HEAT
–
Manual de usuario



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRANSPORTES Y MOVILIDAD SOSTENIBLE
CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRANSPORTES Y MOVILIDAD SOSTENIBLE
CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

Versión 1.01 del Manual de usuario de HEAT, válida para la versión HEAT 1.01

Junio 2026

Índice de contenidos

1 Introducción 3
1.1 Contexto y objetivo 3
1.2 Características y principios generales 4
1.2.1 Resultados de la herramienta: Consumo de energía, Gases de Efecto Invernadero (GEI) y Contaminantes Atmosféricos 5
1.2.2 Fuentes de energía 7
2 Instalación y primeros pasos 9
2.1 Requisitos del sistema 9
2.2 Descarga e instalación de la herramienta 9
3 Uso y funcionamiento de HEAT 10
3.1 Funcionalidades y características comunes a los cuatro modos 11
3.1.1 Botones comunes a todos los módulos 11
3.1.2 Guardado del ejercicio 15
3.1.3 Ayuda al usuario y avisos de la herramienta 15
3.1.4 Datos de entrada comunes a todos los módulos 17
3.2 HEAT - Transporte por carretera 18
3.2.1 Pestaña Información general 18
3.2.2 Datos de actividad: Operaciones o Unidades transportadas 18
3.3 HEAT - Transporte ferroviario 42
3.3.1 Pestaña Información general 42

3.3.2 Datos de actividad: Operaciones o Unidades transportadas 42
3.4 HEAT - Transporte aéreo 63
3.4.1 Pestaña Información general 63
3.4.2 Estudio de un aeropuerto 63
3.4.3 Estudio de una ruta 86
3.5 HEAT - Transporte marítimo 103
3.5.1 Pestaña Información general 103
3.5.2 Pestaña Datos generales 103
3.5.3 Pestaña Escalas 104
3.5.4 Pestaña Distancias 105
3.5.5 Pestaña Distancia total 106
3.5.6 Pestaña Velocidad 106
3.5.7 Pestaña Tiempo total de crucero 107
3.5.8 Pestaña Tiempo resto fases 107
3.5.9 Pestaña Tiempo total resto fases 107
3.5.10 Pestaña Potencia instalada principal 107
3.5.11 Pestaña Factor de carga del motor 108
3.5.12 Pestaña Potencia instantánea principal 109
3.5.13 Pestaña Potencia instantánea auxiliar 109
3.5.14 Pestaña Potencia instantánea caldera 110
3.5.15 Pestaña Tiempo funcionamiento del motor 110
3.5.16 Pestañas Tipología del motor principal, Tipología del motor auxiliar y Tipología de la caldera 111

3.5.17 Pestaña OPS 112
3.5.18 Pestaña Electricidad 113
3.5.19 Pestaña Contenido de azufre 114
3.5.20 Pestaña Potencial de calentamiento GEI 115
3.5.21 Pestañas Factores del motor principal, Factores del motor auxiliar y Factores de la caldera 115
3.5.22 Pestaña Año construcción buques 116
3.5.23 Pestaña Mejoras 116
3.5.24 Pestaña Resultados 117
4 Soporte técnico 123
4.1 Incidencias comunes y procedimientos de resolución 123
4.2 Atención al usuario 124
5 Anejos 125
5.1 Fuentes de información 125
5.1.1 HEAT-CARREETRAS 125
5.1.2 HEAT-FERROVIARIO 126
5.1.3 HEAT-AÉREO 127
5.1.4 HEAT-MARÍTIMO 128
5.2 Metodología para la obtención de factores de emisión de la energía eléctrica 130
5.2.1 Mix con Garantía de Origen (GdO) 131
5.3 Combustibles sostenibles 132
5.3.1 Combustibles sostenibles en HEAT-CARRETERAS 132
5.3.2 Combustibles sostenibles en HEAT-FERROVIARIO 133

5.3.3 Combustibles sostenibles en HEAT-AÉREO 135

1. Introducción

1 Introducción

1.1 Contexto y objetivo

En España, según el Informe Anual de 2024 del Observatorio del Transporte y la Logística (OTLE), el sector del transporte fue el principal **consumidor de energía final**, con un 41,7%, seguido por el sector industrial (23,0%) y el residencial (18,3%).

En cuanto a las **emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)**, el informe estima un total de **90.215 kt de CO_2 equivalente**, lo que representa el **30,7% de las emisiones totales nacionales**, poniendo de manifiesto el importante peso del transporte en el consumo energético y en las emisiones de España.

Por último, desde el punto de vista de los **contaminantes atmosféricos**, aunque en los últimos años se ha registrado una **reducción significativa de las emisiones** de las principales sustancias contaminantes, el **transporte** continúa siendo un **contribuyente relevante**, con una participación destacada en compuestos como los **óxidos de nitrógeno (NO_x)** o las **partículas en suspensión**.

La puesta en marcha de cualquier política de transportes, así como la ejecución de planes y/o proyectos específicos en esta materia, requiere de una estimación de sus impactos a nivel de consumo energético y de emisiones. Con este fin, entre otros, se desarrolla **HEAT**.

El Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible ha desarrollado la **Herramienta de emisiones a la atmósfera del transporte (HEAT)**, concebida como un instrumento de apoyo a la **planificación del transporte**, complementario a otras herramientas como el **Modelo Nacional de Transporte (MNT)** y la **Herramienta ACB**.

El desarrollo de HEAT se sustenta en consideraciones estratégicas y normativas relevantes para la planificación del transporte. En particular, da cumplimiento a lo establecido en la **Ley de Movilidad Sostenible**, que determina que la ejecución de inversiones con financiación pública en infraestructuras de la Red de Carreteras del Estado, la Red Ferroviaria de Interés General, los aeropuertos y puertos de interés general, deben someterse a **evaluaciones ex ante y ex post de sus efectos**, en la que se analice la **repercusión de los proyectos sobre las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes**.

En este contexto, HEAT realiza esta evaluación dando respuesta a las **recomendaciones de la Comisión Europea sobre la metodología de monetización de las externalidades del transporte** en el marco del análisis coste-beneficio, pudiendo integrarse el **resultado del estudio de HEAT** como **input en la Herramienta de Análisis Coste-Beneficio (ACB)**.

