que también contribuye a los objetivos de descarbonización al limitar las emisiones derivadas del tratamiento inadecuado de residuos, especialmente los que generan metano y otros gases contaminantes. De esta forma, ambas líneas de actuación convergen en una visión común: transformar el modelo productivo y de consumo hacia uno más eficiente, circular y bajo en carbono.

1.6.LA DESCARBONIZACIÓN Y LA GESTIÓN DE RESIDUOS EN LA INDUSTRIA MILITAR EN ESPAÑA

En relación con la descarbonización del sector defensa en España, Hidalgo (2023) señala que el primer desafío para reducir las emisiones es, precisamente, su medición. Asimismo, advierte que, si no se contabilizan adecuadamente, no es posible establecer objetivos de reducción ni evaluar los esfuerzos realizados a través de las iniciativas de descarbonización implementadas. De acuerdo con lo anterior, con el fin de dimensionar el impacto ambiental en el sector de defensa, desde el año 2012 (MINISDEF, s.f.) se ha realizado voluntariamente el inventario de posibles fuentes de GEI y la cuantificación y evaluación de las emisiones de carbono, elaboradas en colaboración con MITECO. Además, el reciente estudio del mismo sector realizado por el Centro de Estudios por la Paz (2024) determinó que, en 2023, 37550 millones de toneladas de CO₂e (dióxido de carbono equivalente de gases de efecto



invernadero) fueron emitidos globalmente por dicho sector. De acuerdo con estos datos, los expertos estiman que el sector militar (que incluye tanto a las fuerzas armadas como a la industria armada) podría ser responsable del 4 al 8 % de las emisiones globales de gases de efecto invernadero, expresadas en dióxido de carbono equivalente (CO₂e). Esto representaría un promedio del 6 % del total, equivalente a aproximadamente 2253 millones de toneladas de CO₂e (Centre Delàs d'Estudis per la Pau, 2021).

Continuando el caso concreto de España, según el informe *Under the Radar: The Carbon Footprint of Europe's Military Sectors* (2021), las emisiones totales de la huella de carbono (alcances 1 y 2) de toda la industria militar española en 2019 fueron de 83000 toneladas de CO₂eq. Al incluir el alcance 3, la cifra asciende a 694000 toneladas de CO₂eq, lo que equivale a unas 31,6 toneladas de CO₂eq por cada uno de los aproximadamente 22000 empleados del sector (CEOBS, 2021). Siendo cifras importantes, especialmente en comparación con otros sectores industriales, estos datos evidencian el alto impacto ambiental del ámbito militar.

En el caso concreto del Ejército de Tierra, en los últimos años se han implementado diversas acciones orientadas a la reducción de su huella de carbono, como la incorporación de energías renovables en sus operaciones, el desarrollo de infraestructuras sostenibles y la puesta en marcha de iniciativas centradas en la gestión de residuos y la promoción de la economía circular. Esta última se enmarca principalmente en una de las líneas de acción de la *Estrategia del Ministerio de Defensa ante el reto del cambio climático 2023*: la reducción de la huella de carbono mediante el fomento del uso de materiales y equipos reutilizables, la mejora en la gestión logística y, en particular, la optimización de los sistemas de transporte para minimizar las emisiones (Ministerio de Defensa de España, 2023).

Un ejemplo claro de la aplicación de estos principios es el actual proyecto del Centro de Desmilitarización 3R (Recuperación, Reutilización y Reciclaje), o CD3R, ubicado en el Órgano Logístico Central del Ejército de Tierra en Segovia, específicamente en el Parque y Centro de Mantenimiento de Sistemas Acorazados No. 2 (PCMASA 2). Uno de los objetivos de este centro es prolongar el ciclo de vida útil de componentes estratégicos de los sistemas acorazados tales como eslabones de cadena, repuestos críticos, motores, cajas de transmisión y otros sistemas complejos; mediante su recuperación y reacondicionamiento, enfocado al residuo cero. Asimismo, el Centro busca contribuir a la mejora de la eficiencia operativa y logística, integrando criterios de circularidad en los procesos técnicos de mantenimiento militar. Esto permite lograr ahorros significativos en términos de emisiones evitadas, materiales recuperados y costes logísticos optimizados, avanzando hacia un modelo de sostenibilidad integral dentro del sistema de defensa.

El presente trabajo parte del compromiso del PCMASA 2 del Ejército de Tierra con la cuantificación de sus emisiones de gases de efecto invernadero, con el objetivo de obtener un conocimiento más preciso de su huella de carbono. Esta medición permitirá contar con una visión detallada de las actividades desarrolladas en la nave principal de la base y su relación con la generación de residuos, lo cual es fundamental para identificar oportunidades de mejora y optimización de recursos.



A partir de los datos obtenidos del inventario de emisiones, se pretende establecer un plan de reducción con medidas efectivas, enfocadas prioritariamente en áreas con mayor potencial de impacto, como la gestión de residuos y la implementación de prácticas circulares.

Dado que no existen estudios previos en el PCMASA 2 que hayan calculado las emisiones correspondientes a los alcances 1, 2 y 3, el presente proyecto propone una base metodológica para el cálculo de la Huella de Carbono, siguiendo las directrices del GHG Protocol. Esta metodología será validada mediante su aplicación práctica en la nave principal de la base, para estimar las emisiones correspondientes al año 2024, y servirá como referencia para futuras evaluaciones ambientales y toma de decisiones estratégicas en el ámbito de la sostenibilidad institucional.



2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Cuantificar y evaluar la huella de carbono generada en la nave principal del PCMASA 2 del Ejército de Tierra durante el año 2024, aplicando la metodología del GHG Protocol y factores de emisión oficiales, con el fin de diseñar un plan de minimización de emisiones y residuos basado en principios de economía circular, optimización operativa y descarbonización.

2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Definir los límites organizacionales, operacionales y temporales del estudio conforme a la metodología del GHG Protocol, asegurando la trazabilidad de las fuentes emisoras de GEI en la nave principal del PCMASA 2.
- Identificar y clasificar las fuentes de emisión por alcances (1, 2 y 3) y los residuos generados, diferenciando entre peligrosos y no peligrosos, de acuerdo con la jerarquía de gestión de residuos.
- Recopilar y sistematizar los datos de actividad relevantes (consumo energético, combustibles, refrigerantes, transporte, gestión de residuos), garantizando su representatividad y consistencia.
- Aplicar factores de emisión oficiales para calcular las emisiones en toneladas de CO₂ equivalente (expresado como CO₂ eq).
- Analizar los resultados obtenidos para identificar las áreas y procesos con mayor impacto en la huella de carbono, priorizando las oportunidades de reducción según criterios de volumen, peligrosidad, viabilidad técnica y coste-beneficio.
- Diseñar un plan de acción que integre medidas de reducción de emisiones y gestión eficiente de residuos, alineadas con los principios de economía circular, con metas cuantificables y un sistema de seguimiento.

3. METODOLOGIA

3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL PARQUE Y CENTRO DE MANTENIMIENTO DE SISTEMAS ACORAZADOS (PCMASA 2)

Según información del Ministerio de Defensa (MINISDEF, 2024), el PCMASA 2 cuenta con una extensión de 70000 m² y aproximadamente 31720 m²¹ de superficie útil. Su función principal es el sostenimiento de materiales acorazados y mecanizados, siendo responsable del mantenimiento y apoyo a los vehículos de las unidades del Ejército de Tierra, entre los que se incluyen:

- TOA, transporte oruga acorazado M-113
- ATP, autobús autopropulsado M-109 A5E
- CENTAURO, vehículo de reconocimiento de Caballería
- TOM, transporte oruga de montaña BV-206
- Carros especiales de recuperación, zapadores y lanzapuentes.

El PCMASA 2 se localiza en la Avenida de la Constitución, 13, en la provincia de Segovia. Para el presente estudio de cálculo de gases de efecto invernadero, se considerará un límite organizacional específico, el cual se desarrolla en detalle en el apartado 3.2.2 “Definición de límites del estudio”.

3.2. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

Este capítulo describe el marco metodológico empleado para calcular la huella de carbono del Parque y Centro de Mantenimiento de Sistemas Acorazados No. 2 (PCMASA 2). Para ello, se establecieron las fases que se ilustran en la **Figura 6**, las cuales se alinean principalmente con las directrices del GHG Protocol.



Figura 6. Etapas del Proceso de Evaluación de Emisiones GEI en el PCMASA 2
Fuente: Adaptado Del Valle (2021)

De forma complementaria, se han considerado determinados lineamientos de la norma UNE-EN ISO 14064-1:2019, empleados como referencia para fortalecer la coherencia, transparencia y trazabilidad en la presentación de los resultados, sin constituir una aplicación íntegra de la norma la cual se enfoca a fines de certificación. Como base de la norma, se siguen los siguientes pasos:

- Definición de los límites de la organización (Capítulo 5 de la estructura reporte según norma UNE-ES ISO 14064-1:2019).

¹ Plano proporcionado por el PCMASA 2 en el marco del convenio de colaboración para la elaboración del presente TFM, 2025 (información interna).



- Identificación de las emisiones (Capítulo 6 de la estructura reporte según norma UNE-ES USO 14064-1:2019).
- Cálculo de las emisiones (Capítulo 6 de la estructura reporte según norma UNE-ES USO 14064-1:2019).

Así mismo, el estudio adoptó un enfoque mixto (cuantitativo y cualitativo), combinando la medición objetiva de variables ambientales (como emisiones de GEI, residuos generados y consumo energético) con un análisis contextual de los procesos y prácticas del entorno militar. Esta metodología permitió una evaluación integral del impacto ambiental del PCMASA 2 y la formulación de estrategias sostenibles de reducción de residuos y emisiones.

El análisis se centró en las actividades desarrolladas en la nave principal del PCMASA 2, especialmente en los procesos de mantenimiento de vehículos acorazados y equipos asociados. Se consideraron los alcances 1 y 2 (emisiones directas por combustibles y refrigerantes, e indirectas por consumo eléctrico) y el alcance 3 (emisiones derivadas de la gestión de residuos y transporte de personas), conforme a las directrices establecidas por el GHG Protocol.

3.2.1. Fase I. Caracterización del PCMASA 2 (nave principal)

Como fase inicial, se realizó la caracterización de la nave principal del PCMASA 2 para contextualizar el análisis, facilitando el cálculo e interpretación de la huella de carbono y la situación actual en cuanto a generación de residuos y emisiones GEI.

Durante esta fase se desarrollaron las siguientes actividades:

- Revisión documental: recopilación de inventarios, registros de consumo, protocolos internos y otros documentos relevantes (procedimientos internos, planos).
- Observación directa: inspección in situ de los procesos operativos desarrollados en la nave principal para identificar potenciales fuentes de emisiones.
- Identificación y clasificación de residuos: diferenciación entre residuos peligrosos y no peligrosos (como aceites, disolventes, chatarra, entre otros). Se usaron bases de datos internos del PCMASA 2.
- Cuantificación del consumo energético, de combustibles y otros: recopilación y análisis de datos sobre el uso de electricidad, gas, gasoil u otros combustibles empleados en las operaciones del centro.

3.2.2. Fase II. Definición de límites del estudio

La definición de los límites de estudio (límite temporal, organizativo y operacional) implica decidir cuál es la dimensión del cálculo, es decir, hasta dónde se quiere llegar (Del Valle, 2021). Para esto, se ha considerado como unidad de análisis la nave principal del PCMASA 2, debido a su papel fundamental en el sostenimiento de los vehículos acorazados y mecanizados del Ejército de Tierra. Esta nave concentra la mayor parte de las actividades de mantenimiento, así como los recursos humanos y materiales asociados.



Características de la nave principal:

- Área útil: **9.029 m²**.
- Personal: **82 personas** en plantilla directa.
- Función: actividades de mantenimiento, recuperación y apoyo a vehículos acorazados y mecanizados.

Se definieron tres dimensiones:

3.2.2.1. Límite temporal

El análisis se centró en el año 2024, utilizando únicamente datos operativos y factores de emisión correspondientes a dicho periodo.

La elección de 2024 como año de referencia se debe a la disponibilidad de datos completos y representativos para ese periodo, sin contar con información de años anteriores que permita comparaciones. Aunque la norma ISO 14064-1 recomienda definir un año base, la particularidad del caso ha llevado a adoptar el año en estudio como referencia temporal. Esta decisión dentro del proceso se documenta con el fin de garantizar la transparencia de este.

3.2.2.2. Límite organizacional

El objeto de estudio se restringió a la nave principal del PCMASA 2, unidad bajo control operativo directo de la organización. Dentro de esta instalación se desarrollan actividades críticas que implican consumo de recursos y generación de emisiones, tales como:

- Taller de motores y transmisiones
- Taller de chapa y soldadura
- Taller de máquinas y herramientas
- Taller de electricidad
- Taller de electrónica
- Taller de sistemas hidráulicos
- Taller de transmisiones
- Taller de armamento
- Cabina de pintura

3.2.2.3. Límite operacional

Una vez delimitada la unidad organizativa objeto del estudio (la nave principal), se identificaron las fuentes emisoras, priorizadas en función de la disponibilidad y fiabilidad de los datos obtenidos a partir de registros internos, facturación y encuestas. Posteriormente, dichas fuentes fueron clasificadas conforme a los lineamientos del GHG Protocol y distribuidas por alcances 1, 2 y 3, de la manera siguiente:

❖ Alcance 1: Emisiones directas

Incluye fuentes que son propiedad o están bajo control directo del PCMASA 2.

Fuentes y actividades consideradas:

- Combustión estacionaria (calderas).
- Combustión móvil (pruebas de funcionamiento de los acorazados)



- Fugas o manipulación de gases refrigerantes (Refrigerantes HFC, CFC para cargas de aires acondicionados).

❖ **Alcance 2: Emisiones indirectas por consumo energético**

Comprende las emisiones generadas fuera del sitio, pero asociadas al consumo eléctrico del PCMASA 2.

Fuentes y actividades consideradas:

- Electricidad comprada

❖ **Alcance 3: Otras emisiones indirectas**

Incluye actividades que no ocurren directamente en la nave, pero que están relacionadas con su operación.

Fuentes y actividades consideradas:

- Categoría 5 (Categoría según GHG Protocol): Gestión de residuos de las operaciones de la organización.
- Categoría 7 (Categoría según GHG Protocol): Transporte de empleados.

3.2.2.1. Exclusiones

El cálculo de la huella de carbono se ha realizado exclusivamente para la nave principal del PCMASA 2, al ser la instalación que concentra la mayor parte de la actividad y sobre la cual la organización dispone de la mayor información.

De esta manera, se garantiza la calidad y fiabilidad de los datos empleados en la estimación de emisiones. El resto de las instalaciones o dependencias no han sido incluidas, al no disponer de medios suficientes para recopilar información con el mismo nivel de detalle y rigor, y al no formar parte del perímetro organizativo definido en este inventario.

De igual manera, quedan excluidas del cálculo todas las emisiones indirectas correspondientes al alcance 3, dado que su cuantificación no es obligatoria para el registro de la huella de carbono de la organización y, además, no se dispone de la información ni de los recursos técnicos necesarios para su estimación. No obstante, se han incluido dentro de este alcance las categorías de gestión de residuos y transporte de personal, con el fin de disponer de información adicional que permita una mejor aproximación a la realidad de las emisiones generadas por la organización.

3.2.3. Fase III. Cálculo de la Huella de Carbono y factores de emisión

Esta fase comprende la definición metodológica del proceso de cuantificación de la huella de carbono, así como la selección de los factores de emisión más adecuados y representativos para las fuentes emisoras identificadas. Ambos elementos resultan esenciales para garantizar la exactitud, consistencia y transparencia del inventario de gases de efecto invernadero.

a) Factores de emisión

Los factores de emisión representan la cantidad de CO₂ equivalente (CO₂e) emitida por unidad de actividad. La selección de los factores adecuados es crítica para asegurar un resultado representativo.

Adicionalmente, se utilizaron factores de emisión por especie de gas de efecto invernadero (CO₂, CH₄ y N₂O), con el fin de determinar el aporte específico de cada uno a la huella de carbono total.

Los factores de emisión empleados provienen de fuentes oficiales y reconocidas, tales como el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero más reciente, publicado por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (año 2024), la base de datos de DeFRA (Reino Unido), entre otras. Para el caso del consumo eléctrico, se aplicará el factor de emisión correspondiente al mix energético nacional español sin garantía de origen (GdO) (según información de la base), conforme a los datos publicados por la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC). La relación detallada de dichas fuentes se presenta en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Factores de emisión utilizados para el cálculo de la huella de carbono PCMASA2. Fuentes utilizadas.

Descripción	Unidad	Fuente
Gasóleo tipo A	kgCO ₂ e/L	MITECO, 2024
Gasóleo tipo C	kgCO ₂ e/L	MITECO, 2024
HC410-A	kgCO ₂ e/kg refrigerante	MITECO, 2024
R407-C	kgCO ₂ e/kg refrigerante	MITECO, 2024
Energía Eléctrica	kgCO ₂ e/kWh	MITECO, 2024
Residuos	kgCO ₂ e/kg Residuo	UK GOVERNMENT, 2024
Auto (mediano)	kgCO ₂ e/km	UK GOVERNMENT, 2024
Transporte público	kgCO ₂ e/(Pasajero*km)	UK GOVERNMENT, 2024
Tren	kgCO ₂ e/(Pasajero*km)	Informe de Responsabilidad Social y Gobierno corporativo de Renfe, 2023
Motocicleta	kgCO ₂ e/km	UK GOVERNMENT, 2024

Fuente: Elaboración propia, 2025

En la **Tabla 2**, se presentan por componente químico de la huella de carbono:

Tabla 2. Factores de emisión por especie de gas de efecto invernadero utilizados para el PCMASA2. Fuentes utilizadas.