Por otro lado, HEAT contribuirá a la **estandarización y precisión en la evaluación ambiental de planes, programas y proyectos**, asegurando resultados más consistentes, fiables y homogéneos.

En conjunto, y desde una **perspectiva multimodal**, HEAT se consolida como una herramienta técnica para la evaluación del **consumo energético, las emisiones de gases de efecto invernadero y los contaminantes atmosféricos** de planes, programas y proyectos de transporte. Su aportación radica en

proporcionar estimaciones homogéneas, precisas y comparables, facilitando así la toma de decisiones fundamentadas y coherentes con los objetivos de sostenibilidad. De este modo, HEAT se configura como un instrumento que permite valorar de forma objetiva el impacto de las actuaciones, aportando rigor y claridad al proceso de planificación hacia una movilidad más sostenible.

1.2 Características y principios generales

HEAT es una herramienta en formato **hoja de cálculo** desarrollada en **Microsoft Excel**, que permite al usuario evaluar los consumos de energía y combustible, así como las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y otros contaminantes asociados a la actividad del transporte.

La herramienta abarca los **cuatro modos de transporte** —carretera, ferroviario, marítimo y aéreo—, y es aplicable tanto al transporte de **viajeros** como de **mercancías**. Quedan excluidos los medios propios del transporte urbano, como el metro, el metro ligero, el tranvía o el autobús urbano.

Esta primera versión de HEAT está concebida para su aplicación a la **fase de explotación de las infraestructuras**, permitiendo el análisis de los impactos asociados al uso de los medios de transporte. Dicha fase representa la mayor parte de las emisiones generadas a lo largo del ciclo de vida del transporte y, por tanto, constituye el ámbito de mayor relevancia para su evaluación ambiental.

HEAT se ha planteado con un enfoque **"bottom-up"**, es decir, parte de la **actividad de transporte**, expresada en operaciones o en unidades transportadas, diferenciando por **tipología de vehículo empleado** y considerando aspectos como la **tecnología del motor** o la **fuente de energía**. A cada tipo de vehículo se le asigna un **factor de consumo y emisión**, a partir de los cuales se obtienen los **resultados de consumo energético, emisiones de GEI y contaminantes atmosféricos**.

La herramienta realiza los cálculos según el ciclo **Well-to-Wheel (WtW)** —del pozo a la rueda—, proporcionando de forma separada los resultados correspondientes a las fases **Well-to-Tank (WtT)** —del pozo al tanque— y **Tank-to-Wheel (TtW)** —del tanque a la rueda—.

- La fase **WtT** comprende las etapas de **extracción**, **producción** y **distribución** de la energía hasta el punto de abastecimiento de los vehículos.
- La fase **TtW** se refiere al **consumo energético y las emisiones derivadas del funcionamiento de los vehículos**.

En **HEAT**, las **emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)** se calculan tanto en la fase **WtT** como en la **TtW**, dado que los GEI producen **efectos globales** sobre el clima y, por tanto, deben contabilizarse a lo largo de **todas las etapas del ciclo energético**, desde la producción de los combustibles y la electricidad hasta su consumo final en el transporte.

En cambio, los **contaminantes atmosféricos** se estiman únicamente en la fase **TtW**, ya que su impacto es **fundamentalmente local o regional**, afectando a la **calidad del aire y la salud pública** en el entorno próximo al lugar donde se generan.

El análisis se realiza para un periodo temporal definido por el usuario, comprendido entre un **año inicial**, que coincide con la **puesta en servicio de la actuación analizada**, y un **año horizonte**, que marca el final del periodo de evaluación.

Adicionalmente, pueden considerarse **años intermedios de referencia** —por defecto 2030, 2040 y 2050— siempre que se encuentren entre el año inicial y el año horizonte.

Esta estructura temporal permite al usuario **analizar la evolución del consumo energético y de las emisiones** a lo largo del tiempo, incorporando posibles **mejoras operacionales, avances tecnológicos o cambios en los combustibles**.

En esta versión de HEAT se emplea **el año 2022 como año base** para la caracterización del transporte. Este año de referencia **se actualizará progresivamente** a medida que se disponga de **información más reciente y contrastada**.

1.2.1 Resultados de la herramienta: Consumo de energía, Gases de Efecto Invernadero (GEI) y Contaminantes Atmosféricos

HEAT calcula el consumo de energía eléctrica, las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y determinados contaminantes atmosféricos.

Los **Gases de Efecto Invernadero (GEI)** presentes en la atmósfera retienen parte de la radiación solar y evitan que el calor escape al espacio exterior, manteniendo la temperatura terrestre dentro de rangos adecuados para la vida. Sin embargo, las actividades humanas —principalmente la quema de combustibles fósiles en el transporte, la industria y la generación eléctrica— han incrementado la concentración de estos gases, intensificando el efecto invernadero natural y provocando el calentamiento global. Este fenómeno se traduce en cambios a largo plazo en las temperaturas y los patrones climáticos, con una mayor frecuencia e intensidad de fenómenos extremos como olas de calor, sequías o inundaciones.

Los principales GEI regulados a nivel internacional fueron establecidos en el **Protocolo de Kioto** y son los siguientes: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC), hexafluoruro de azufre (SF_6) y, desde la **COP 18 de Doha (2012)**, el trifluoruro de nitrógeno (NF_3).

Entre ellos, el CO_2 es el gas más abundante y, por lo tanto, el que más contribuye al calentamiento global, motivo por el cual las emisiones se expresan habitualmente en **toneladas de CO_2 equivalente (CO_2eq)**. Esta unidad integra el **Potencial de Calentamiento Global (GWP, por sus siglas en inglés)** de cada gas, es decir, el efecto acumulado del calentamiento que genera una masa determinada de gas respecto al CO_2 en un horizonte temporal de 100 años.



POTENCIAL DE CALENTAMIENTO GLOBAL: MIDE CUÁNTO CONTRIBUYE AL CALENTAMIENTO DE LA TIERRA, LA LIBERACIÓN DE 1 KG DE UN GEI DURANTE UN PERÍODO DE TIEMPO DE 100 AÑOS, EN COMPARACIÓN CON LA LIBERACIÓN DE LA MISMA CANTIDAD DE CO_2.

La herramienta HEAT evalúa las emisiones de CO_2, CH_4 y N_2O, ponderándolas mediante los **potenciales de calentamiento global (GWP)** a 100 años establecidos en el 6º Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2021), que asigna valores de **29,8 para el metano (CH_4)** y **273 para el óxido nitroso (N_2O)** en relación con el **CO_2**.

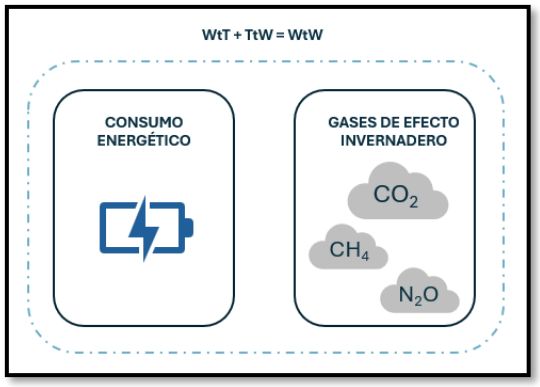


Figura 1. Emisiones totales del ciclo de vida energético (WtW)

Las emisiones de HFC, PFC y SF_6 se consideran **despreciables** en el marco de este estudio, ya que su contribución conjunta representa menos del 3 % de las emisiones globales de GEI asociadas al transporte.

Opcionalmente, HEAT permite incorporar el **Índice de Forzamiento Radiativo (Radiative Forcing Index, RFI)**, que cuantifica el impacto adicional de las emisiones de GEI liberadas a gran altitud, especialmente relevante para el transporte aéreo.

En cuanto al ámbito de cálculo, HEAT cuantifica las emisiones de GEI tanto en la fase **WtT** —producción y suministro del combustible o energía— como en la fase **TtW** —consumo final en el vehículo—, permitiendo así obtener las **emisiones totales del ciclo de vida energético (WtW)**.

El transporte es también una fuente significativa de **contaminación atmosférica local**, afectando directamente a la calidad del aire y a la salud pública. Además de los GEI, HEAT contempla los principales contaminantes regulados por la **Directiva (UE) 2016/2284**, relativa a la reducción de emisiones nacionales de ciertos contaminantes atmosféricos (NEC Directive). Dicha normativa establece compromisos de reducción para las emisiones antropogénicas de:

- **Dióxido de azufre (SO_2)**
- **Óxidos de nitrógeno (NO_x)**
- **Compuestos orgánicos volátiles no metánicos (COVNM)**
- **Amoniaco (NH_3)**
- **Partículas finas ($PM_{2,5}$)**

En el marco de la presente aplicación, se han considerado todos estos contaminantes excepto el **amoniaco (NH_3)**, cuya contribución procedente del transporte es muy reducida en comparación con otros sectores como la agricultura o la ganadería.

HEAT estima las emisiones de contaminantes **solo para la etapa TtW**, es decir, las asociadas al consumo de combustible en el vehículo, que son las que se liberan directamente al entorno inmediato de las infraestructuras de transporte.

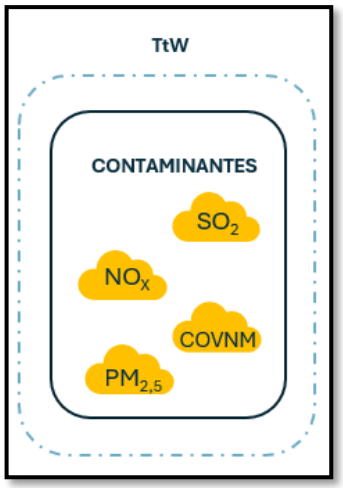


Figura 2. Emisiones contaminantes en la etapa TtW

1.2.2 Fuentes de energía

La herramienta HEAT contempla como fuentes de energía, para el funcionamiento de los diferentes modos de transporte, la **energía eléctrica** y los **combustibles fósiles y alternativos**.

Estas fuentes constituyen la base para la estimación del consumo energético y de las emisiones asociadas, tanto de gases de efecto invernadero (GEI) como de contaminantes atmosféricos. La selección de fuentes expuesta en los siguientes apartados responde a **la realidad actual del sistema de transporte**, permitiendo una representación coherente y homogénea de la situación energética del sector en el ámbito de aplicación de la herramienta.

1.2.2.1 Energía eléctrica

HEAT incorpora la energía eléctrica como fuente de energía en los modos de transporte en los que su uso tiene una presencia significativa.

La **energía eléctrica** se ha considerado en HEAT para los **turismos, autobuses y vehículos de carga ligeros y pesados** en el **transporte por carretera**, así como para el **transporte ferroviario**. Su utilización se contempla principalmente en el **transporte por carretera**, en categorías como **turismos, autobuses y vehículos de carga ligeros y pesados**, así como en el **transporte ferroviario**, donde constituye una de las fuentes energéticas más representativas. Por su parte, en el **transporte marítimo**, la electricidad también está presente, aunque de forma más limitada, restringiéndose a la **etapa de estancia en puerto**, vinculada al **suministro eléctrico a los buques atracados**.

HEAT ofrece al usuario la posibilidad de seleccionar entre:

- **Mix eléctrico nacional**,
- **Mix eléctrico peninsular**,
- **Electricidad con garantía de origen (GdO)**
- **Mix residual**.

La información utilizada procede de diversas fuentes oficiales y técnicas:

- **Datos de Red Eléctrica de España (REE)**, para la caracterización del mix eléctrico actual.
- **"Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2023–2030"**, para las hipótesis de evolución futura.
- **Informe *European Residual Mixes 2022***, publicado por la *Association of Issuing Bodies* (AIB), para la definición del mix residual.

Para obtener información más detallada sobre la consideración de la energía eléctrica en la herramienta HEAT, incluyendo sus factores de consumo y de emisión, puede consultarse el Anejo 5.2.