Descripción	CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
	Unidad	Fuente	Unidad	Fuente	Unidad	Fuente
Gasóleo tipo A	kgCO ₂ /L	MITECO, 2024	gCH ₄ /L	MITECO, 2024	gN ₂ O/L	MITECO, 2024
Gasóleo tipo C	kgCO ₂ /L	MITECO, 2024	gCH ₄ /L	MITECO, 2024	gN ₂ O/L	MITECO, 2024
Auto (mediano)	kgCO ₂ /km	UK GOVERNMENT, 2024	kgCH ₄ /km	UK GOVERNMENT, 2024	kgN ₂ O/km	UK GOVERNMENT, 2024
Transporte público	kgCO ₂ /Persona*km	UK GOVERNMENT, 2024	kgCH ₄ /Pasajero*km	UK GOVERNMENT, 2024	kgN ₂ O/Pasajero*km	UK GOVERNMENT, 2024
Tren	kgCO ₂ /Persona*km	UK GOVERNMENT, 2024	kgCH ₄ /Pasajero*km	UK GOVERNMENT, 2024	kgN ₂ O/Pasajero*km	UK GOVERNMENT, 2024



Descripción	CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
	Unidad	Fuente	Unidad	Fuente	Unidad	Fuente
Motocicleta	kgCO ₂ /km	UK GOVERNMENT, 2024	kgCH ₄ /km	UK GOVERNMENT, 2024	kgN ₂ O /km	UK GOVERNMENT, 2024

*. en los casos en los que se dispone únicamente del factor de emisión agregado expresado en CO₂ e y no de los factores de cada gas, estos últimos se considerarán nulos para el cálculo del total de las emisiones desglosado por gases.

Fuente: Elaboración propia, 2025

Se realizó una búsqueda de los factores de emisión aplicables a cada actividad generadora de emisiones, considerando las categorías y subcategorías establecidas en los principales inventarios y bases de datos oficiales. Sin embargo, para ciertas actividades, particularmente en lo referente a la gestión de residuos, no se encontraron factores de emisión específicos en las fuentes consultadas. Debido a esta ausencia de datos estandarizados y validados, dichas actividades no fueron incluidas en el presente cálculo de la huella de carbono, a fin de mantener la consistencia metodológica y la representatividad de los resultados.

b) Cálculo de la huella de carbono

El cálculo de la huella de carbono en la nave principal del PCMASA 2 se realizó conforme a los lineamientos del GHG Protocol, aplicando la siguiente fórmula general:

$$\text{Huella de Carbono (tCO}_2\text{e)} = \text{Dato de la actividad} \times \text{Factor de emisión}$$

Ecuación 1. Fórmula general Cálculo Huella de Carbono

Fuente: MITECO (2023)

Según el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO, 2023), cada parámetro se define de la siguiente manera:

- *Dato de la actividad:* Parámetro que define el grado de la actividad (ej.: litros de gasóleo C, kg residuos)
- *Factor de emisión normalizado:* supone la cantidad de GEI emitidos por cada unidad del parámetro "dato de la actividad" (ej.: 2,868 kgCO₂/L).

La unidad utilizada para exponer los resultados es la tCO₂e (tonelada de CO₂ equivalente), unidad universal de medida que indica el potencial de calentamiento global (PCG) de cada uno de los gases efecto invernadero, expresado en términos del PCG de una unidad de dióxido de carbono. Se utiliza para medir el impacto sobre el cambio climático de la liberación de diferentes gases de efecto invernadero a través de una misma unidad (MITECO, 2021).

En el caso del cálculo individual de las principales especies químicas de la huella de carbono (CO₂, CH₄ y N₂O), los factores de emisión utilizados del UK GOVERNMENT, 2024 ya están expresados en CO₂ equivalente, lo que significa que el potencial de calentamiento global (PCG o GWP) ya fue aplicado.

Para fines del PCMASA 2, se desarrolló una calculadora propia de huella de carbono, la cual se presenta a través del **Anexo 1: Calculadora Huella de Carbono**.



3.2.4. Fase V. Selección de los instrumentos de recogida de datos

Para esta etapa, se recurrió a diferentes tipos de instrumentos y métodos de recopilación que aseguran la trazabilidad, consistencia y representatividad de los datos:

a) *Instrumentos documentales:*

- Registros internos de consumo de combustible, refrigerantes, electricidad, materiales y residuos.
- Inventarios de residuos generados, clasificados por tipo (peligrosos y no peligrosos).
- Protocolos operativos internos de gestión ambiental o de mantenimiento.
- Listas de verificación (Checklist).

b) *Observación directa en campo (11 de marzo del 2025):*

- Visita presencial de los procesos operativos, con el fin de determinar potenciales fuentes de emisión.
- Verificación visual de contenedores de residuos, maquinaria, y prácticas internas.

c) *Encuestas, entrevistas y validación con el personal técnico:*

- Consultas con responsables de ingeniería y medio ambiente.
- Encuesta de movilidad personal directo (**Anexo 2: Encuesta de Movilidad 2024**).

Ante la ausencia de datos específicos sobre consumos energéticos, generación de residuos y funcionamiento de calderas en la nave principal, las emisiones de GEI se han estimado en función de la superficie construida, aplicando un método de estimación indirecta.

A partir de esta fase, se estructuró una base de datos de actividad por tipo de fuente emisora, año de referencia y alcance, permitiendo realizar los cálculos de emisiones y su posterior validación técnica.

3.2.5. Fase VI. Diseño del Plan acción para la de minimización de residuos y emisiones

En esta última fase metodológica se diseñó un Plan de acción para la Minimización de residuos y emisiones con base en los resultados obtenidos durante el cálculo de la huella de carbono y el diagnóstico ambiental del PCMASA 2. El objetivo principal de esta fase fue proponer estrategias viables, medibles y sostenibles que permitan reducir de forma significativa el impacto ambiental de las actividades realizadas en la nave principal del centro.

El diseño del plan se estructuró a partir de los principios de la jerarquía de gestión de residuos y los enfoques de economía circular y eficiencia operativa, con especial atención en las prácticas aplicables al ámbito militar.

En esta fase se desarrollaron las siguientes actividades:

- a) Revisión de buenas prácticas nacionales e internacionales en sostenibilidad y gestión ambiental en contextos militares e industriales, incluyendo estrategias aplicadas en otros centros logísticos del Ministerio de Defensa.



- b) Identificación de puntos críticos de generación de residuos y emisiones dentro de los procesos operativos de la nave, a partir del inventario y los resultados del análisis cuantitativo.
- c) Priorización de áreas de intervención, en función de criterios como:
 - Volumen y peligrosidad de los residuos generados.
 - Viabilidad técnica y económica de la intervención.
 - Impacto potencial en la reducción de GEI.
 - Grado de control operativo sobre las fuentes emisoras.



4. RESULTADOS

Este capítulo presenta los resultados del cálculo de la huella de carbono y la evaluación de la generación de residuos en la nave principal del Parque y Centro de Mantenimiento de Sistemas Acorazados N° 2 (PCMASA 2) para el año 2024, ejercicio realizado por primera vez en la instalación.

La elección de la nave principal responde a criterios de representatividad y viabilidad, dado que concentra la mayor parte de las operaciones con impacto ambiental significativo y cuenta con la información más completa y confiable en materia de consumos y residuos. De este modo, el estudio se plantea como un ejercicio piloto, que permite aplicar la metodología del GHG Protocol en un entorno controlado y establecer una base sólida para futuras ampliaciones al resto de las instalaciones del centro.

Los resultados se presentan en apartados que incluyen datos de actividad, emisiones por alcance y gas, caracterización de residuos, y la identificación de puntos críticos con propuestas de acción.

4.1. DATOS DE ACTIVIDAD

El cálculo de la huella de carbono de la nave principal del PCMASA 2 se realizó a partir de la recopilación y análisis de los datos de actividad correspondientes al año 2024, organizados según las fuentes emisoras identificadas en los alcances 1, 2 y 3 establecidos por el GHG Protocol.

4.1.1. Alcance 1: Emisiones directas

- *Combustión estacionaria: Calderas (gasóleo tipo C)*

En cuanto al consumo de gasóleo tipo C, los datos utilizados provienen de la información directa suministrada por la base. Este combustible se emplea específicamente en las calderas para la climatización y producción de calor en las instalaciones. Dado que no se cuenta con un registro específico para la nave principal, se asumió como referencia el consumo total de las calderas de toda la base. A partir de este dato, se calculó un consumo unitario por metro cuadrado de superficie, que posteriormente se aplicó a la superficie de la nave principal para estimar su consumo, considerando que las calderas abastecen de forma conjunta a las diferentes áreas operativas.

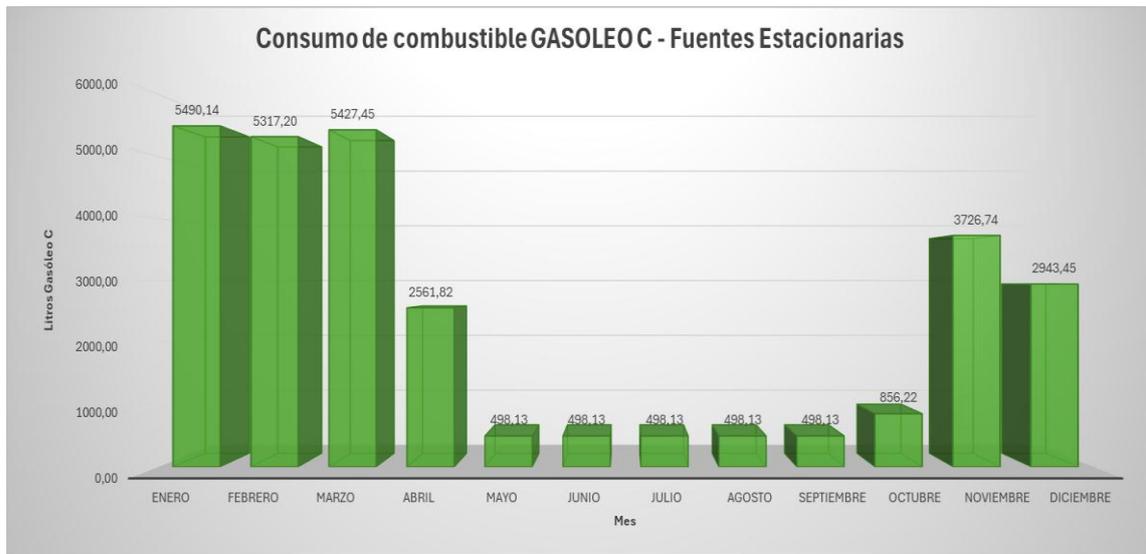


Figura 7. Consumos mensuales de combustible gasóleo tipo C – fuentes estacionarias

Fuente: PCMASA 2, 2025

El consumo de gasóleo C en fuentes estacionarias muestra un claro patrón vinculado a las estaciones del año. Durante el invierno (enero, febrero y marzo) se registran los valores más altos, con 5490,14 L, 5317,20 L y 5427,45 L respectivamente, reflejando la elevada demanda de calefacción propia de esta temporada. Con la llegada de la primavera, el consumo desciende notablemente, situándose en abril en 2561,82 L y alcanzando valores mínimos durante los meses de verano (mayo a septiembre), con consumos constantes de 498,13 L mensuales, asociados principalmente a usos básicos o de mantenimiento. En otoño, el gasto de combustible comienza a incrementarse, registrando 856,22 L en septiembre, 3726,74 L en octubre, y marcando el inicio de la temporada invernal.

- *Combustión móvil: Acorazados (gasóleo tipo A)*

En el caso particular del consumo de gasóleo tipo A, el cual es empleado principalmente en las pruebas de funcionamiento de los vehículos tras su mantenimiento, se llevó a cabo un registro detallado para cada unidad ingresada a la nave principal para el año 2024. Para cada vehículo, se determinó el consumo en función del rendimiento específico del motor (L/h) y del tiempo total de operación durante la prueba.

Tabla 3. Unidades en mantenimiento año 2024 (nave principal)

MES	PRUEBAS 2024		
	TOA	ATP	CENTAURO
Enero	0	0	0
Febrero	8	0	0
Marzo	0	0	0
Abril	1	0	0
Mayo	0	1	0
Junio	0	0	0
Julio	0	1	0

MES	PRUEBAS 2024		
	TOA	ATP	CENTAURO
Agosto	0	0	0
Septiembre	12	0	0
Octubre	1	0	0
Noviembre	0	1	0
Diciembre	0	0	0

Fuente: PCMASA 2, 2025

Tabla 4. Consumos y duración pruebas unidades en mantenimiento año 2024

CONSUMOS	L/hora
TOA	32
CENTAURO	76
ATP	64
Duración prueba	hora
	1,5

Fuente: PCMASA 2, 2025

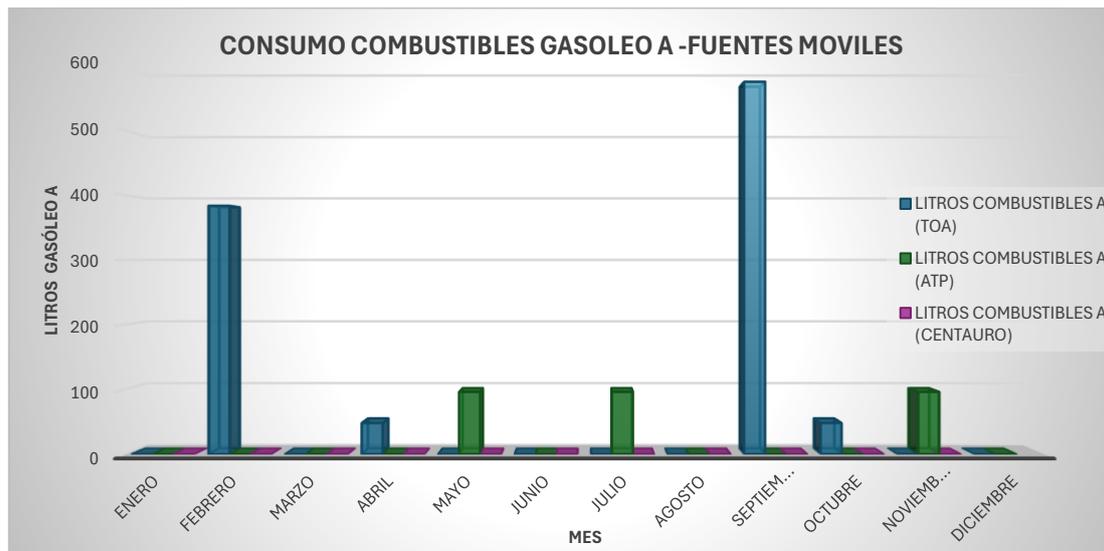


Figura 8. Consumos mensuales de combustible Gasóleo A – fuentes móviles

Fuente: PCMASA 2, 2025

El consumo de gasóleo A por categoría de vehículo en pruebas presentó el siguiente patrón durante el año 2024:

- **TOA:** Mayor consumidor, con picos en febrero (380 L) y septiembre (>550 L), asociados a pruebas intensivas; consumo bajo el resto del año salvo incrementos moderados en abril y octubre.
- **ATP:** Consumo moderado, concentrado en mayo, julio y noviembre (aproximadamente 100 L cada uno), con valores mínimos en los demás meses.
- **CENTAURO:** No se registraron vehículos para pruebas en el año analizado.

Este perfil refleja que el uso del gasóleo tipo A en la nave principal depende principalmente de la programación de pruebas y maniobras específicas.

- *Fugas y manipulación de gases refrigerantes*

Para el caso de las fugas y manipulación de gases refrigerantes, a petición de la base, únicamente se consideraron aquellos asociados a los equipos de aire acondicionado. Según lo informado por el personal durante la visita técnica, y respaldado por el listado de equipos entregado en la misma, cada unidad recibe una recarga anual. Este dato se utilizó como base para estimar las emisiones derivadas de este concepto, considerando el tipo de gas y la cantidad recargada en cada equipo.