1.2.2.2 Combustibles

La herramienta HEAT contempla los **combustibles empleados en los distintos modos de transporte**, tanto de **origen fósil** como **renovable o sintético**, en función de su representatividad actual y previsión de uso futuro.

La selección se ha realizado atendiendo a la **disponibilidad de datos**, la **relevancia energética** de cada tipo de combustible y las **tendencias de descarbonización** previstas en los diferentes sectores del transporte.

En el ámbito del **transporte por carretera**, HEAT incluye los siguientes combustibles:

- **Gasolina**
- **Bioetanol** (convencional y avanzado), incorporado en distintos porcentajes a la gasolina
- **Gasóleo A**
- **Biodiésel FAME** (Fatty Acid Methyl Esters)
- **HVO** (aceite vegetal hidrotratado)
- **HVO a partir de aceite de cocina usado**
- **Diésel sintético renovable**, añadidos en diferentes proporciones al gasóleo A.

Se han **excluido otros combustibles** cuyo uso actual o futuro se considera **residual** o **limitado principalmente a la movilidad urbana**, como el **GLP** y el **GNC** en turismos, o el **GNC en autobuses**, de empleo mayoritario en el transporte público urbano y metropolitano.

En el **transporte ferroviario**, se han considerado el **gasóleo B** y el **biodiésel HVO**, ambos relevantes para los servicios que aún no disponen de electrificación total.

Para el **transporte aéreo**, HEAT incorpora el uso de **queroseno**, tanto de origen fósil como mezclado con **biocombustibles avanzados** o **combustibles sintéticos de aviación (SAF)**, en línea con las previsiones de transición energética del sector.

Por último, en el **transporte marítimo** se consideran los siguientes combustibles:

- **BFO** (Heavy Fuel Oil o Bunker Fuel Oil)
- **MDO/MGO** (Marine Diesel Oil / Marine Gas Oil)
- **LNG** (Liquefied Natural Gas o gas natural licuado**)**
- **MeOH** (Metanol)

2 Instalación y primeros pasos

2.1 Requisitos del sistema

Para el correcto funcionamiento de la herramienta HEAT, se recomienda que el sistema cumpla, como mínimo, con las especificaciones técnicas que se detallan a continuación.

El cumplimiento de estos requisitos asegura un rendimiento óptimo del entorno de trabajo, permitiendo una correcta ejecución y una posterior visualización de los resultados generados.

Tabla 1. Requisitos mínimos del sistema

Componente	Requisito mínimo recomendado
Memoria RAM	8 GB
Procesador	Cuatro núcleos a 1,8 GHz
Sistema operativo	Microsoft Windows 10 (64 bits)
Entorno ofimático	Microsoft Office 2021 (64 bits)
Aplicación principal	Microsoft Excel 2021 – versión 2108 (compilación 14326.20404)

2.2 Descarga e instalación de la herramienta

La herramienta **HEAT** está disponible para su descarga en la página web del **Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible**. En este espacio se publica tanto la **versión más reciente** de HEAT como el **histórico de versiones anteriores**, acompañadas de una **descripción de los cambios y mejoras** incorporados en cada una de ellas. Asimismo, se ofrece el **Manual de usuario** asociado a cada versión, garantizando la coherencia entre la documentación y la herramienta utilizada.

Para comenzar a trabajar con HEAT, el usuario deberá **descargar el archivo** correspondiente, el cual, tendrá formato de Hoja Excel y será identificado con el nombre **HEAT_X.Y** (donde *X.Y* representa el número de versión).

Una vez descargado el archivo en el dispositivo de trabajo:

1. **Extraiga** el contenido del archivo comprimido en una carpeta de su elección.
2. **Localice** el fichero principal **HEAT.xlsm**, que constituye el módulo ejecutable de la herramienta, y **ábralo en Microsoft Excel** (versión 2021 o superior, 64 bits), asegurándose de que la **ejecución de macros esté habilitada.** En caso de requerir asistencia para la habilitación de macros, consulte el **"Capítulo 4: Soporte técnico"** de este manual.

3 Uso y funcionamiento de HEAT

Al abrir el archivo **HEAT.xlsm**, se muestra la **pantalla de inicio** de la herramienta, que actúa como punto de acceso a los distintos módulos de cálculo disponibles.

Desde esta interfaz principal, el usuario puede seleccionar el **modo de transporte** sobre el que desea realizar la evaluación y acceder al módulo correspondiente.



Figura *3*. Interfaz principal de la herramienta HEAT

Esta **primera versión de HEAT** ha sido diseñada para la **evaluación de actuaciones vinculadas a un único modo de transporte** y para un **periodo de análisis** definido por un **año inicio y un año horizonte**.

Por tanto, cada ejecución de la herramienta debe centrarse en **un solo modo** y en **un único intervalo temporal**.

En aquellos casos en los que se desee, por ejemplo, analizar **actuaciones que involucren varios modos de transporte**, o evaluar un **plan o conjunto de medidas implementadas en distintas fases**, será necesario **ejecutar la herramienta de manera independiente para cada modo o periodo de implementación**. Los resultados obtenidos en cada ejecución deberán **compararse y combinarse** fuera de HEAT.

Una vez seleccionado el modo de transporte en la pantalla inicial, pulse el botón ABRIR. La herramienta mostrará un aviso con el mensaje "*Módulo generado en su carpeta de descargas*". Tras aceptar dicho aviso, la herramienta abrirá automáticamente el archivo del módulo correspondiente, que habrá sido previamente generado y guardado en la carpeta **Descargas**.

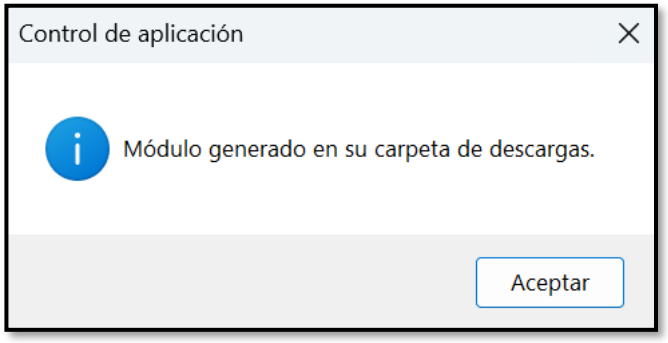


Figura 4. Mensaje de aviso previo a la apertura del módulo correspondiente

3.1 Funcionalidades y características comunes a los cuatro modos

3.1.1 Botones comunes a todos los módulos

La herramienta HEAT incorpora una serie de botones comunes a todos los módulos. Estos elementos proporcionan información o permiten desplazarse entre las distintas secciones, facilitando la navegación y garantizando una experiencia de uso homogénea en todo el entorno de trabajo.

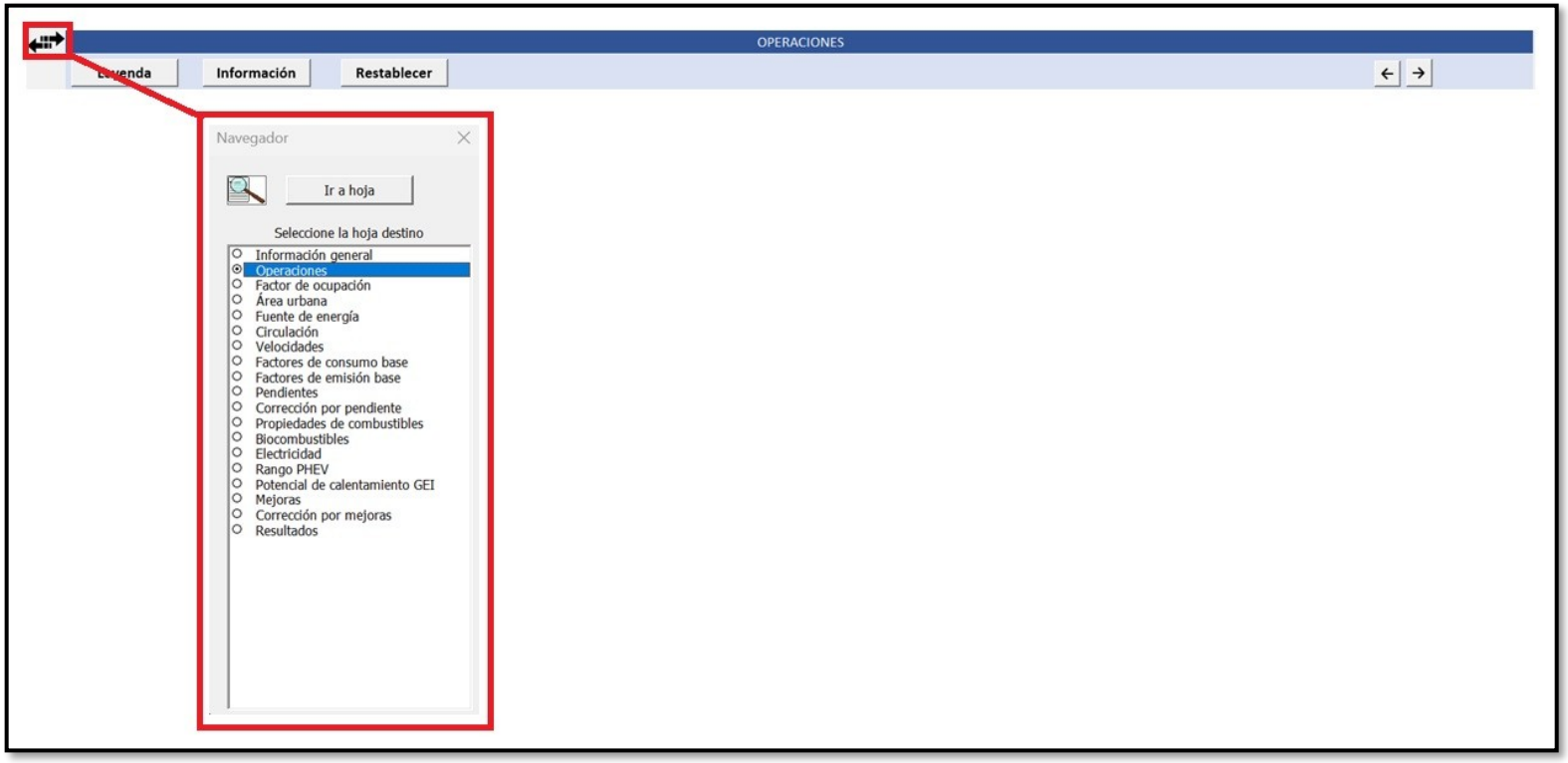


Figura 5. *Botón de acceso rápido a* hojas



Figura 6. Botones de "Leyenda", "Información", "Restablecer" y Avance/Retroceso

A continuación, se describen las funciones de cada uno de ellos:

- **Botón de acceso rápido a hojas** 

  Este botón cumple una **doble función**:

  - **Navegación entre hojas**: abre un cuadro de selección desde el que es posible elegir directamente la pestaña o pantalla a la que se desea acceder, evitando la necesidad de utilizar de forma repetida las flechas de navegación de **Avance/Retroceso**.

  - **Consulta de valores**: el símbolo de la **lupa** incluido en dicho cuadro permite seleccionar un conjunto de celdas y obtener automáticamente información agregada sobre ellas, como la **suma**, el **promedio**, los **valores máximo y mínimo**, así como el **número de celdas seleccionadas**.

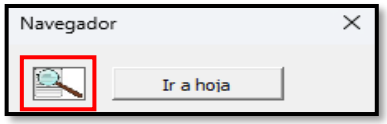


Figura 7. Botón lupa



Figura 8. Visualizador de operaciones con celdas seleccionadas

- **Botón "Leyenda"** 

  Este botón abre una ventana emergente que muestra la **leyenda de colores utilizada en las celdas** de la herramienta.