Tabla 5. Listado equipos refrigerantes tipo de aire acondicionado nave principal

No.	UBICACIÓN	MARCA	MODELO	TIPO GAS	CARGA GAS
1	Jefe taller automoción	MIDEA	MSH 18 HRN1 SPLIT	410-A	1730 g
2	Oficina unidad de mantenimiento	MIDEA	MSE 24 HRN 1	407-C	2360 g
3	Jefe sección automoción	MIDEA	MSH 18 HRN1 SPLIT	410-A	2360 g
4	Oficina taller de armamento	MIDEA	MSH09 HRN1 SPLIT	407-C	890 g
5	Armamento jefe taller	MIDEA	MSH09 HRN1 SPLIT	407-C	890 g
6	Infraestructura/medio ambiente	ARTRON	MSH12 HRN2 SPLIT	407-C	1430 g
7	Infraestructura/medio ambiente	ARTRON	MSH12 HRN2 SPLIT	407-C	1430 g
8	Infraestructura/medio ambiente	MIDEA	MSH18 HRN2 SPLIT	407-C	1430 g
9	Jefe de seguridad y PRL	MIDEA	MSH18 HRN2 SPLIT	407-C	1430 g
10	Jefe de seguridad y PRL	MIDEA	MSH09 HRN1 SPLIT	407-C	830 g

Fuente: PCMASA 2, 2025

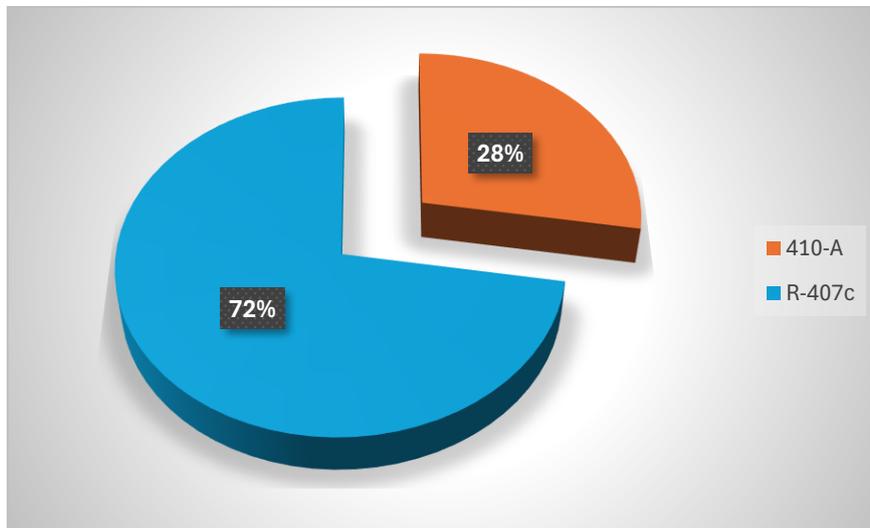


Figura 9. Proporción recarga de gases refrigerantes equipos de refrigeración tipo aire acondicionado en la nave principal PCMASA 2.

Fuente: PCMASA 2, 2025

La **Figura 9** muestra que el 72% de las recargas de aires acondicionados se realizan con R-407C y el 28% con R-410A, lo que indica un parque mayoritariamente compuesto por equipos antiguos o adaptados, menos eficientes y con mayor riesgo de fugas, mientras que los sistemas más modernos con R-410A aún son minoría. Ambos refrigerantes, aunque no dañan la capa de ozono, tienen un alto potencial de calentamiento global (Torres, 2018), por lo que su uso implica un impacto ambiental

significativo y posibles restricciones futuras, haciendo necesaria una transición hacia tecnologías más eficientes y refrigerantes de bajo PCG.

4.1.2. Alcance 2: Emisiones indirectas por consumo energético

- *Consumos de energía eléctrica*

En relación con los consumos eléctricos, dado que la base no cuenta con micromedidores individuales, se consideraron los registros correspondientes al consumo total de la instalación. Estos datos fueron proporcionados por el personal del PCMASA 2, responsables del control y seguimiento de estos. Para estimar el consumo correspondiente a la nave principal, se calculó un índice de consumo eléctrico por metro cuadrado a partir del total de la base, aplicándolo posteriormente al área de la nave, bajo el supuesto de que la demanda energética por superficie es homogénea en las distintas zonas.

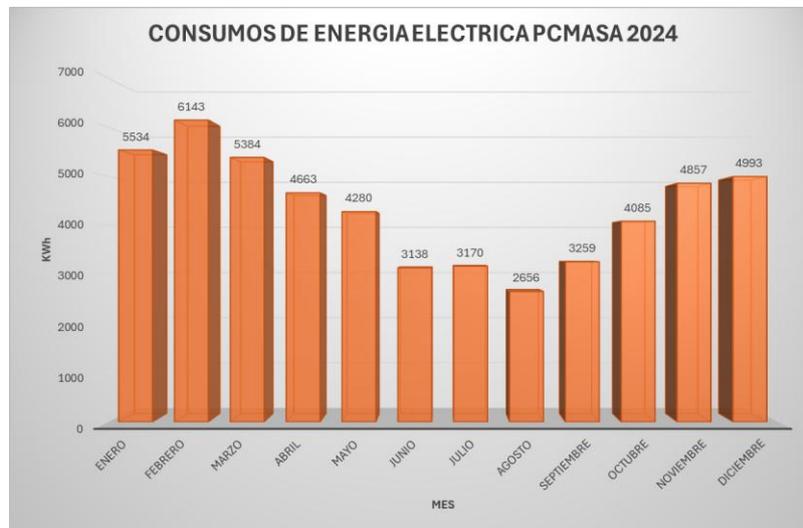


Figura 10. Consumos mensuales energía eléctrica año 2024

Fuente: PCMASA 2, 2025

La **Figura 10** refleja el consumo total de energía eléctrica de toda la base PCMASA 2 en 2024. Se observa un pico máximo en febrero con 6143 kWh y un mínimo en agosto con 2656 kWh, lo que evidencia una marcada estacionalidad, con consumos más altos en los primeros y últimos meses del año y una reducción progresiva hacia la mitad del año. Esta variación podría estar vinculada a cambios en la actividad general de la base, periodos de menor producción o menor uso de equipos, lo que sugiere oportunidades para optimizar la eficiencia energética especialmente en los meses de mayor demanda.

4.1.3. Alcance 3: Otras emisiones indirectas

- *Categoría 5: Residuos de las operaciones de la organización.*

Con el fin de mantener la coherencia metodológica con otras categorías de emisiones y ante la ausencia de datos desagregados por áreas, se optó por aplicar también el criterio proporcional en función de la superficie para estimar los residuos generados en la nave principal. Este enfoque se considera un método conservador, verificable y



trazable, aun cuando la intensidad de uso de la nave pudiera dar lugar a una mayor proporción de residuos respecto a la superficie que ocupa.

La superficie útil de la instalación se estimó basando en los planos entregados por la base, la cual es de 31720 m², mientras que la nave principal ocupa 9029 m², lo que representa aproximadamente un 28,5 % del total. Lo anterior, partiendo de la hipótesis de que la producción de residuos se distribuye de manera homogénea en relación con el área ocupada, la fracción correspondiente a la nave se obtuvo multiplicando la generación total de residuos de la base por dicho porcentaje.

Es de anotar que, dado que las distintas zonas de la base presentan usos y actividades diversas, la generación de residuos obtenida para el conjunto de la instalación podría no reflejar con precisión la realidad de la nave principal. Para reducir esta incertidumbre, se recomienda, en futuros cálculos, aplicar factores de generación diferenciados por tipo de actividad u ocupación, o realizar mediciones directas en la nave para futuros trabajos.

Tabla 6. Producción anual de residuos no peligrosos y gestores autorizados PCMASA 2. Año 2024.

Descripción	Código LER	Cantidad anual producida PCMASA2 (kg)	Cantidad anual producida NAVE (kg)	NOMBRE DEL GESTOR DE RESIDUOS AUTORIZADO
Restos de comida	200108	2900	825,48	FCC
Plástico	200139	2200	626,22	ACR
Vidrio	200102	1250	355,81	HIJO DE PLÁCIDO HDEZ.
Palets usados (no reutilizables), y otros restos de madera	200138	14200	4041,99	MADERAS Y EMBALAJES BARTOLOME
Papel y cartón	200101	9980	2840,78	HIJO DE PLÁCIDO HDEZ.
Metal (chatarra)	200140	25600	7286,96	HIJO DE PLÁCIDO HDEZ./HIERROS FORO
Caucho (Neumáticos y zapatas de CC,s)	160103	38500	10958,91	FOSIMPE, S.L.
Residuos de construcción y demolición	170107	15540	4423,41	FOSIMPE, S.L.
Restos de podas y jardinería	200201	11640	3313,29	NEVADO

Fuente: PCMASA 2, 2025

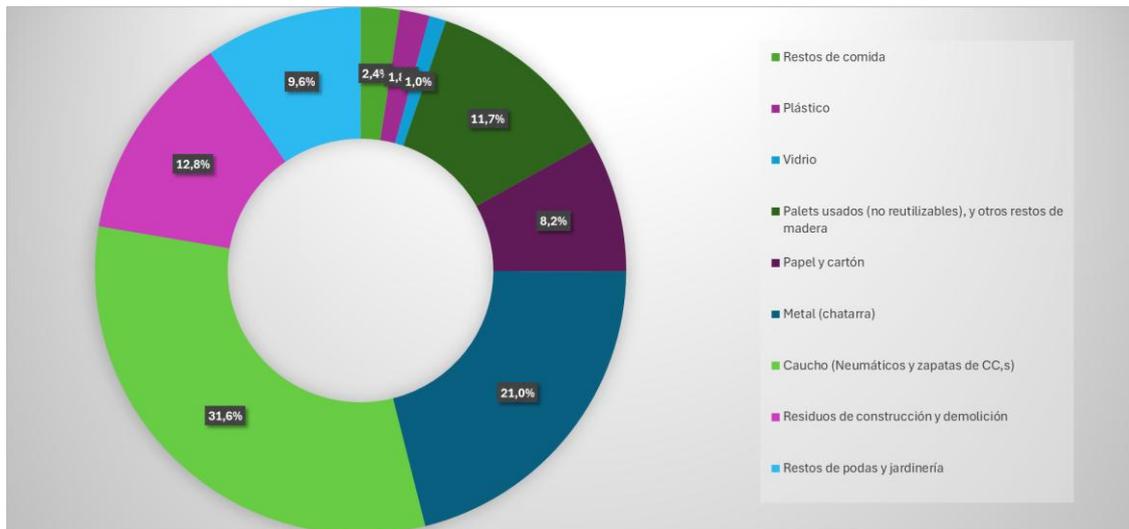


Figura 11. Clasificación porcentual de residuos no peligrosos generados 2024

Fuente: PCMASA 2, 2025

La **Figura 1** evidencia que la fracción mayoritaria de residuos no peligrosos corresponde al caucho (neumáticos y zapatas de CC,s), con un 31,6 %, directamente vinculado a las operaciones de mantenimiento y sustitución de componentes. Esta categoría, por su volumen y características, requiere gestión especializada a través de gestores autorizados.

En segundo lugar, destaca la chatarra metálica (21,01 %), asociada también a actividades de mantenimiento y reparación de maquinaria, con un alto valor de recuperación en el mercado secundario.

Otras fracciones significativas son los residuos de construcción y demolición (12,8 %) y los palets y restos de madera no reutilizables (11,65 %), que reflejan la necesidad de establecer canales de valorización específicos para minimizar su envío a vertedero.

Asimismo, se generan restos de podas y jardinería (9,6 %) y papel y cartón (8,19 %), ambos con elevado potencial de valorización: el primero mediante compostaje o biomasa, y el segundo a través de reciclaje.

Por último, se identifican fracciones minoritarias como restos de comida (2,38 %), plásticos (1,81 %) y vidrio (1,03 %), que, aunque representan porcentajes reducidos, deben ser igualmente segregados y gestionados para su adecuada valorización.

Tabla 7. Producción anual de residuos peligrosos y gestores autorizados PCMASA 2. Año 2024.

Descripción	Código LER	Cantidad anual producida PCMASA2 (kg)	Cantidad anual producida NAVE (kg)	Nombre del gestor de residuos autorizado
Pilas	160605*	15	4,27	FCC
Baterías de plomo	160601*	420	119,55	BIOTRAN

Descripción	Código LER	Cantidad anual producida PCMASA2 (kg)	Cantidad anual producida NAVE (kg)	Nombre del gestor de residuos autorizado
Aceite usado de motores, transmisiones y aceites de freno	130206*	6700	1907,13	BIOTRAN
Grasas y lubricantes (grasa consistente)	120112*	78	22,20	BIOTRAN
Disolventes no halogenados (Residuos químicos procedentes de la limpieza de aparatos y piezas)	140603*	200	56,93	BIOTRAN
Lodos de separadora de aceites del lavadero de vehículos	130502*	20450	5821,03	BIOTRAN
Aguas con hidrocarburos	130507*	1390	395,66	BIOTRAN
Envases o residuos de envases que hayan contenido sustancias peligrosas (envases vacíos contaminados, etc.)	150110*	20	5,69	BIOTRAN
Material inerte manchado con residuos peligrosos (trapos, cartón, absorbente, metal, etc.)	150202*	504	143,46	BIOTRAN
Filtros de aceite	160107*	307	87,39	BIOTRAN
Pequeños aparatos eléctricos desechados, cables, etc.	200135*	276	78,56	BIOTRAN
Fluorescentes y lámparas de sodio	200121*	70	19,93	BIOTRAN
Cartuchos de tinta y tóner	200127*	9	2,56	SEGOCOMPUTER
Filtros de aire	160199*	180	51,24	BIOTRAN
Anticongelante	160114*	730	207,79	BIOTRAN
Polvo de granallado	120116*	3191	908,31	SAFETY KLEEN
Tierra contaminada	170503*	548	155,99	BIOTRAN
Líquido hidráulico	130113*	250	71,16	BIOTRAN

Fuente: PCMASA 2, 2025

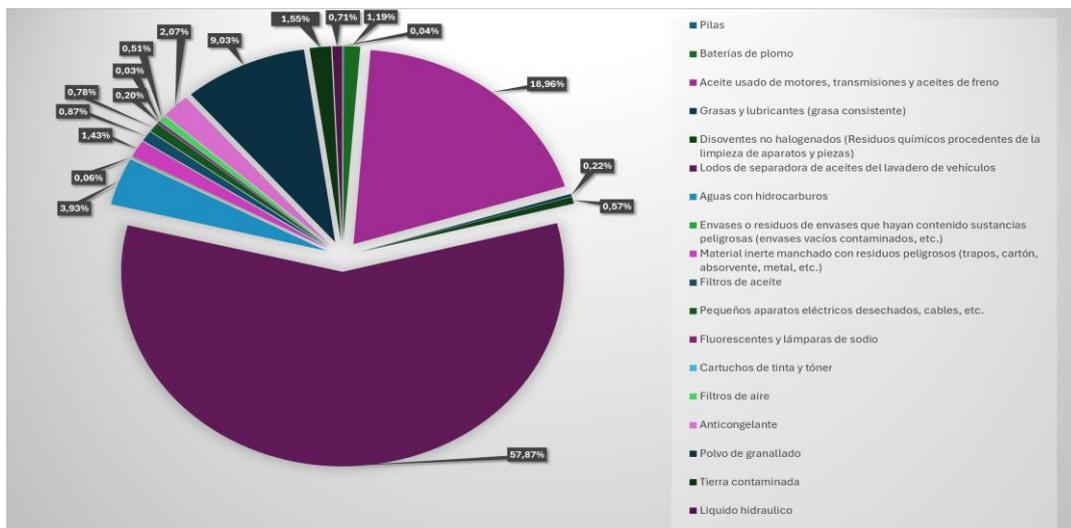


Figura 12. Clasificación porcentual de residuos peligrosos generados 2024

Fuente: PCMASA 2, 2025



La **Figura 12** refleja que los residuos peligrosos de mayor generación están directamente vinculados con las operaciones de limpieza, lubricación y reparación de vehículos blindados. Los lodos de la separadora de aceites del lavadero de vehículos constituyen la fracción predominante (57,87 %), lo que evidencia la intensidad de las tareas de lavado y descontaminación de los sistemas acorazados.

En segundo lugar, el aceite usado de motores, transmisiones y frenos (18,96 %) confirma la alta demanda de mantenimiento preventivo y correctivo de los sistemas de propulsión y movilidad. A continuación, el polvo de granallado (9,03 %) representa una fracción significativa asociada a operaciones de tratamiento de superficies y mantenimiento de blindajes.

Otros residuos con proporciones relevantes son las aguas con hidrocarburos (3,93 %) y el anticongelante (2,07 %), derivados de actividades de limpieza y refrigeración. En cantidades menores aparecen materiales inertes manchados (1,43 %), baterías de plomo (1,19 %), filtros de aceite (0,87 %), aparatos eléctricos desechados (0,78 %) y líquido hidráulico (0,71 %), todos ellos vinculados a operaciones de mantenimiento especializado.

Finalmente, se identifican fracciones residuales de menor incidencia como disolventes no halogenados (0,57 %), filtros de aire (0,51 %), grasas y lubricantes (0,22 %), fluorescentes y lámparas de sodio (0,20 %), pilas (0,04 %), cartuchos de tinta y tóner (0,03 %) y envases contaminados (0,06 %), cuya gestión diferenciada resulta imprescindible para garantizar el cumplimiento normativo.

Por último, en la **Tabla 8** se muestra la producción anual de residuos biosanitarios no contaminados, en el cual se estimó un total de 5,2 kg anuales, proveniente muy probablemente de botiquines de primeros auxilios dentro de la nave.

Tabla 8. Producción anual de residuos (Grupo III Sanitarios) y gestores autorizados PCMASA 2. Año 2024.