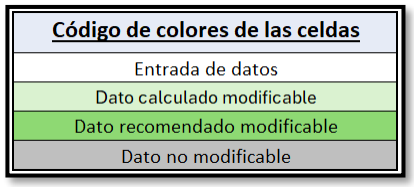


Figura 9. Código de colores de las celdas

La herramienta distingue **cuatro categorías de celdas**, en función de su color y del grado de intervención del usuario:

- **Datos de entrada:** Corresponden a información que debe ser introducida directamente por el usuario. Se presentan en celdas con **fondo blanco**.
- **Datos calculados modificables**: Son datos calculados automáticamente por la herramienta, conforme a la metodología indicada en cada caso, y deben ser revisados y, en su caso, modificados por el usuario. Se muestran en celdas con **fondo verde claro**.
- **Datos recomendados modificables**: Se trata de valores por defecto recomendados por HEAT, basados en la bibliografía y referencias técnicas consultadas. El usuario únicamente debe modificarlos si dispone de información más precisa o detallada que lo

justifique. Se presentan en celdas con **fondo verde oscuro**

- **Datos no modificables**: Incluyen valores de referencia o resultados calculados por la herramienta que no pueden ser editados por el usuario en ningún caso. Se muestran en celdas con **fondo gris**.

- **Botón "Información"** 

  Al pulsarlo, se abre una ventana con una **descripción específica de la hoja** en la que se encuentra el usuario. Incluye instrucciones para interpretar los datos o completar los campos correctamente.

- **Botón "Restablecer"** 

  Este botón permite **restaurar los valores originales** de la hoja actual.
  Elimina los cambios introducidos manualmente por el usuario en esa pantalla y devuelve la configuración tal como aparece al abrir el módulo.
  Es útil si se desea empezar de nuevo o corregir errores rápidamente.

- **Botones de navegación Avance/Retroceso** 

  Estos botones permiten **avanzar o retroceder entre las diferentes hojas** del módulo, como si fuera un "siguiente" y "anterior". Su uso garantiza un recorrido ordenado por las diferentes pestañas y facilita el correcto flujo de trabajo dentro de la herramienta.
  En particular, **una vez que se haya completado la información requerida en una pestaña**, o bien **se haya validado o modificado la información que la herramienta ofrece por defecto**, **es necesario pulsar el botón *Avance*** para confirmar dichas acciones y continuar a la siguiente pestaña. Este paso asegura que los datos introducidos o revisados queden correctamente registrados antes de proseguir.
  Por su parte, el **botón *Retroceso*** permite volver a la pestaña anterior en cualquier momento, con el fin de revisar la información introducida o realizar ajustes adicionales, manteniendo siempre la coherencia del proceso de navegación.

- **Botón ASM (HEAT-AÉREO)** 

El módulo HEAT-AÉREO incorpora el botón **ASM** como un elemento específico de navegación, necesario debido al desarrollo particular de este módulo y a la lógica secuencial de cálculo que aplica la herramienta.

Cuando el usuario retrocede a una pestaña anterior con el fin de realizar una consulta o revisar información, la herramienta muestra un mensaje informativo, como el que se ilustra en la Figura 10, advirtiendo de que existen resultados ya calculados y que cambios en pestañas anteriores, pueden afectar al resultado

mostrado en páginas siguientes. En esta situación, el botón **ASM** permite al usuario avanzar de nuevo en el flujo de trabajo sin que se modifiquen ni recalculen los resultados derivados de las pestañas posteriores, conservando así los cambios previamente introducidos.

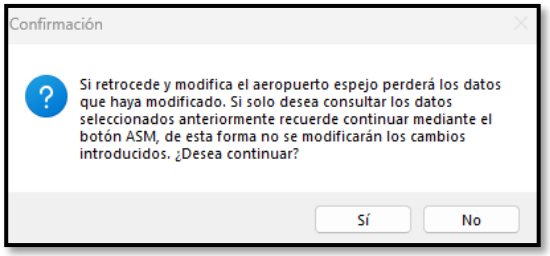


Figura 10. Cartel informativo en caso de volver a pestaña anterior

Por el contrario, si el usuario ha realizado alguna modificación en una pestaña anterior y desea que la herramienta recalcule los resultados en función de dicha modificación, deberá utilizar el botón de **Avance** convencional (véase la explicación del botón correspondiente en el apartado anterior). En este caso, HEAT-AÉREO actualizará los cálculos de forma coherente a lo largo del resto del módulo.

3.1.2 Guardado del ejercicio

Para evitar la pérdida de información y asegurar que se conserva el progreso del análisis realizado, es recomendable guardar el archivo del ejercicio de estudio de forma periódica durante el desarrollo del trabajo.

El guardado del ejercicio se realiza de la misma manera que en cualquier otro archivo de Microsoft Excel. Para almacenar el avance del análisis en curso, el usuario debe utilizar el comando de guardado del programa, mediante el atajo de teclado:

Ctrl + S

Al pulsar simultáneamente estas teclas, el archivo se guardará automáticamente en la ubicación en la que se haya almacenado previamente.

3.1.3 Ayuda al usuario y avisos de la herramienta

HEAT incorpora distintos mecanismos de ayuda al usuario y de comunicación de avisos, comunes a los cuatro módulos, cuyo objetivo es facilitar la correcta introducción de la información y mejorar la comprensión del funcionamiento de la herramienta.

Por un lado, en aquellas celdas en las que se ha considerado conveniente aportar aclaraciones adicionales sobre el tipo de dato que debe introducirse, se muestra un **cuadro de ayuda contextual** al situar el cursor sobre la celda correspondiente. Estas ayudas proporcionan indicaciones sobre el contenido esperado, el formato del dato o su uso dentro del cálculo.

Asimismo, existen celdas en las que la herramienta propone al usuario un valor concreto. En estos casos, se incluye una **nota informativa** que indica la **fuente del dato** o su origen metodológico. Al igual que las ayudas contextuales, esta nota se visualiza al pasar el cursor sobre la celda.

Por último, la herramienta puede mostrar **avisos o mensajes de error** durante su utilización, aplicables a cualquiera de los módulos. Estos mensajes alertan al usuario sobre posibles incoherencias, datos incompletos o valores fuera de rango, y tienen como finalidad guiar al usuario en la corrección de la información introducida y garantizar la correcta ejecución de los cálculos.