Descripción	Código LER	Cantidad anual producida PCMASA2 (kg)	Cantidad anual producida NAVE (kg)	Nombre del gestor de residuos autorizado
Residuos biosanitarios (botiquín, DDD y hospitales) objetos cortantes	180101	18	5,12	RENTOKIL INITIAL

Fuente: PCMASA 2, 2025

- *Categoría 7: Transporte de empleados*

Para el caso del traslado de empleados correspondiente al Alcance 3, se llevó a cabo una encuesta de movilidad mediante Microsoft Forms, la cual fue enviada a los 89 empleados directos de PCMASA 2. La encuesta estuvo disponible entre el 29 de mayo y el 17 de julio, y fue respondida por un total de 44 colaboradores (casi un 50%), de los cuales dos diligenciaron el formulario en formato físico.

Los resultados de la encuesta son los consignados a continuación a través de la **Figura 13** y **Tabla 9**:

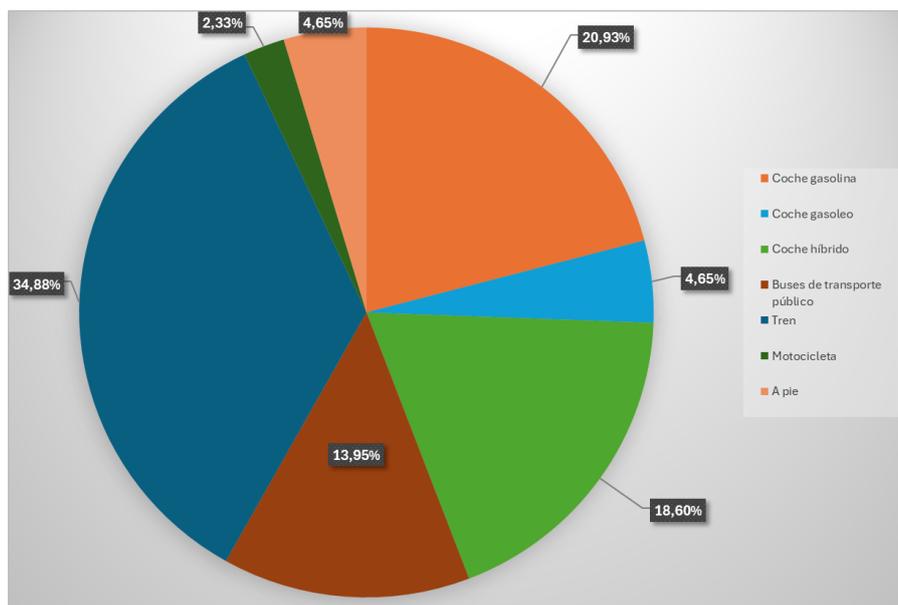


Figura 13. Distribución de patrones de movilidad según encuesta año 2024
Fuente: Elaboración propia, 2025

Tabla 9. Distancias recorridas y aporte relativo por tipo de transporte en desplazamientos del personal.

Tipo	Distancia (km)	Aporte individual km
Coche gasolina	36824	4,18%
Coche gasóleo	400140	45,45%
Coche híbrido	4160	0,47%
Buses de transporte público	3640	0,41%
Tren	425360	48,31%
Motocicleta	5200	0,59%
A pie	5148	0,58%
Subtotal desplazamientos personal total 2024	880472 km	

Fuente: Elaboración propia, 2025

La movilidad del grupo de 44 personas directas del PCMASA 2 encuestado está fuertemente marcada por el transporte ferroviario y el uso del coche, con una baja representación de la movilidad activa (a pie) y de vehículos ligeros como la motocicleta.

El mayor volumen de kilómetros se concentra en el tren (48,31%) y el coche a gasóleo (45,45%), que juntos representan más del 93% de los desplazamientos. Esta situación evidencia una dependencia alta del transporte privado contaminante, en contraste con la buena aceptación del tren como alternativa más sostenible. El coche gasolina (4,18%) aporta una fracción menor, aunque todavía significativa frente a opciones como el coche híbrido (0,47%), los buses de transporte público (0,41%), la motocicleta (0,59%) y los trayectos a pie (0,58%), que presentan valores residuales.

4.2. FACTORES DE EMISIÓN APLICADOS

Los factores de emisión aplicados para el presente cálculo se presentan en la tabla “factores de emisión” integrada en la calculadora desarrollada y presentada en el



Anexo 3: Factores de emisión. La tabla contiene información sobre Valor, unidad, fuente y Categorización elegida dentro de base elegida para el factor de emisión.

4.3. CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO

El cálculo de emisiones de GEI se consolidó a través de la calculadora desarrollada para el PCMASA 2 y basada en la calculadora MITECO. Ésta es presentada en el **Anexo 1**.

En los apartados siguientes se presentan los resultados de la cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), obtenidos a través de la herramienta de cálculo, desagregados por cada uno de los alcances definidos en la metodología del GHG Protocol e interpretados conforme a los lineamientos de la norma ISO 14064-1:2018, incluyendo además el resultado consolidado a nivel organizacional.:

4.3.1. Alcance 1: Emisiones directas

- *Combustión estacionaria: Calderas (gasóleo tipo C)*

En las siguientes tablas se detallan las emisiones resultantes mensuales para el año 2024 en el PCMASA 2 en relación con el consumo de gasóleo tipo C de las calderas que abastecen a la nave principal:

Tabla 10. Emisiones anuales debidas al consumo de gasóleo tipo C en calderas que abastecen a la nave principal. Año 2024.

Edificio	Tipo	Consumo (L)	Factor de Emisión			Emisiones			
			kgCO ₂ /l	gCH ₄ /L	gN ₂ O/L	tCO _{2e}	tCH ₄	tN ₂ O	tCO _{2eq}
PCMASA2	gasóleo tipo C	101.226,05	2,881	0,389	0,023	83,012	0,0112	0,00066	83,02

Fuente: Elaboración propia, 2025

Tabla 11. Emisiones mensuales debidas al consumo de gasóleo tipo C en edificios año 2024

MES	Gasóleo C (L)	tCO _{2e}	% Emisiones
Enero	5490,14	15,910	19
Febrero	5317,20	15,409	18
Marzo	5427,45	15,729	19
Abril	2561,82	7,424	9
Mayo	498,13	1,444	2
Junio	498,13	1,444	2
Julio	498,13	1,444	2
Agosto	498,13	1,444	2
Septiembre	498,13	1,444	2
octubre	856,22	2,481	3
Noviembre	3726,74	10,800	13
Diciembre	2943,45	8,530	10
Total	28813,68	83,502	100

Fuente: Elaboración propia, 2025

Desde el punto de vista de la huella de carbono, los datos muestran que el consumo de gasóleo C, un combustible fósil utilizado principalmente para calefacción, es el principal generador de emisiones de CO₂ equivalente en el periodo analizado. La

estacionalidad es muy marcada: entre enero y marzo se concentra el 56% de las emisiones anuales, mientras que entre mayo y septiembre la contribución es mínima (aproximadamente 10%). Esto evidencia que la mayor parte de la huella de carbono está asociada al uso intensivo de gasóleo C en los meses fríos, cuando la demanda térmica es más alta. El repunte observado desde octubre hasta diciembre confirma esta tendencia. Para reducir la huella de carbono derivada del gasóleo C, es fundamental actuar en los periodos de mayor consumo, mejorando la eficiencia de los sistemas de calefacción, optimizando el aislamiento de los edificios y avanzando hacia fuentes energéticas con menor intensidad de carbono (a corto plazo la transición a gas natural siempre que haya red disponible), lo que permitiría disminuir de forma significativa las emisiones más críticas del año.

- *Combustión móvil: Acorazados (gasóleo tipo A)*

De acuerdo con la información de cantidades reportadas en el ítem 6.1.1 se han recopilado los datos de consumo de combustible de los vehículos acorazados del parque de mantenimiento para el año 2024. Los resultados de emisiones obtenidos a partir de estos consumos se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 12. Emisiones anuales debidas a consumo de gasóleo A por vehículos sacados de mantenimiento. Año 2024

Edificio	Tipo combustible	Consumo (L)	Factor de Emisión			Emisiones			
			kgCO ₂ /L	gCH ₄ /L	gN ₂ O/L	tCO ₂	tCH ₄	tN ₂ O	tCO _{2e}
PCMASA2	gasóleo tipo A	1344,00	2,501	0,362	0,022	3,361	0,0005	0,00003	3,362

Fuente: Elaboración propia, 2025

Tabla 13. Distribución de emisiones por tipo de vehículo sacado de mantenimiento - consumo de gasóleo A. Año 2024.

TIPO VEHICULO	Litros consumidos (L)	tCO _{2e}	% Emisiones
TOA	1056,0	2,658	78,6
ATP	288,0	0,725	21,4
CENTAURO	0,0	0,000	0,0

Fuente: Elaboración propia, 2025

En el análisis de las emisiones asociadas al consumo de combustible de los vehículos acorazados en conservación, se observa que el TOA concentra la mayor parte del impacto, con 2,658 tCO_{2e} (78,67% del total) y un consumo de 1056 L en 2024. El ATP aporta 0,725 tCO_{2e} (21,4%) con 288 L consumidos, mientras que el CENTAURO no registra consumo ni emisiones en el periodo analizado. En total, la flota genera 3,38 tCO_{2e} para un consumo global de 1344 L. Es importante destacar que estos vehículos forman parte de un proceso de conservación en el que se han aplicado medidas de economía circular, lo que ha permitido prolongar su vida útil y optimizar recursos, reduciendo la necesidad de fabricar nuevos equipos y evitando así emisiones indirectas asociadas a la producción y transporte de unidades nuevas.

- *Fugas y manipulación de gases refrigerantes*

De acuerdo con la información suministrada en la base de datos de los equipos de aire acondicionado (ubicación, marca, modelo, tipo de gas y carga en gramos), se

identificó que los sistemas reciben una recarga anual de refrigerante. Con base en este criterio, el cálculo de la huella de carbono asociada a las fugas y manipulación de gases refrigerantes se realizó tomando en cuenta la cantidad de gas especificada para cada equipo, según su modelo y el tipo de gas utilizado (R-410A o R-407C).

Tabla 14. Emisiones debidas a fugas de equipos de climatización año 2024

EDIFICIO	Tipo	Recarga	Unidad	PCG	tCO _{2e}
Nave principal	410-A	4,09	kg	2256	9,23
	R-407c	10,75	kg	1908	20,51

Fuente: Elaboración propia, 2025

Según la **Tabla 14**, en la nave principal las emisiones de gases refrigerantes constituyen una fracción relevante de la huella de carbono, alcanzando un total de 29,73 tCO_{2e} derivadas de las recargas realizadas. El gas R-407c es el que mayor impacto genera (20,51 tCO_{2e}), debido a la mayor cantidad recargada, a pesar de presentar un PCG ligeramente inferior al del 410-A, que aporta 9,23 tCO_{2eq}. Estos resultados evidencian que, aunque las masas de gas utilizadas son reducidas, su elevado potencial de calentamiento global amplifica considerablemente su efecto sobre el cambio climático. Por tratarse de emisiones directas que se liberan a la atmósfera sin un proceso de mitigación natural rápido, resulta prioritario implementar un mantenimiento preventivo riguroso, minimizar fugas y avanzar hacia la sustitución de estos refrigerantes por alternativas con menor PCG.

4.3.2. Alcance 2: Emisiones indirectas por consumo energético

- *Consumos de energía eléctrica*

En el PCMASA 2, según lo informado, no cuentan con certificados de Garantía de Origen de la electricidad procedente de fuentes de energía renovable. De esta manera, las emisiones debidas al consumo eléctrico para cada edificio resultan del producto de los kWh consumidos y el factor del mix eléctrico nacional.

Tabla 15. Emisiones debidas al consumo de electricidad en edificios año 2024

Edificio	Cantidad	Unidad	Factor de Emisión	Unidad	Fuente Fe	tCO _{2e}
PCMASA2	52161,83	kWh	0,283	KgCO _{2e} /kWh	MITECO, 2024	14,76

Fuente: Elaboración propia, 2025

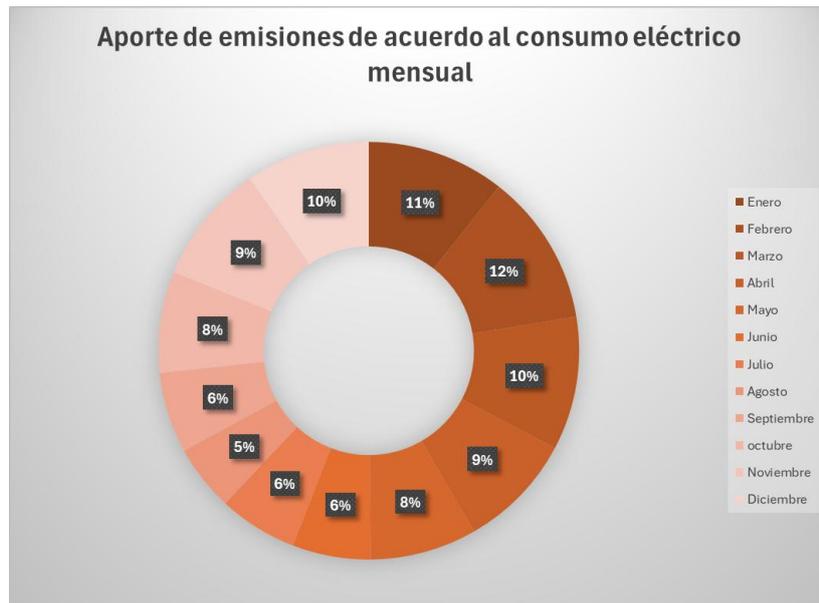


Figura 14. Distribución del aporte de emisiones de acuerdo con el consumo eléctrico mensual

Fuente: Elaboración propia, 2025

El gráfico anterior muestra que el aporte de emisiones derivadas del consumo eléctrico mensual presenta una distribución relativamente equilibrada a lo largo del año, con ligeras variaciones estacionales. Los meses de mayor contribución son febrero (12%), enero (11%) y marzo/diciembre (10% cada uno), lo que podría asociarse a picos de demanda vinculados a necesidades de climatización y actividad operativa. En contraste, junio/julio/agosto/septiembre registran los menores aportes (entre 5% y 6%), posiblemente por menor uso de equipos o reducción de actividad. Esta distribución sugiere que, aunque no existen desequilibrios extremos, la gestión de la eficiencia energética en los meses de mayor demanda podría reducir de forma significativa el total anual de emisiones.

4.3.3. Alcance 3: Otras emisiones indirectas

- *Categoría 5: Residuos de las operaciones de la organización*

En relación con el análisis de residuos sólidos, no fue posible incluir todos los tipos de residuos debido a la ausencia de factores de emisión oficiales para ciertos materiales. Asimismo, al no contar con una caracterización específica de la nave principal, se recurrió a una extrapolación basada en los residuos totales reportados por el PCMASA 2. En consecuencia, los resultados obtenidos constituyen una estimación parcial que deberá ser complementada en futuros estudios con información más detallada y con la inclusión de aquellos residuos actualmente no considerados, una vez se disponga de factores de emisión oficiales. Esto resulta especialmente relevante para los residuos que presentaron un peso significativo, como los lodos de la separadora de aceites del lavadero de vehículos, que alcanzaron un valor de 5.821,03 kg en el año 2024.



Tabla 16. Tratamiento residuos PCMASA 2

Tipo de residuo	Tratamiento
Restos de comida	Compostaje / Incineración Depósito /Reciclaje
Plástico	Reciclaje / Reutilización
Vidrio	Reciclaje
Palets usados (no reutilizables), y otros restos de madera	Reciclaje / Reutilización
Papel y cartón	Reciclaje
Metal (chatarra)	Reciclaje
Caucho (Neumáticos y zapatas de CC,s)	Reciclaje
Residuos de construcción y demolición	Reciclaje
Restos de podas y jardinería	Compostaje / Incineración Depósito /Reciclaje
Pilas	Reciclaje / Reutilización
Aceite usado de motores, transmisiones y aceites de freno	Reciclaje
Pequeños aparatos eléctricos desechados, cables, etc.	Reciclaje / Reutilización

Fuente: Elaboración propia, 2025

Tabla 17. Emisiones debidas a la gestión de residuos. Año 2024

Tipo de residuo	Cantidad Recogida	Unidad	Factor de Emisión	Unidad	Fuente Factor de emisión	tCO _{2e}
Restos de comida	825,48	kg	0,0089	kgCO _{2 e} /kg Residuo	UK GOVERNMENT, 2024	0,00733
Plástico	626,22	kg	0,0064	kgCO _{2 e} /kg Residuo	UK GOVERNMENT, 2024	0,00401
Vidrio	355,81	kg	0,0064	kgCO _{2 e} /kg Residuo	UK GOVERNMENT, 2024	0,00228
Palets usados (no reutilizables), y otros restos de madera	4041,99	kg	0,0064	kgCO _{2 e} /kg Residuo	UK GOVERNMENT, 2024	0,02591
Papel y cartón	2840,78	kg	0,0064	kgCO _{2 e} /kg Residuo	UK GOVERNMENT, 2024	0,01821
Metal (chatarra)	7286,96	kg	0,0064	kgCO _{2 e} /kg Residuo	UK GOVERNMENT, 2024	0,04671
Caucho (Neumáticos y zapatas de CC,s)	10958,91	kg	0,0064	kgCO _{2 e} /kg Residuo	UK GOVERNMENT, 2024	0,07025
Residuos de construcción y demolición	4423,41	kg	0,0010	kgCO _{2 e} /kg Residuo	UK GOVERNMENT, 2024	0,00436
Restos de podas y jardinería	3313,29	kg	0,6466	kgCO _{2 e} /kg Residuo	UK GOVERNMENT, 2024	0,02943
Pilas	4,27	kg	0,0064	kgCO _{2 e} /kg Residuo	UK GOVERNMENT, 2024	0,00003
Aceite usado de motores, transmisiones y aceites de freno	1907,13	kg	0,0064	kgCO _{2 e} /kg Residuo	UK GOVERNMENT, 2024	0,01223
Pequeños aparatos eléctricos desechados, cables, etc.	78,56	kg	0,0064	kgCO _{2 e} /kg Residuo	UK GOVERNMENT, 2024	0,00050

Fuente: Elaboración propia, 2025

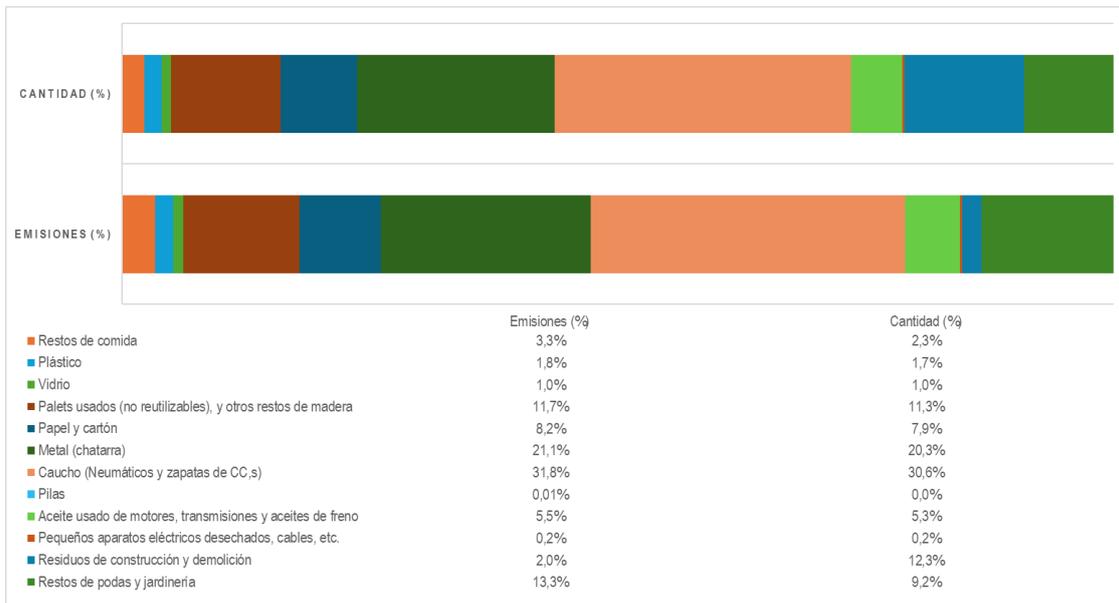


Figura 15. Distribución de la generación de residuos y de las emisiones según tipologías de residuos. Año 2024

Fuente: Elaboración propia, 2025

La **Figura 15** y la **Tabla 17** evidencian que el caucho (neumáticos y zapatas de CC,s) y la chatarra metálica, pese a clasificarse como residuos no peligrosos, concentran la mayor cantidad de residuos (30,6% y 20,3% respectivamente) y el mayor porcentaje de emisiones de GEI (31,8% y 21,1%), representando en conjunto más de la mitad del impacto total.

En contraste, otros residuos no peligrosos como los palets y restos de madera (11,3%), el papel/cartón (7,9%), los residuos de construcción y demolición (12,3%) y los restos de podas y jardinería (9,2%) mantienen una relación proporcional entre peso y emisiones (11,7%, 8,2%, 2,0% y 13,3% respectivamente). Esto los convierte a simple vista en candidatos prioritarios para programas de reutilización, valorización material y aprovechamiento energético, fortaleciendo cadenas de valor locales y la economía circular.

El aceite usado de motores, transmisiones y frenos, aunque representa solo un 5,3% en cantidad, aporta un 5,5% de las emisiones y presenta un alto riesgo ambiental por su carácter de residuo peligroso, lo que exige protocolos de gestión diferenciados y alianzas con gestores autorizados.

En el caso de los residuos como plásticos (1,7%), vidrio (1,0%) y restos de comida (2,3%), al ser no peligrosos y mostrar proporciones menores, pueden gestionarse mediante programas de separación en la fuente y acuerdos con gestores de recicladores locales. Por su parte, las pilas (0,01%) y los pequeños aparatos eléctricos (0,2%), aunque su contribución en peso y emisiones de GEI es mínima, contienen componentes peligrosos que no se reflejan en las emisiones medidas, lo que requiere sistemas de recolección diferenciada y disposición certificada.

De acuerdo con lo anterior, se sugiere que la estrategia de gestión de residuos sea enfocada en:

- Priorizar la reducción y valorización del caucho y la chatarra metálica, mediante convenios con industrias recicladoras y el fomento de tecnologías de aprovechamiento.
- Optimizar la reutilización y reciclaje de madera, papel/cartón, RCD y restos de jardinería, fortaleciendo cadenas de valor locales y fomentando opciones de compostaje para la fracción orgánica.
- Reforzar protocolos de manejo seguro de residuos peligrosos de bajo volumen (aceites usados, pilas, electrónicos), dado su riesgo ambiental.
- Impulsar la sensibilización y capacitación del personal en separación en la fuente, especialmente en residuos de baja proporción, pero de alto riesgo ambiental.

- *Categoría 7: Transporte de empleados*

Los resultados mostrados a continuación permitirán obtener una visión clara de las emisiones generadas por los traslados del personal que opera dentro de la nave principal del PCMASA 2 y, en consecuencia, desarrollar estrategias para optimizar la movilidad y promover opciones más sostenibles.

Tabla 18. Distancia y emisiones debidas al transporte interno. Año 2024.

Medio de transporte	Distancia recorrida		Factor de Emisión			Emisiones			
	km	%	kgCO ₂ /km	kgCH ₄ /km	kgN ₂ O/km	tCO ₂	tCH ₄	tN ₂ O	tCO _{2e}
Coche gasolina	36824	4,18%	0,164	0,00036	0,0003	6,03	0,0133	0,012	6,058
Coche gasóleo	400140	45,45%	0,168	0,00000	0,0017	67,29	0,0019	0,668	67,962
Coche híbrido	4160	0,47%	0,125	0,00019	0,0010	0,52	0,0008	0,004	0,524
Transporte público	3640	0,41%	0,108	0,00001	0,0007	0,39	0,0000	0,003	0,395
Tren	425360	48,31%	0,035	0,00008	0,0003	14,93	0,0340	0,119	15,083
Motocicleta	5200	0,59%	0,111	0,00177	0,0005	0,58	0,0092	0,003	0,591
A pie	5148	0,58%	0,000	0,00000	0,0000	0,00	0,0000	0,000	0,000

Fuente: Elaboración propia, 2025

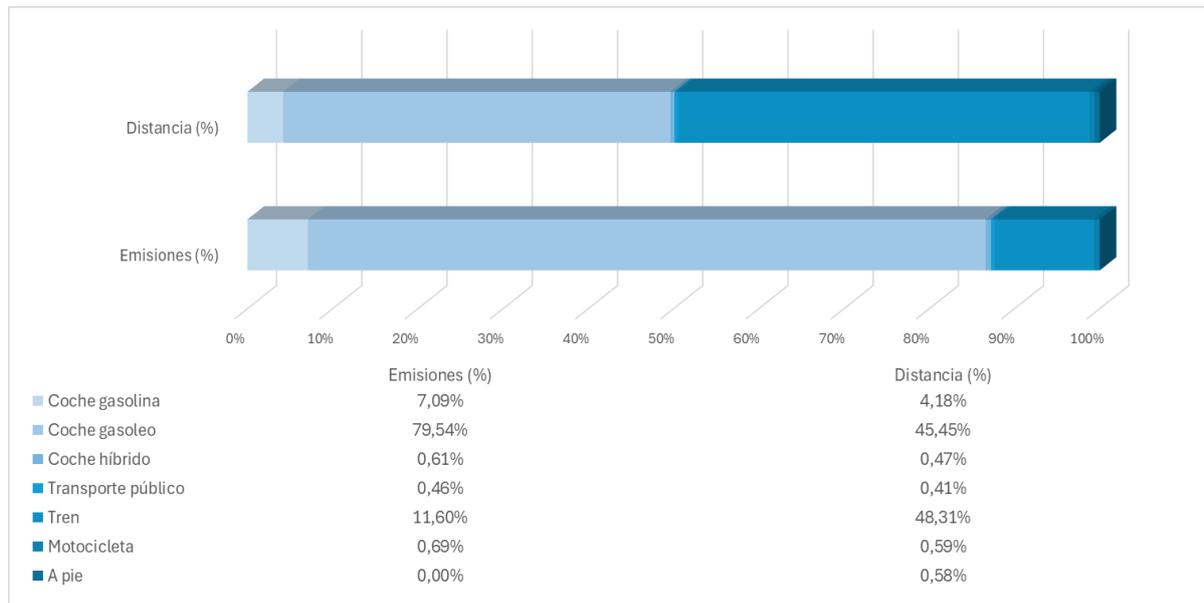


Figura 16. Emisiones y distancia recorrida según medio de transporte interno. Año 2024.

Fuente: Elaboración propia, 2025

La **Figura 16** y la **Tabla 18** muestran datos que indican que el coche a gasóleo es el principal generador de emisiones, a pesar de representar solo el 45,45% de la distancia recorrida, contribuyendo al 79,54% de las emisiones. En contraste, el tren recorre la mayor distancia (48,31%) pero genera solo el 11,60% de las emisiones. El coche de gasolina y las motocicletas tienen un impacto moderado en términos de distancias y emisiones, mientras que el transporte público y caminar contribuyen de manera mínima a las emisiones. Este análisis subraya la necesidad de promover opciones más sostenibles, como el uso de vehículos híbridos o eléctricos y el fomento del transporte público y la movilidad a pie, para reducir la huella de carbono de los traslados de los colaboradores.

Aunque los desplazamientos se realizan con vehículos ajenos a la organización, los datos muestran un margen de mejora claro en la reducción del uso del coche diésel, potenciando el tren y otros modos sostenibles. La estrategia, por tanto, debe centrarse en medidas de fomento, incentivo y sensibilización hacia una movilidad más limpia y eficiente.

4.3.4. Huella de carbono total de la organización

La huella de carbono estimada para 2024 de la **nave principal del PCMASA 2**, considerando los límites de la organización establecidos, corresponde a **221,69 tCO_{2e}**.

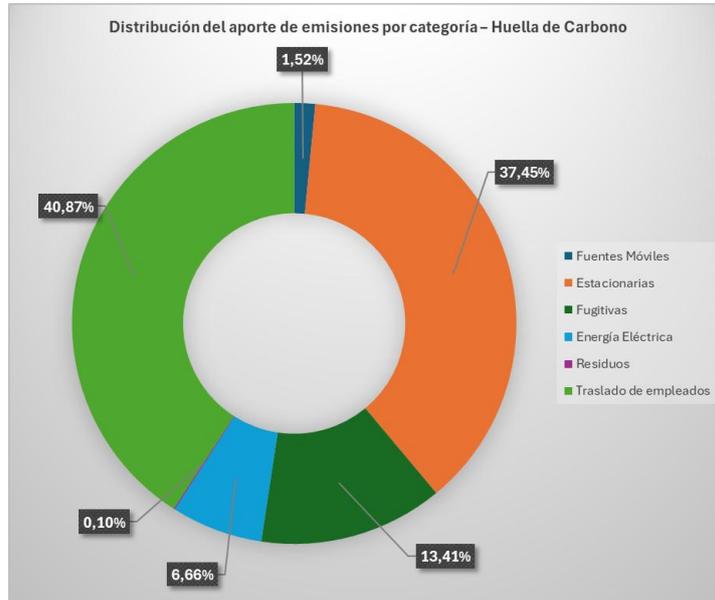


Figura 17. Distribución del aporte de emisiones por categoría (Huella de Carbono). Año 2024

Fuente: Elaboración propia, 2025

El análisis de la distribución de emisiones refleja que los principales focos de huella de carbono provienen del traslado de empleados (40,87%) y del consumo de gasóleo C en calderas (37,45%), que en conjunto suponen casi el 80% del total. Para el primer caso, se recomienda fomentar medidas de movilidad sostenible, tales como transporte colectivo empresarial, incentivos al uso compartido de vehículos, integración de medios eléctricos o híbridos, y el teletrabajo parcial cuando las funciones lo permitan. Respecto al consumo de gasóleo C, una solución prioritaria sería la sustitución progresiva de calderas por sistemas más eficientes y sostenibles, además de programas de eficiencia energética para optimizar el consumo.

En relación con las emisiones por fugas de refrigerantes (13,41%), la estrategia debe centrarse en la sustitución de gases de alto potencial de calentamiento global (GWP) por alternativas más sostenibles, junto con planes de mantenimiento preventivo para minimizar fugas. Las emisiones indirectas por electricidad (6,66%) podrían reducirse mediante la contratación de energía certificada de origen renovable y la instalación de autoconsumo fotovoltaico en la nave.

Finalmente, aunque las fuentes móviles derivadas de las pruebas a vehículos acorazados (1,52%) y la gestión de residuos (0,10%) tienen un impacto menor, aún ofrecen margen de mejora: en el primer caso, mediante pruebas con el uso de biocombustibles alternativos como por ejemplo el aceite vegetal tratado con hidrógeno (HVO) también conocido como gasóleo renovable, el cual a nivel europeo ya ha contado con pruebas de vehículos de uso militar en el reino unido (Espacio Aereo, 202). En el segundo, con programas de minimización, reutilización y reciclaje que contribuyan a la economía circular.

Los resultados son mostrados en la **Figura 18**, que representa a nivel general la distribución del aporte de emisiones por cada alcance analizado.

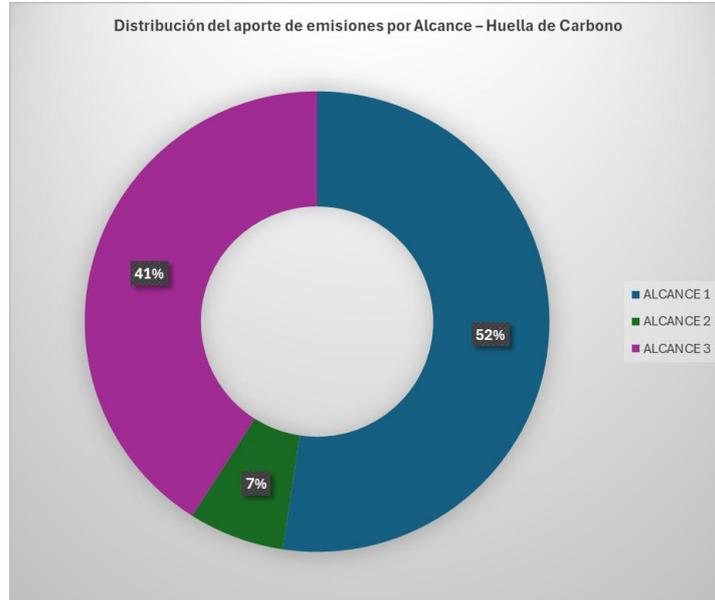


Figura 18. Distribución del aporte de emisiones por Alcance (Huella de Carbono). Año 2024

Fuente: Elaboración propia, 2025

La **Figura 18** evidencia que la mayor proporción de emisiones de la huella de carbono corresponde al Alcance 1 (52%), seguido del Alcance 3 (41%) y finalmente el Alcance 2 (7%). Esto indica que las emisiones directas provenientes de las operaciones del Parque y Centro de Mantenimiento de Sistemas Acorazados No. 2 son las más significativas, lo que requiere medidas prioritarias en la optimización de procesos internos, eficiencia en el uso de combustibles y control de emisiones de maquinaria y vehículos. No obstante, las emisiones indirectas de la cadena de valor (Alcance 3) y las asociadas al consumo de energía adquirida (Alcance 2) también representan áreas de mejora, siendo clave fortalecer la gestión con proveedores, transporte y el uso eficiente de energía para lograr reducciones integrales.

Finalmente, según lo reportado por la **Figura 19**, una aproximación sobre la distribución de la huella de carbono por vehículo acorazado con mantenimiento finalizado muestra un impacto claramente concentrado en el TOA, con 195,11 tCO_{2e} que representan el 88% del total de emisiones. En segundo lugar, el ATP aporta 26,61 tCO_{2e} (12%), mientras que el Centauro no registró emisiones en este periodo. Estos resultados reflejan que el TOA constituye el principal generador de emisiones, lo que lo convierte en el objetivo prioritario para implementar medidas de reducción y modernización tecnológica, mientras que el ATP, aunque con menor impacto, también requiere seguimiento.