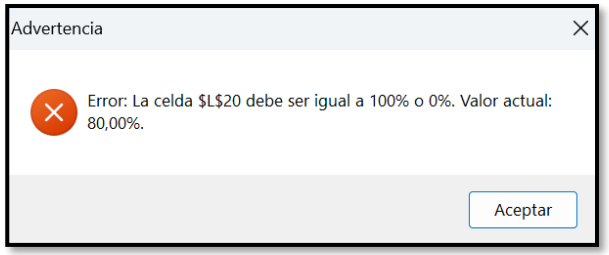


Figura 11. Mensaje de error

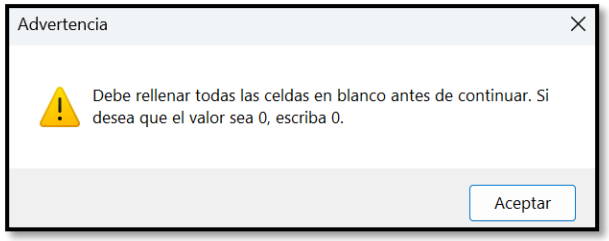


Figura 12. Mensaje de aviso

3.1.4 Datos de entrada comunes a todos los módulos

En la pestaña **Información general**, común a los cuatro módulos de la herramienta, se recogen los **datos necesarios para definir el marco básico del estudio** y que deben cumplimentarse **al inicio del trabajo con HEAT**.

En primer lugar, el usuario deberá indicar en la celda **Estudio** el **nombre o denominación del análisis** que se va a realizar. En esta misma pantalla se muestra el **año base**, que aparece **sombreado en gris** y **no es editable por el usuario**; en la versión actual de HEAT, dicho año base corresponde a **2022**. A continuación, deberán introducirse el **año de inicio** y el **año horizonte**, que delimitan el **periodo temporal del análisis** y sobre los que se estructuran los cálculos y resultados del estudio.

Se ha establecido como año límite el 2109 tanto para el inicio como para el horizonte del análisis, con el fin de evitar limitaciones técnicas de Excel en los procesos de cálculo y en la representación visual de los resultados en la hoja final correspondiente a cada modo de transporte.

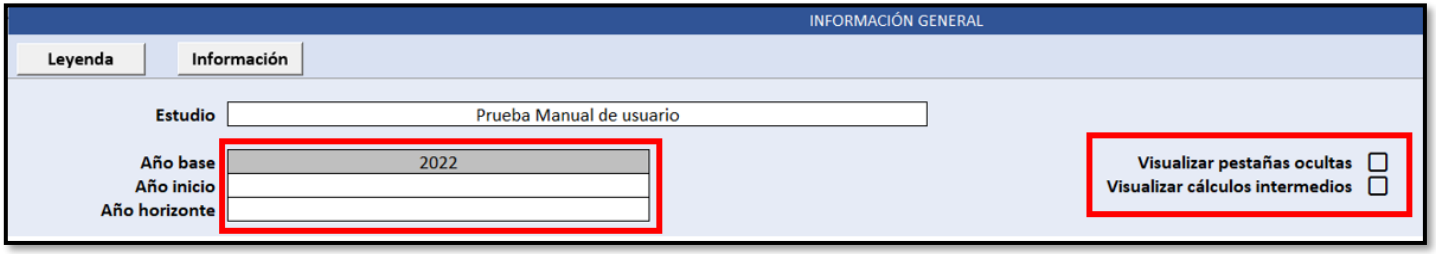


Figura 13. Pestaña Información general

Por último, esta pestaña permite configurar dos opciones de visualización de la herramienta. El usuario puede elegir si desea visualizar únicamente las hojas necesarias para la introducción de datos y la consulta de los resultados finales, o si prefiere mostrar también las **hojas ocultas** y las **hojas de cálculos intermedios**, adaptando así el nivel de detalle mostrado a sus necesidades y a su perfil de usuario.

Las **hojas ocultas** contienen valores de referencia necesarios para la realización de los cálculos y para el correcto funcionamiento de HEAT. Estas hojas no son modificables por el usuario y se utilizan exclusivamente como soporte interno de la herramienta. Por su parte, las **hojas de cálculos intermedios** muestran los resultados de los cálculos intermedios que la herramienta va generando a lo largo del proceso de cálculo, permitiendo a los usuarios con un perfil más técnico consultar el detalle de las operaciones realizadas.

Tras la descripción de las funcionalidades comunes a los cuatro módulos de la herramienta, en los apartados siguientes se detalla el **funcionamiento específico de cada modo de transporte**.

3.2 HEAT - Transporte por carretera

En este apartado se describe el funcionamiento del **módulo de carreteras**, explicando de forma ordenada cómo proceder en cada una de las pestañas que lo componen.

Cada subapartado se corresponde con una pestaña de la herramienta y detalla los datos que deben introducirse y las opciones disponibles en cada una de ellas.

3.2.1 Pestaña Información general

Una vez definidos el **nombre del estudio**, así como los **años de inicio** y **horizonte** del análisis (véase apartado 3.1.3), el usuario deberá indicar el **tipo de dato de actividad** que se utilizará (Véase Figura 14).

En concreto, deberá seleccionarse si la información de actividad que se introducirá en la pestaña siguiente se encuentra disponible en **unidades transportadas** (viajeros-kilómetro y/o toneladas-kilómetro) o en **operaciones** (vehículos-kilómetro), en función de los datos de partida de los que disponga el usuario. Esta selección condiciona la forma de introducción de la información en las pantallas posteriores del módulo.

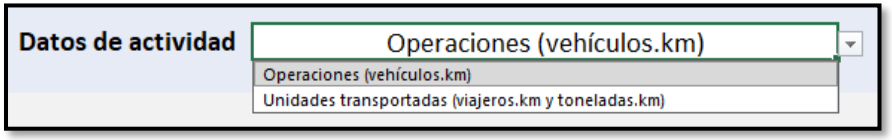


Figura 14. Tipo de dato de actividad

Asimismo, el usuario deberá marcar según sus preferencias, las casillas **Visualizar pestañas ocultas** y **Visualizar cálculos intermedios**, de acuerdo con lo descrito en el apartado 3.1.3, con el fin de adaptar el nivel de detalle mostrado en la herramienta.