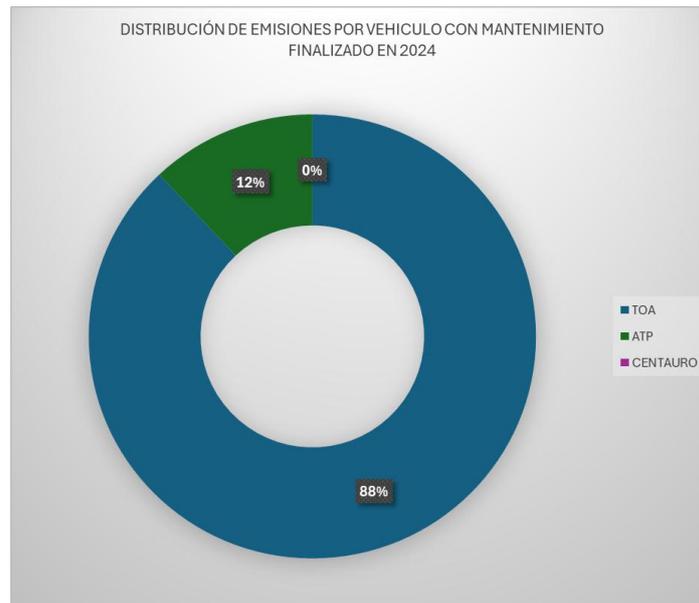


Figura 19. Distribución de emisiones por tipo de vehículo con mantenimiento finalizado. Año 2024

Fuente: Elaboración propia, 2025

Para futuros estudios, se recomienda desagregar la huella por tipo de mantenimiento, consumo de energía y materiales, lo que permitiría asignar de manera más precisa las emisiones a cada tipo de intervención sobre los vehículos.

4.4. ACCIONES PROPUESTAS PARA DESCARBONIZACIÓN Y MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS EN LA NAVE PRINCIPAL

Las acciones propuestas en este apartado buscan establecer medidas concretas y aplicables a los diferentes talleres que conforman la nave principal, orientadas a:

- Reducir la huella de carbono de las actividades de mantenimiento.
- Implementar prácticas de gestión eficiente de recursos energéticos y materiales.
- Promover la correcta segregación, valorización y disposición de residuos.
- Asegurar el cumplimiento normativo ambiental vigente y fortalecer la imagen institucional como organización comprometida con la sostenibilidad.



ACCION 1.

1. ACCION				
Acción 1. Optimización de la Gestión Ambiental con Herramientas Digitales Accesibles				
2. DESCRIPCION DE LA ACCION				
<p>Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el apartado anterior, la huella de carbono calculada para la nave principal del PCMASA 2 muestra que las emisiones directas y las indirectas derivadas del consumo de electricidad representan 59% del total de las emisiones de la organización. Esto lleva a la necesidad de que el sistema de gestión ambiental actual tenga una transición digita que se enfocará en utilizar herramientas digitales accesibles como hojas de cálculo, aplicaciones de monitoreo gratuitas y el uso de plataformas de software de bajo costo para realizar un seguimiento básico de las emisiones y residuos generados,</p>				
3. OBJETIVOS		4. INDICADORES DE EXITO		
<ul style="list-style-type: none"> Reducir la huella de carbono de la nave principal mediante la optimización del consumo energético y gestión de residuos. Implementar una plataforma digital accesible para recopilar datos de consumo energético, combustibles y gestión de residuos en tiempo real. Mejorar la eficiencia operativa mediante el análisis de datos y la toma de decisiones basadas en la información. 		<ul style="list-style-type: none"> Porcentaje de reducción de emisiones de CO₂ derivadas del consumo energético y residuos gestionados. Porcentaje de datos de consumo energético y gestión de residuos que se integran correctamente en la plataforma digital (como Google Sheets, Excel o cualquier software de gestión). Incremento en la eficiencia operativa medida a través de la reducción de recursos desperdiciados (electricidad, combustibles, residuos no reciclados). 		
5. ACTIVIDADES DE IMPLEMENTACION				
Actividad específica	Descripción	Plazo estimado		
		Corto plazo (CP)	Mediano Plazo (MP)	Largo Plazo (LP)
1.1 Identificación e instalación de Micromedidores de Consumo Energético	Determinar puntos estratégicos y utilizar micromedidores de bajo costo o sistemas de medición básica para el monitoreo de sistemas eléctricos (en cada taller y área de trabajo) y combustibles (depósitos de combustible que alimentan los equipos, generadores o calderas de cada área del centro)			
1.2 Implementación de Micromedidores para Residuos y Recursos	Instalar medidores para líquidos y aceites en los talleres de motores y transmisiones, hidráulicos y de soldadura para medir el consumo y desperdicio de recursos como aceites, disolventes y materiales reciclables.			
1.3 Monitoreo y Análisis de Datos	<ul style="list-style-type: none"> Integrar información de los micromedidores en una plataforma digital (puede ser un software básico de gestión de datos Google sheet (enlazado por Looker studio), Excel, etc) que recopile la información en tiempo real sobre el consumo energético y residuos generados. 			



	<ul style="list-style-type: none">Realizar análisis periódicos de los datos recopilados, lo que permitirá identificar patrones de consumo innecesario y establecer acciones correctivas.			
1.4 Establecimiento de responsables y Protocolos de recogida de Datos de Residuos	<ul style="list-style-type: none">Asignar responsables de cada taller para registrar manualmente la cantidad de residuos generadosEstablecer un protocolo interno para la recolección de datos			
1.5 Auditoría de Consumo Energético y Residuos	<ul style="list-style-type: none">Realizar auditorías trimestrales para evaluar los datos de los micromedidores y ajustar las estrategias de optimización energética y minimización de residuos.Ajustar las estrategias de consumo de recursos en función de los resultados obtenidos, promoviendo la reducción de desperdicios.Implementar un sistema de gestión de la energía.			



ACCION 2

1. ACCION				
Acción 2. Optimización de la Gestión de Residuos Según las Categorías Prioritarias				
2. DESCRIPCION DE LA ACCION				
Los resultados de residuos muestran que el caucho y la chatarra metálica concentran más de la mitad del impacto en términos de emisiones de GEI. Además, residuos como el aceite usado, aunque representan un volumen menor, tienen un alto riesgo ambiental y un gran potencial de reducción de emisiones.				
3. OBJETIVOS		4. INDICADORES DE EXITO		
<ul style="list-style-type: none"> Minimizar la generación de residuos peligrosos y no peligrosos. Incrementar el reciclaje y la valorización de materiales. Reducir emisiones de CO₂ asociadas a la gestión inadecuada de residuos. 		<ul style="list-style-type: none"> % de residuos clasificados y valorizados correctamente. Disminución de residuos peligrosos generados por taller. 		
5. ACTIVIDADES DE IMPLEMENTACION				
Actividad específica	Descripción	Plazo estimado		
		Corto plazo (CP)	Mediano Plazo (MP)	Largo Plazo (LP)
2.1 Para un sistema de separación avanzada, hacer una caracterización de los residuos generados en cada una de las áreas de la nave	Elaborar una caracterización detallada de los residuos por taller (tipología, código LER, cantidad, peligrosidad y gestión actual), así como también de las medidas existentes dentro de la nave (contenedores, rutas, gestores).			
2.2 Implantar un sistema de segregación de residuos en origen	Realizar un estudio de contenerización en la nave principal: <ul style="list-style-type: none"> Tipo y tamaño de contenedores diferenciados por tipo de residuo con señalización clara. Planes de revisión/mantenimiento de contenedores. Puntos estratégicos, rutas y frecuencias de recolección de residuos y señalización asociada. 			
2.3 Revisión documental de gestores y manifiestos de residuos	Verificar periódicamente la vigencia de autorizaciones de los gestores de residuos peligrosos y no peligrosos. Revisar y archivar los manifiestos de entrega, garantizando trazabilidad y cumplimiento normativo.			
2.4 Implementar sistemas de reciclaje de aceites usados mediante procesos de filtración y regeneración.	Se investigarán y evaluarán los sistemas de filtración y regeneración disponibles en el mercado que mejor se adapten a los tipos de aceites utilizados en los sistemas hidráulicos de la nave.			
2.5 Reciclaje de metales y reutilización de componentes metálicos, aplicando	<ul style="list-style-type: none"> Separar y reutilizar piezas metálicas reduciendo la chatarra generada. 			



Evaluación de la huella de carbono en la nave principal del PCMASA 2



Universidad de Valladolid

MÁSTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL

tecnologías como impresión 3D para la refabricación de piezas.	<ul style="list-style-type: none"> Separación de ferrosos y no ferrosos. 			
2.6 Implementar sistemas de filtración para los gases y polvo de soldadura, mejorando la calidad del aire en la nave.	Establecer sistemas de recogida de polvo de soldadura y gases de soldadura en su planta de producción.			
2.7 Implementar reparación de herramientas en lugar de reemplazarlas, prolongando la vida útil de las herramientas.	Establecer un sistema de reciclaje de herramientas en sus instalaciones de producción, donde las herramientas desgastadas sean remanufacturadas para un nuevo ciclo de vida.			
2.8 Reciclaje de cables y componentes electrónicos, estableciendo acuerdos con empresas especializadas en el reciclaje de estos materiales.	Acuerdo con gestores especializados en RAEE.			
2.9 Sustitución de aceites minerales por biodegradables	Preliminarmente, llevar a cabo una investigación de mercado para seleccionar productos biodegradables que cumplan con las especificaciones técnicas de los equipos (criterios de rendimiento, compatibilidad con los sistemas existentes y disponibilidad en el mercado). La transición se sugiere sea progresiva.			
2.10 Reciclaje de metales (cartuchos, partes de armas) y estudio de su reutilización para la fabricación de nuevos componentes.	<ol style="list-style-type: none"> Selección de empresas recicladoras especializadas Establecimiento de protocolos de entrega y recepción Clasificación y almacenamiento en nave. 			
2.11 Usar pinturas ecológicas con bajo contenido en compuestos orgánicos volátiles (COVs) para reducir la contaminación.	<ol style="list-style-type: none"> Investigación y selección de pinturas con bajo contenido de COVs, basadas en agua o solventes no tóxicos. Investigación de proveedores de pinturas ecológicas que cumplan directiva 2004/42/CE sobre la limitación de emisiones de COVs en productos de pinturas. Con etiquetas ecológicas o bajas emisiones de COVs. 			



ACCION 3.

1. ACCION				
Acción 3. Optimización Energética y Transición a Energías Renovables				
2. DESCRIPCION DE LA ACCION				
El consumo de electricidad es una fuente importante de emisiones indirectas (Alcance 2), y la gestión de refrigerantes es responsable de una proporción significativa de las emisiones directas. Por lo tanto, la transición a energía renovable y la mejora en la eficiencia energética son esenciales para reducir la huella de carbono.				
3. OBJETIVOS		4. INDICADORES DE EXITO		
<ul style="list-style-type: none"> Reducir las emisiones indirectas de CO₂ (Alcance 2) mediante la optimización del consumo eléctrico Mejorar la eficiencia energética en los sistemas de refrigeración y aire acondicionado, reduciendo el impacto de los refrigerantes de alto impacto. Implementar energías renovables en las instalaciones, fomentando el uso de fuentes de energía renovables para reducir la dependencia de fuentes de energía convencionales 		<ul style="list-style-type: none"> % de reducción de emisiones de CO₂ derivadas del consumo eléctrico, medido a través de la comparación del consumo y las emisiones de electricidad de un período base con las emisiones actuales tras la implementación de medidas de optimización energética. % de reducción en las emisiones de GEI generadas por los sistemas de refrigeración. % de la energía consumida en las instalaciones que proviene de fuentes renovables. 		
5. ACTIVIDADES DE IMPLEMENTACION				
Actividad específica	Descripción	Plazo estimado		
		Corto plazo (CP)	Mediano Plazo (MP)	Largo Plazo (LP)
3.1 Revisión de equipos de consumo	<ul style="list-style-type: none"> Inventario y clasificación de equipos de consumo Evaluación del rendimiento de equipos y maquinaria (eficiencia energética): se propone a través de un Análisis de ciclo de vida (ACV) con el fin de identificar los críticos y dar priorización. Establecimiento y seguimiento programa de mantenimiento preventivo. Investigación sobre la integración del concepto mantenimiento predictivo través de sensores en vehículos militares, integración para eficiencia operativa, prolongación de vida útil y reducción de residuos. Sustitución de tecnologías no eficientes dentro de la nave. 			
3.2 Evaluación de Proveedores de Energía Renovable	<ul style="list-style-type: none"> Investigar proveedores de energía renovable. Comparar tarifas. Negociar contrato con energía verde. 			
3.3 Optimización de Contratos de Gasóleo y Energía	<ul style="list-style-type: none"> Revisar contrato de suministro de gasóleo. 			



Evaluación de la huella de carbono en la nave principal del PCMASA 2



Universidad de Valladolid

MÁSTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL

	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar proveedores alternativos. • Negociar condiciones. 			
3.4 Estudio de viabilidad transición a combustibles verdes (HVO) o gases renovables certificados en vehículos (Gasóleo A) y maquinaria (tipo Calderas Gasóleo C) - Directiva UE 2024/1275	<p>Realizar:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evaluación de los motores y sistemas de combustible existentes. • Evaluación de la infraestructura necesaria. • Evaluación económica. • Evaluación Ambiental. 			
3.5 Incorporación de Energías Renovables (Opcional)	Estudio de viabilidad para la instalación de energías renovables en el área circundante de la nave.			
3.6 Instalación de Sistemas de Almacenamiento de Energía renovable (Baterías) (Opcional)	Con el fin de maximizar la eficiencia de energías renovables (ejemplo paneles solares) y mejorar la gestión energética, se propone evaluar la instalación de baterías de almacenamiento para almacenar el excedente de energía generado durante el día y utilizarlo durante la noche o en picos de demanda.			
3.7 Reemplazo de refrigerantes de alto impacto (R-407c)	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación del Inventario de Sistemas de Refrigeración • Revisión técnica y económica de Alternativas de Refrigerantes con Bajo PCG compatibles con los actuales sistemas de refrigeración. • Sustitución de Refrigerantes en los Equipos Existentes. 			



ACCION 4.

1. ACCION				
Acción 4. Optimización del Transporte Interno y Movilidad Sostenible				
2. DESCRIPCION DE LA ACCION				
Esta acción abarca desde el fomento del uso de vehículos eléctricos (VE) y sistemas de transporte compartido hasta la optimización de las rutas internas para minimizar el consumo de combustible y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Además, incluye la adopción de vehículos híbridos y el uso de transporte público cuando sea viable, como estrategia inicial para reducir la huella de carbono de las operaciones diarias.				
3. OBJETIVOS		4. INDICADORES DE EXITO		
<ul style="list-style-type: none"> Fomentar la movilidad sostenible a través de la utilización de vehículos híbridos y la promoción del uso de transporte público. Optimizar la eficiencia operativa mediante el uso compartido de vehículos y la mejora de la logística interna. Promover el uso de vehículos híbridos o eléctricos (VE). 		<ul style="list-style-type: none"> % de reducción de emisiones de CO₂ derivadas de la utilización de vehículos híbridos y el uso de transporte público. % de reducción en el consumo de combustible gracias al uso compartido de vehículos y la mejora de la logística interna. % de la flota interna compuesta por vehículos híbridos o eléctricos (VE) 		
5. ACTIVIDADES DE IMPLEMENTACION				
Actividad específica	Descripción	Plazo estimado		
		Corto plazo (CP)	Mediano Plazo (MP)	Largo Plazo (LP)
4.1 Evaluación del Estado actual del Transporte	Realizar un diagnóstico detallado del transporte interno dentro del centro, identificando los vehículos utilizados (tanto de propiedad de la nave como los utilizados por los empleados) y evaluando la frecuencia de uso, tipos de combustibles utilizados y distancias recorridas			
4.2 Fomento del Uso de Vehículos híbridos o eléctricos (VE)	<ul style="list-style-type: none"> Evaluar la adquisición de vehículos híbridos o eléctricos, o la conversión de algunos de los vehículos existentes a eléctricos. Establecer puntos de carga para vehículos eléctricos en áreas clave, como el estacionamiento principal, talleres o zonas de recarga rápida. Estudiar la posibilidad de implementar incentivos para los empleados que utilicen vehículos eléctricos o híbridos. 			
4.3 Optimización de Rutas y Uso Compartido de Vehículos	Optimizar las rutas internas y promover el uso compartido de vehículos (carpooling) para reducir el número de desplazamientos individuales, disminuir el consumo de			



	combustible y mejorar la eficiencia del transporte dentro del centro.			
4.4 Incentivos para el Uso de Transporte Público	Fomentar el uso de transporte público para los desplazamientos hacia y desde el PCMASA 2 para reducir la cantidad de vehículos particulares que ingresan al centro, lo que a su vez contribuiría a la reducción de emisiones.			
4.5 Monitoreo y Evaluación Continua de la Movilidad Sostenible	Establecer un sistema de monitoreo y evaluación continua de las estrategias de movilidad sostenible implementadas, para asegurar que los objetivos de reducción de emisiones y eficiencia de transporte se estén alcanzando.			



5. CONCLUSIONES

Del presente TFM, se pueden alcanzar las siguientes conclusiones:

- El cálculo de la huella de carbono total en la nave principal del PCMASA 2 para el año 2024 fue de **217,69 tCO_{2e}** y ha permitido identificar que la mayor proporción de emisiones proviene del alcance 1 (emisiones directas de las operaciones) con un 52%, seguido de alcance 3 (emisiones indirectas, como los traslados de personal) con un 41%. Estas emisiones del alcance 1 son principalmente atribuibles al consumo de combustibles fósiles, como el gasóleo C utilizado para calefacción (37,45%), las emisiones por fugas y manipulación de gases refrigerantes en aires acondicionado (13,41%), el gasóleo A usado en los vehículos en pruebas (1,52%). En el caso del alcance 3 se atribuyen principalmente al transporte del personal a las instalaciones (40,87%).
- En el caso de los residuos generados en la nave, estos fueron estimados a partir de la superficie efectiva de la misma y todos no pudieron ser incluidos dentro de los cálculos de huella de carbono por carencia de factores de emisión oficiales. Los resultados indicaron que, especialmente el caucho y chatarra metálica, son responsables de más de la mitad del impacto en términos de emisiones de GEI por la gestión de residuos (representan un 31,8% y 21,1%, respectivamente). A pesar de representar un volumen menor, el aceite usado (5,5%) presenta un alto riesgo ambiental, subrayando la necesidad urgente de mejorar su gestión. El análisis muestra que el peso en la huella de carbono de la gestión de residuos es bajo (0,10%), representando apenas un porcentaje residual respecto al total de emisiones. No obstante, resulta conveniente mantener e incluso reforzar las políticas de minimización, separación en origen y valorización para garantizar una correcta gestión. Si bien su impacto directo es reducido, una gestión eficiente de residuos contribuye a la economía circular, al cumplimiento normativo, el mejoramiento de imagen ambiental de la organización y puede generar ahorros de costes.
- Por otra parte, la gestión del consumo eléctrico, también estimado para la nave a partir de la superficie efectiva de la misma, es otro aspecto crítico en las emisiones de la nave. Aunque las emisiones derivadas del consumo de electricidad (alcance 2) representan solo el 7% del total, la implementación de energías renovables y la mejora de la eficiencia energética son esenciales para reducir la huella de carbono de la instalación.
- Para el primer alcance 3 (con mayor peso en el transporte de empleados), al tratarse de vehículos externos, se recomienda fomentar medidas de movilidad sostenible, tales como transporte colectivo empresarial, incentivos para el uso compartido de vehículos, integración de medios eléctricos o híbridos y teletrabajo parcial cuando las funciones lo permitan. Por otra parte, el consumo de gasóleo C (el segundo con mayor peso) dentro del alcance 1, una solución prioritaria sería la sustitución progresiva de calderas por sistemas más eficientes y sostenibles, complementada con programas de eficiencia energética para optimizar el consumo.
- La distribución de la huella de carbono evidencia que el TOA concentra el mayor impacto con 195,11 tCO_{2e} (88%), seguido por el ATP con 26,61 tCO_{2e}



(12%), mientras que el Centauro no registró emisiones en el año evaluado. Estos resultados confirman que el TOA es el principal generador.

No obstante, aún queda trabajo por hacer para seguir mejorando la eficiencia operativa y reducir las emisiones GEI derivadas de las operaciones. Por lo tanto, se dan las siguientes recomendaciones, las cuales fueron plasmadas en cada una de las cuatro (4) líneas de acción establecidas:

- *Optimización de la gestión ambiental con herramientas digitales accesibles:* que faciliten el monitoreo en tiempo real del consumo de recursos y emisiones, y reducir el uso de papel mediante la digitalización de procesos.
- *Optimización de la gestión de residuos según las categorías prioritarias:* Establecer un sistema eficiente de reciclaje y clasificación de residuos según su categoría, promoviendo la economía circular y reduciendo los residuos peligrosos.
- *Optimización energética y transición a energías renovables:* Continuar con la transición hacia energías renovables como la solar, expandiendo su implementación a otras áreas y operaciones de las instalaciones.
- *Optimización del Transporte Interno y Movilidad Sostenible:* Incrementar el uso de vehículos eléctricos e híbridos en la flota interna y fomentar el uso compartido de vehículos y el transporte público, con el fin de reducir las emisiones de CO₂ y optimizar la movilidad sostenible dentro del centro.

Finalmente, siendo este el primer cálculo de huella de carbono del PCMASA 2, es recomendable realizar un seguimiento anual y actualización continua de las emisiones de GEI para asegurar que las estrategias de reducción, en el caso de que sean aplicadas, sean efectivas. Además, debido a la carencia de información directa en áreas clave como la gestión de residuos y el consumo energético, se sugiere mejorar la recolección de datos específicos y desarrollar un sistema más preciso de monitoreo y reporte de emisiones y consumo, lo cual permitirá una evaluación más confiable y detallada en futuros estudios.



6. REFERENCIAS

1. Abdallah, M. & Elfeky, A (2021). Impact of waste processing byproducts on the carbon footprint of integrated waste-to-energy strategies. *Journal of Environmental Management*, 280, 111839, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111839>.
2. Centre Delàs d'Estudis per la Pau. (2025). *Spain's Military Carbon Footprint* (Informe 69). Recuperado de <https://web.centredelas.org/wp->
3. Conflict and Environment Observatory; Scientists for Global Responsibility (CEOBS) (2021). Under the radar: The Carbon Footprint of Europe's military sectors. Recuperado el 20 de mayo del 2025 de: https://ceobs.org/wp-content/uploads/2021/02/Under-the-radar_the-carbon-footprint-of-the-EUs-military-sectors.pdf
4. Comisión Europea. (2019). *Pacto Verde Europeo: Comunicación de la Comisión*. Recuperado de [https://anave.es/images/documentos_noticias/2019/Pacto Verde Europeo - Comunicacion de la Comision.pdf](https://anave.es/images/documentos_noticias/2019/Pacto_Verde_Europeo_-_Comunicacion_de_la_Comision.pdf)
5. Coque, L. (2024). Análisis de la reducción en emisiones de efecto invernadero debido a la penetración de sistemas fotovoltaicos en la empresa baker hughes (als mitad del mundo). Trabajo de grado: Escuela Politécnica Nacional. Recuperado de: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/25384/1/CD%2014073.pdf>
6. Chica, E. (2025). Cálculo de la huella de carbono de una empresa de productos ultracongelados. Trabajo de grado. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/2117/430587>
7. De la Barrera, B & Hooda, PS (2016). Greenhouse gas emissions of waste management processes and options: A case study. *Waste Management & Research*.,34(7):658-665. Recuperado de: <https://doi.org/10.1177/0734242X166496>
8. Del Valle Martín, S. (2021). Propuesta metodológica para la evaluación de la Huella de Carbono de una titulación académica. Trabajo fin de master. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/server/api/core/bitstreams/cae27a77-e852-4c96-bca4-975482fd5d74/content>
9. Department for Energy Security and Net Zero. (2024). *Greenhouse gas reporting: conversion factors 2024* [Publicación web]. GOV.UK. Recuperado el 30 de mayo de 2025 de: <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2024>
10. Dormido, L.; Garrido, I.; L'Hotellerie-Fallois, P. & Santillan, J. (2022). *Documento ocasional* (N.º 22-13). Banco de España. Recuperado de <https://www.bde.es/f/webbde/SES/Secciones/Publicaciones/PublicacionesSerias/DocumentosOcasionales/22/Fich/do2213.pdf>
11. Espacio Aéreo (2025). La Real Fuerza Aerea prueba combustibles alternativos en vehículos terrestres. Espacio Aéreo: Noticias de Defensa, Aviación y del Espacio. Recuperado el 9 de septiembre del 2025 de: <https://espacioaereo.net/archivos/45866>
12. España, M. (2016). El concepto de calentamiento global y la enseñanza de las ciencias medioambientales en educación primaria. Trabajo de grado: Universidad de Cantabria. Recuperado de:



<https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/9322/Espa%C3%B1aSainzMario.pdf?sequence=1>

13. Ferrer, J; Vera, T. Blacio, S. & Gadway, K. (2021). Huella de carbono de la Universidad Técnica de Machala período 2018-2020. Revista Dominio de las ESPECIAL SEPTIEMBRE 2021), 78-92. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i5.2235>
14. Filho, W.L., Wall, T., Salvia, A.L. (2023). The central role of climate action in achieving the United Nations' Sustainable Development Goals. Sci Rep 13, 20582. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-47746-w5>.
15. Gobierno de España. (2021). BOE-A-2021-8447. Boletín Oficial del Estado. Recuperado de https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2021-8447.
16. Hidalgo, M. (2023). La descarbonización del sector de la defensa: ¿un deseo realizable? Documento de análisis. Instituto Español de Estudios Estratégicos. Recuperado de: <https://www.defensa.gob.es/ceseden/-/la-descarbonizacion-del-sector-de-la-defensa-un-deseo-realizable->
17. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (s.f.). Figure SPM.1. (Figura). In presentación del IPCC. Recuperado el 8 de julio del 2025 de <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/figures/figure-spm-1>
18. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (s.f.). *Languages – IPCC*. Recuperado el 8 de julio del 2025 de <https://www.ipcc.ch/languages-2/spanish/>
19. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). *Síntesis del AR5* (informe en español). Recuperado de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf
20. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR6-WGI)*. Cambridge University Press. Recuperado de https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf
21. Kasperzak, R., Kureljusic, M., Reisch, L., & Thies, S. (2023). Accounting for Carbon Emissions—Current State of Sustainability Reporting Practice under the GHG Protocol. *Sustainability*, 15(2), 994. Recuperado de: <https://doi.org/10.3390/su15020994>
22. Lamb, W.; Wiedmann, T.; Pongratz, J.; Andrew, A.; Crippa, M.; Olivier, J.; Wiedenhofer, D.; Mattioli, G.; Khourdajie, A.; House, J.; Pachauri, S.; Figueroa, M.; Saheb, Y.; Slade, R.; Hubacek, K.; Sun, L.; Kahn, S.; Khennas, S.; De la Rue du Can, S.; Chapungu, L.; Davis, S.; Bashmakov, I.; Dai, H.; Dhakal, S.; Tan, X.; Geng, Y.; Gu, B, and Minx, J. (2021). A review of trends and drivers of greenhouse gas emissions by sector from 1990 to 2018. *Environmental Research Letters*, 16 (7), <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abee4e>
23. Martínez, I. (2016). El acuerdo de París sobre el cambio climático. *REVISMAR 2* (2016). Recuperado de: <https://revistamarina.cl/revistas/2016/2/imartinezn.pdf>
24. Martínez, B. (2022). Cálculo de la huella de carbono de una empresa de diseño en cartón. Trabajo fin de máster. Recuperado de: <https://share.google/umSvsXMyohDFd3ilx>
25. Mendoza Vidaurre, R. (2016). Los acuerdos de París sobre el cambio climático: ¿Un camino para salvar el planeta? *Encuentro*, (103), 6–26. <https://doi.org/10.5377/encuentro.v0i103.2689>



26. Mella, P. (2022). Global Warming: Is It (Im)Possible to Stop It? The Systems Thinking Approach. *Energies*, 15(3), 705. <https://doi.org/10.3390/en15030705>
27. Filonchik, M.; Peterson, M.; Zhang, L.; Hurynovich, V. & He, Y. (2024). Greenhouse gases emissions and global climate change: Examining the influence of CO₂, CH₄, and N₂O, *Science of The Total Environment*, Volume 935, 2024,173359,ISSN 0048-9697. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173359>.
28. Ministerio de Defensa de España. (s.f.). Reducción de emisiones. Recuperado el 8 de julio del 2025 de: <https://www.defensa.gob.es/medioambiente/cambioclimatico/reduccionemisiones/>
29. Ministerio de Defensa de España. (2023). Estrategia del Ministerio de Defensa frente al cambio climático. Imprenta Ministerio de Defensa NIPO 083-23-042-5 (edición en línea). Recuperado de https://publicaciones.defensa.gob.es/media/downloadable/files/links/e/s/estrategia_minisdef_reto_cambio_clim_tico.pdf
30. Ministerio de Política Territorial y Memoria Democrática. (2024). *La subdelegada del Gobierno visita el PCMASA 2* [Nota de prensa]. Delegación del Gobierno en la Comunidad de Castilla y León. Recuperado el 9 de septiembre de 2025: https://mpt.gob.es/portal/delegaciones_gobierno/delegaciones/castillaleon/actualidad/notas_de_prensa/notas/2024/04/2024-04-09_02.html
31. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). (2021). Huella de carbono 2020-2021 (2021 edición). Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica. Recuperado de https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/huellamiteco2020_2021_tcm30-561599.pdf
32. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). (2023). *Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización* (NIPO 280-14-241-8). Secretaría General Técnica, Centro de Publicaciones. Recuperado de https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia_huella_carbono_tcm30-479093.pdf
33. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). (2024). *Calculadora de huella de carbono de una organización. Alcance 1 + 2* [Página web]. Recuperado de https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/calculadoras.html#huella-de-carbono-de-una-organizacion_alcance-1_2
34. Montilla-Pacheco, A.; Pastrán-Calles, F. & De La Torre-Burgos, H. (2024). Efectos del calentamiento global sobre el comportamiento del cultivo de maíz. *Revista de Ciencias Agropecuarias "ALLPA"*: 7 (13) <https://doi.org/10.56124/allpa.v7i13.0069>
35. Muñoz, L. (2023). Propuesta de guía para el cálculo de la huella de carbono-alcance 3, según norma UNE-EN-ISO 14064:2019. Adaptación a la Universidad Politécnica de Madrid. Trabajo fin de Master. Recuperado de: https://oa.upm.es/75528/3/TFM_Luis_M_Merodio.pdf
36. Muñoz-Vélez, M. (2024). LOGISTICA INVERSA 2035: Economía circular para un Ejército Sostenible. *Revista Ejército de Tierra español* (n.º 990). Ministerio de Defensa. Recuperado de:



https://publicaciones.defensa.gob.es/media/downloadable/files/links/e/j/ejercito_990.pdf

37. Ortega, P. (2024). Malos humos militares. La huella de carbono del sector militar en España. Centre Delàs d'Estudis per la Pau - 1vol; 32 .- ISBN 978-84-09-69142-5.- Español. Recuperado de: <https://biblioteca.hegoa.ehu.eus/registros/22292>
38. Parkinson, S.; Scientists for Global Responsibility (SGR); Cottrell, L & Conflict and Environment Observatory (CEOBS) (2022). Estimating Global Military GHG Emissions. Ceobs. Recuperado de https://ceobs.org/wp-content/uploads/2022/11/SGRCEOBS-Estimating_Global_Military_GHG_Emissions_Nov22_rev.pdf
39. Parkinson, S. (2023). How big are global military carbon emissions?. Responsible Science, 5,. Recuperado de: https://www.sgr.org.uk/sites/default/files/2023-07/SGR_RS5_2023_Parkinson2.pdf
40. Sharaf-Addin, HH (2024). Towards net-zero carbon emissions: A systematic review of carbon sustainability reporting based on GHG protocol framework, Environmental and Sustainability Indicators, 24, , 100516, <https://doi.org/10.1016/j.indic.2024.100516>.
41. Torres, P. A., Trujillo, J., & Arrieta, A. (2018). *Análisis cuantitativo de emisiones de gases refrigerantes en el sector Los Ángeles de la ciudad de Montería (Colombia)*. Revista Espacios, 39(53), 14–23. Recuperado de <http://www.revistaespacios.com/cited2017/cited2017-14.pdf>
42. United Nations. (s.f.). *What is climate change?*. Recuperado el 8 de julio de 2025 de <https://www.un.org/en/climatechange/what-is-climate-change>
43. Yang, Y. & Meng, G. (2020). The evolution and research framework of carbon footprint: Based on the perspective of knowledge mapping, Ecological Indicators, 112, ,106125. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106125>.
44. Zambrano, K. (2023). La ruta española hacia la descarbonización: ¿cumple España con sus compromisos internacionales en materia de cambio climático? ANUARIO ESPAÑOL DE DERECHO INTERNACIONAL 39 629-674629.ISBN: 0212-0747. Recuperado de: <https://orcid.org/0000-0002-0284-355X>



Universidad de Valladolid

Evaluación de la huella de carbono en la nave principal del PCMASA 2



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

MÁSTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL

7. ANEXOS



Evaluación de la huella de carbono en la nave principal del PCMASA 2



ANEXO 1: CALCULADORA HUELLA DE CARBONO (SINTESIS)

HUELLA DE CARBONO (HC) - PCMASA2 (NAVE PRINCIPAL)																																								
Año de Cálculo		2024		AREA NAVE			9029			m2			GWP CO2			1			GWP CH4			27,9			GWP N2O			273												
				CO ₂ e			CO ₂			CH ₄			N ₂ O			rCO ₂ e /Categoría																								
Alcance	N	Categoría	Tipo	Cantidad	Unidad	Factor de Emisión	Unidad	Fuente Fe	rCO ₂ equivalente	Factor de Emisión	Unidad	Fuente Fe	rCO ₂ equivalente	Factor de Emisión	Unidad	Fuente Fe	rCO ₂ equivalente	Factor de Emisión	Unidad	Fuente Fe	rCO ₂ equivalente																			
ALCANCE 1																																								
1		Fuentes Móviles	Gasóleo tipo A	1344,00	L	2,52	KgCO ₂ eq/L	MITECO, 2024	3,38	2,501	KgCO ₂ /L	MITECO, 2024	3,361	0,362	gCH ₄ /L	MITECO, 2024	0,0005	0,022	gN ₂ O/L	MITECO, 2024	0,0003	3,362																		
		Estacionarias	Gasóleo tipo C	28813,68	L	2,90	KgCO ₂ eq/L	MITECO, 2024	83,50	2,881	KgCO ₂ /L	MITECO, 2024	83,012	0,389	gCH ₄ /L	MITECO, 2024	0,0012	0,023	gN ₂ O/L	MITECO, 2024	0,00066	83,02																		
		Fugitivas	410-A	4,09	kg	2,56	KgCO ₂ /Kg refrigerante	MITECO, 2024	9,23														9,23																	
			R-407c	10,75	kg	1,908	KgCO ₂ /Kg refrigerante	MITECO, 2024	20,51															20,51																
TOTAL EMISIONES ALCANCE 1 (CO₂e)									116,62	TOTAL EMISIONES ALCANCE 1 (CO₂e de CO₂)									86,37	TOTAL EMISIONES ALCANCE 1 (KgCO₂e de CH₄)									0,0117	TOTAL EMISIONES ALCANCE 1 (KgCO₂e de N₂O)									0,00099	116,12
ALCANCE 2																																								
2		Energía Eléctrica		52161,83	MWh	0,283	KgCO ₂ /MWh	MITECO, 2024	14,76													14,76																		
TOTAL EMISIONES ALCANCE 2 (CO₂e)									14,76																					14,76										
ALCANCE 3																																								
3	5	Residuos	Restos de comals	825,48	kg	0,0089	KgCO ₂ /Kg Residuo	UK GOVERNMENT, 2024	0,00733														0,00733																	
			Plástico	636,22	kg	0,0064	KgCO ₂ /Kg Residuo	UK GOVERNMENT, 2024	0,00401															0,00401																
			Vidrio	355,81	kg	0,0064	KgCO ₂ /Kg Residuo	UK GOVERNMENT, 2024	0,00228															0,00228																
			Palets usados (no rentabilizables), y otros restos de maderas	4041,99	kg	0,0064	KgCO ₂ /Kg Residuo	UK GOVERNMENT, 2024	0,02591																0,02591															
			Papel y cartón	2840,78	kg	0,0064	KgCO ₂ /Kg Residuo	UK GOVERNMENT, 2024	0,01821																0,01821															
			Metal (distancia)	7286,96	kg	0,0064	KgCO ₂ /Kg Residuo	UK GOVERNMENT, 2024	0,04671																0,04671															
			Caucho (Neumáticos y zapatas de CC.A)	10958,91	kg	0,0064	KgCO ₂ /Kg Residuo	UK GOVERNMENT, 2024	0,07025																0,07025															
			Residuos de construcción y demolición	4423,41	kg	0,0010	KgCO ₂ /Kg Residuo	UK GOVERNMENT, 2024	0,00436																0,00436															
			Restos de podas y jardinería	3313,29	kg	0,0089	KgCO ₂ /Kg Residuo	UK GOVERNMENT, 2024	0,02943																0,02943															
			Plán	4,27	kg	0,0064	KgCO ₂ /Kg Residuo	UK GOVERNMENT, 2024	0,00003																0,00003															
			Aceite usado de motores, transmisiones y aceites de freno	1907,13	kg	0,0064	KgCO ₂ /Kg Residuo	UK GOVERNMENT, 2024	0,01223																0,01223															
			Pequeños aparatos eléctricos de sechados, cables, etc.	78,56	kg	0,0064	KgCO ₂ /Kg Residuo	UK GOVERNMENT, 2024	0,00050																0,00050															
			Subtotal rCO₂e									0,22																					0,19							
			7		Traslado de empleados	Coches gasolina	36624	km	0,165	KgCO ₂ /Km	UK GOVERNMENT, 2024	6,036	0,164	kgCO ₂ /Km	UK GOVERNMENT, 2024	6,03	0,00036	KgCH ₄ /Km	UK GOVERNMENT, 2024	0,0133	0,0003	KgN ₂ O/Km	UK GOVERNMENT, 2024	0,012	6,036															
Coches gasóleo	400140	km				0,170	KgCO ₂ /Km	UK GOVERNMENT, 2024	67,96	0,168	kgCO ₂ /Km	UK GOVERNMENT, 2024	67,29	0,00000	KgCH ₄ /Km	UK GOVERNMENT, 2024	0,0019	0,0017	KgN ₂ O/Km	UK GOVERNMENT, 2024	0,0068	67,962																		
Coches híbrido	4100	km				0,126	KgCO ₂ /Km	UK GOVERNMENT, 2024	0,52	0,125	kgCO ₂ /Km	UK GOVERNMENT, 2024	0,52	0,00019	KgCH ₄ /Km	UK GOVERNMENT, 2024	0,0008	0,0010	KgN ₂ O/Km	UK GOVERNMENT, 2024	0,004	0,526																		
Buses de transporte público	3640	km				0,108	KgCO ₂ /Persona*Km	UK GOVERNMENT, 2024	0,39	0,108	KgCO ₂ /Pasajero*Km	UK GOVERNMENT, 2024	0,39	0,00001	KgCH ₄ /Pasajero*Km	UK GOVERNMENT, 2024	0,0000	0,0007	KgN ₂ O/Pasajero*Km	UK GOVERNMENT, 2024	0,003	0,395																		
Tren	425360	km				0,023	KgCO ₂ /Persona*Km	Informe de Responsabilidad Social y Gobierno corporativo de Renfe, 2023	9,91	0,035	KgCO ₂ /Pasajero*Km	UK GOVERNMENT, 2024		0,00008	KgCH ₄ /Pasajero*Km	UK GOVERNMENT, 2024		0,0003	KgN ₂ O/Pasajero*Km	UK GOVERNMENT, 2024		0,0119	15,083																	
Motocicleta	5200	km				0,114	KgCO ₂ /Km	UK GOVERNMENT, 2024	0,59	0,111	kgCO ₂ /Km	UK GOVERNMENT, 2024	0,58	0,00177	KgCH ₄ /Km	UK GOVERNMENT, 2024	0,0092	0,0005	KgN ₂ O/Km	UK GOVERNMENT, 2024	0,003	0,591																		
A pie	5146	km	0,000	KgCO ₂ /Km	UK GOVERNMENT, 2023	0,00	0,000	kgCO ₂ /Km	UK GOVERNMENT, 2024	0,00	0,00000	KgCH ₄ /Km	UK GOVERNMENT, 2024	0,0000	0,0000	KgN ₂ O/Km	UK GOVERNMENT, 2024	0,000	0,000			0,000																		
Subtotal traslado de empleados (CO₂e)									85,44	Subtotal traslado de empleados (CO₂e de CO₂)									89,75	Subtotal traslado de empleados (CO₂e de CH₄)									0,089	Subtotal traslado de empleados (CO₂e de N₂O)									0,809	90,61
TOTAL EMISIONES ALCANCE 3 (CO₂e)									85,66	TOTAL EMISIONES ALCANCE 3 (CO₂e de CO₂)									89,75	TOTAL EMISIONES ALCANCE 3 (CO₂e de CH₄)									0,089	TOTAL EMISIONES ALCANCE 3 (CO₂e de N₂O)									0,809	90,8
TOTAL EMISIONES ALCANCES 1+2+3 (CO₂e)																						221,69																		



ANEXO 2: ENCUESTA DE MOVILIDAD 2024



ENCUESTA DE MOVILIDAD (2024-2025) EJERCITO EN TIERRA UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

De antemano agradecemos tu participación en esta encuesta. Con la información que nos suministres, calcularemos las emisiones debido a los viajes que realizaste como personal directo en 2024 desde tu domicilio hasta el PCMASA2, y viceversa; diligenciarlo sólo te tomará 5 minutos.

Instrucción general: Si desconoces el orden de magnitud de la distancia recorrida en tus desplazamientos, recuerda que existen herramientas en internet que permiten obtener o confirmar la información de manera rápida y fácil (Ejemplo: apartado de cómo llegar del Google Maps: <https://www.google.es/maps/?hl=es>).

Esta encuesta es totalmente anónima.

1. En 2024, de los días que fuiste a trabajar al PCMASA 2 y, no siendo jornada de verano ¿cuántos desplazamientos al día realizabas entre tu casa y tu centro de trabajo?

- 2
- 4
- Otras

2. ¿Cuál es tu medio de transporte a tu centro de trabajo?

- Autobús
- Tren
- bicicleta propia
- A pie
- Patinete
- Motocicleta propia
- Coche propio
- Otras

3. Indica qué distancia media aproximada (en kilómetros) recorrías en 2024 desde tu casa a tu centro de trabajo en tu modo de transporte. Por favor, ten en cuenta que nos referimos a la distancia recorrida en un único trayecto, de tu casa al centro de trabajo o viceversa. No se trata de datos de ida y vuelta.



4. ¿Es propietario de un vehículo con motor? En caso afirmativo, ¿qué tipo de motor tiene? (Sólo conteste si respondió que usa medio de transporte propio en el punto 2)

- Gasolina
- Gasóleo
- Eléctrico
- Híbrido
- biocombustible
- No tengo un vehículo con motor
- Otras

5. En caso de que utilizaras vehículo con motor, indica la etiqueta de la DGT del mismo.

- Cero emisiones
- Eco
- C
- B
- 5
- Ninguno

6. En el supuesto de compartir vehículo con algún compañero del centro de trabajo ¿Cuántos días lo haces durante la semana?

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- Ninguno



7. Por favor, indica el número de ocupantes que comparten plazas en dicho vehículo (que pertenezcan a tu centro de trabajo)

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- Ninguno

8. Utiliza este espacio si tienes alguna/s sugerencia/s sobre cómo el PCMASA 2 puede fomentar hábitos de movilidad sostenible entre sus empleados. (Ejemplos: fomento cercanía al trabajo, teletrabajo, fomento transporte público, flexibilidad horaria, capacitaciones, etc)

9. Provincia de Residencia y código postal

Este contenido no está creado ni respaldado por Microsoft. Los datos que envíe se enviarán al propietario del formulario.





Evaluación de la huella de carbono en la nave principal del PCMASA 2



ANEXO 3: FACTORES DE EMISION

Descripción	FACTORES DE EMISION UTILIZADOS															
	CO _{2eq}				CO ₂				CH ₄				N ₂ O			
	Valor	Unidad	Fuente	Categorización elegida dentro de base de FE	Valor	Unidad	Fuente	Categorización elegida dentro de base de FE	Valor	Unidad	Fuente	Categorización elegida dentro de base de FE	Valor	Unidad	Fuente	Categorización elegida dentro de base de FE
Gasóleo tipo A	2,517	KgCO _{2eq} /L	MITECO, 2024	Instalaciones fijas, B7	2,501	KgCO ₂ /L	MITECO, 2024	Instalaciones fijas, B7	0,362	gCH ₄ /L	MITECO, 2024	Instalaciones fijas, B7	0,022	gN ₂ O/L	MITECO, 2024	Instalaciones fijas, B7
Gasóleo tipo C	2,898	KgCO _{2eq} /L	MITECO, 2024	Instalaciones fijas, Gasóleo C	2,881	KgCO ₂ /L	MITECO, 2024	Instalaciones fijas, Gasóleo C	0,389	gCH ₄ /L	MITECO, 2024	Instalaciones fijas, Gasóleo C	0,023	gN ₂ O/L	MITECO, 2024	Instalaciones fijas, Gasóleo C
HC410-A	2256	KgCO _{2eq} /Kg refrigerante	MITECO, 2024	emisiones fugitivas, climatización/refrigeración												
R-407c	1908	KgCO _{2eq} /Kg refrigerante	MITECO, 2024	emisiones fugitivas, climatización/refrigeración												
Energía Eléctrica	0,283	KgCO _{2eq} /kWh	MITECO, 2024	Mix eléctrico español sin GdO												
Restos de comida	0,0089	KgCO _{2eq} /Kg Residuo	UK GOVERNMENT, 2024	Waste disposal, Organic: food and drink waste, composting												
Plástico	0,0064	KgCO _{2eq} /Kg Residuo	UK GOVERNMENT, 2024	Waste disposal, Plastics: average plastics, open loop												
Vidrio	0,0064	KgCO _{2eq} /Kg Residuo	UK GOVERNMENT, 2024	Waste disposal, glass, open loop												
Palets usados (no reutilizables), y otros restos de madera	0,0064	KgCO _{2eq} /Kg Residuo	UK GOVERNMENT, 2024	Waste disposal, wood, closed loop												
Papel y cartón	0,0064	KgCO _{2eq} /Kg Residuo	UK GOVERNMENT, 2024	Waste disposal, Paper and board: mixed, open loop												
Metal (chatarra)	0,0064	KgCO _{2eq} /Kg Residuo	UK GOVERNMENT, 2024	Waste disposal, metal scrap, closed loop												
Caucho (Neumáticos y zapatas de CC,s)	0,0064	KgCO _{2eq} /Kg Residuo	UK GOVERNMENT, 2024	Waste disposal, Tyres, closed loop												
Pilas	0,0064	KgCO _{2eq} /Kg Residuo	UK GOVERNMENT, 2024	Waste disposal, batteries, closed loop												
Residuos de construcción y demolición	0,0010	KgCO _{2eq} /Kg Residuo	UK GOVERNMENT, 2024	Waste disposal, construction: Average construction, open loop												
Restos de podas y jardinería	0,0089	KgCO _{2eq} /Kg Residuo	UK GOVERNMENT, 2024	Waste disposal, Organic: garden waste, composting												
Aceite usado de motores, transmisiones y aceites de freno	0,0064	KgCO _{2eq} /Kg Residuo	UK GOVERNMENT, 2024	Waste disposal, Construction, oil mineral, closed loop												
Pequeños aparatos eléctricos desechados, cables, etc.	0,0064	KgCO _{2eq} /Kg Residuo	UK GOVERNMENT, 2024	Waste disposal, WEEE - small, open loop												



Evaluación de la huella de carbono en la nave principal del PCMASA 2



FACTORES DE EMISION UTILIZADOS

Descripción	CO _{2eq}				CO ₂				CH ₄				N ₂ O			
	Valor	Unidad	Fuente	Categorización elegida dentro de base de FE	Valor	Unidad	Fuente	Categorización elegida dentro de base de FE	Valor	Unidad	Fuente	Categorización elegida dentro de base de FE	Valor	Unidad	Fuente	Categorización elegida dentro de base de FE
Coche gasolina	0,165	kgCO _{2e} /Km	UK GOVERNMENT, 2024	Business travel- land, average car	0,16382	kgCO ₂ /Km	UK GOVERNMENT, 2024	Business travel- land, average car	0,00036	KgCH ₄ /Km	UK GOVERNMENT, 2024	Business travel- land, average car	0,00032	KgN ₂ O/Km	UK GOVERNMENT, 2024	Business travel- land, average car
Coche gasóleo	0,170	kgCO _{2e} /Km	UK GOVERNMENT, 2024	Business travel- land, average car	0,16817	kgCO ₂ /Km	UK GOVERNMENT, 2024	Business travel- land, average car	4,6368E-06	KgCH ₄ /Km	UK GOVERNMENT, 2024	Business travel- land, average car	0,00167	KgN ₂ O/Km	UK GOVERNMENT, 2024	Business travel- land, average car
Coche híbrido	0,126	kgCO _{2e} /Km	UK GOVERNMENT, 2024	Business travel- land, average car	0,1249	kgCO ₂ /Km	UK GOVERNMENT, 2024	Business travel- land, average car	0,00019	KgCH ₄ /Km	UK GOVERNMENT, 2024	Business travel- land, average car	0,00098	KgN ₂ O/Km	UK GOVERNMENT, 2024	Business travel- land, average car
Buses de transporte público	0,108	KgCO _{2e} /Pasajero*Km	UK GOVERNMENT, 2024	Business travel- land, Average local bus	0,10772	KgCO ₂ /Pasajero*Km	UK GOVERNMENT, 2024	Business travel- land, Average local bus	0,00001	KgCH ₄ /Pasajero*Km	UK GOVERNMENT, 2024	Business travel- land, Average local bus	0,00073	KgN ₂ O/Pasajero*Km	UK GOVERNMENT, 2024	Business travel- land, Average local bus
Tren	0,023	KgCO _{2e} /Pasajero*Km	Informe de Responsabilidad Social y Gobierno corporativo de Renfe, 2023		0,0351	KgCO ₂ /Pasajero*Km	UK GOVERNMENT, 2024	Business travel- land, national rail	0,00008	KgCH ₄ /Pasajero*Km	UK GOVERNMENT, 2024	Business travel- land, national rail	0,00028	KgN ₂ O/Pasajero*Km	UK GOVERNMENT, 2024	Business travel- land, national rail
Motocicleta	0,114	kgCO _{2e} /Km	UK GOVERNMENT, 2024	Business travel- land, Average motor bike	0,11138	kgCO ₂ /Km	UK GOVERNMENT, 2024	Business travel- land, Average motor bike	0,00177	KgCH ₄ /Km	UK GOVERNMENT, 2024	Business travel- land, Average motor bike	0,00052	KgN ₂ O/Km	UK GOVERNMENT, 2024	Business travel- land, Average motor bike
A pie	0,000	kgCO _{2e} /Km	UK GOVERNMENT, 2025	Business travel- land	0,000	kgCO ₂ /Km	UK GOVERNMENT, 2024	Business travel- land	0,000	KgCH ₄ /Km	UK GOVERNMENT, 2024	Business travel- land	0,000	KgN ₂ O/Km	UK GOVERNMENT, 2024	Business travel- land