3.2.2 Datos de actividad: Operaciones o Unidades transportadas

La **actividad** constituye el dato fundamental para el análisis de emisiones en **HEAT-CARRETERAS**. Tal y como se ha indicado anteriormente, este dato puede introducirse en la herramienta en forma de operaciones (continuar leyendo por el apartado 3.2.2.1) o bien, como **unidades transportadas** (continuar leyendo por el apartado 3.2.2.2), en función de la información disponible.

3.2.2.1 Operaciones

3.2.2.1.1 Pestaña Operaciones

Si el usuario selecciona la introducción del dato de actividad a través de operaciones, la herramienta mostrará la pestaña Operaciones, en la que se definirán los parámetros básicos que caracterizarán la actividad del estudio, tal y como se muestra en la Figura 15.

OPERACIONES

Leyenda | Información | Restablecer

Estudio: Prueba Manual de usuario

Red espejo:

Actividad de tráfico por carretera según categoría de vehículo. Número de operaciones (vehículos ·kilómetro).		Año inicio 2025			Año horizonte 2058		
		Convencional	Multicarril	Autopista/ Autovía	Convencional	Multicarril	Autopista/ Autovía
		vh.km	vh.km	vh.km	vh.km	vh.km	vh.km
Ligeros	Turismo						
	Motocicleta						
	Vehículo de carga ligero						
	TOTAL						
Pesados	Autobús/Autocar						
	Vehículo de carga pesado rígido						
	Vehículo de carga pesado articulado						
	TOTAL						

Figura 15. Extracto de la tabla de actividad de transporte por carretera según la categoría de vehículo

En primer lugar, deberá seleccionarse la **red espejo**.

RED ESPEJO: ÁMBITO GEOGRÁFICO DE REFERENCIA A PARTIR DEL CUAL LA HERRAMIENTA HEAT APLICA UN REPARTO AUTOMÁTICO DE LOS DATOS DE ACTIVIDAD.

La selección de la red espejo en esta y en otras pestañas dota a HEAT de una elevada flexibilidad, permitiendo al usuario definir el **ámbito geográfico de referencia** para los repartos automáticos que realiza la herramienta. De este modo, el usuario puede adaptar el análisis a las necesidades específicas de su estudio.

La selección de la **red espejo** en esta pestaña permitirá que, una vez el usuario introduzca los datos de actividad, la herramienta realice de forma automática **el reparto entre los distintos tipos de vehículos**: turismos, motocicletas, autobuses/autocares y vehículos de carga ligeros, pesados rígidos y pesados articulados.

En todas las pestañas en las que el usuario deba seleccionar una **Red Espejo**, podrá elegir entre **14 opciones**: la opción **España**, correspondiente a la Red de Carreteras del Estado (RCE), y **13 de las 17 comunidades autónomas**.

Nota: Debido a la titularidad de las vías, no se dispone de datos para las CCAA de Navarra y País Vasco, para el archipiélago balear y el archipiélago canario, ni para las Ciudades Autónomas de Ceuta y Melilla. En estos casos, se recomienda seleccionar como **Red espejo** la opción **España**, de forma que el reparto de la actividad se realizará conforme a la RCE.

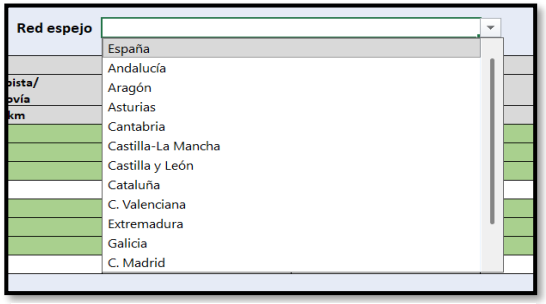


Figura 16. Selección de la Red Espejo

Una vez seleccionada la red espejo, el usuario deberá introducir en las **celdas blancas,** el **número total de operaciones**, expresadas en **vehículos-kilómetro**, correspondientes a la actividad objeto de evaluación. Estos datos deben introducirse diferenciando entre **vehículos ligeros** y **vehículos pesados**, y desagregados por **tipo de vía**.

HEAT-CARRETERAS distingue tres tipos de vía, de acuerdo con las definiciones recogidas en la **Ley 37/2015, de Carreteras**:

- Carreteras convencionales.
- Carreteras multicarril.
- Autopistas o autovías.

Asimismo, la herramienta trabaja con **seis clases de vehículos**, para las que se realiza el reparto de la actividad:

- Turismo.
- Motocicleta.
- Autobús/autocar.
- Vehículo de carga ligero.
- Vehículo de carga pesado rígido.
- Vehículo de carga pesado articulado.

Los datos de actividad deben cumplimentarse tanto para el **año de inicio** como para el **año horizonte** del estudio. Para los **años intermedios** (2030, 2040 y 2050), HEAT-CARRETERAS realiza automáticamente una **interpolación lineal** a partir de los valores introducidos para el año de inicio y el año horizonte. En caso de que alguno de estos años intermedios sea anterior al año de inicio o posterior al año horizonte, no se efectúa el cálculo correspondiente.

A partir de la información introducida, la herramienta realiza de forma automática el reparto por categorías de vehículos, de acuerdo con la distribución asociada a la **red espejo** seleccionada. Los valores propuestos se muestran en **celdas con fondo verde** oscuro, al corresponder a datos recomendados que pueden ser modificados por el usuario si dispone de información más precisa. En cualquier caso, las modificaciones deberán respetar el total de vehículos-kilómetro, tanto para vehículos ligeros como para vehículos pesados.

3.2.2.1.2 Pestaña Factor de ocupación

Una vez introducidos los datos de actividad, HEAT-CARRETERA mostrará al usuario la pestaña **Factor de ocupación**, en la que se presenta un cuadro con los valores medios de ocupación y de carga correspondientes a los distintos tipos de vehículos, tal y como se muestra en la Figura 17.

FACTORES DE OCUPACIÓN / CARGA

Leyenda | Información | Restablecer

Estudio: Prueba Manual de instrucciones

Factores de ocupación y de carga		2022	Año inicio 2025	Año horizonte 2055	2030	2040	2050
Ligeros	Turismo (viajeros/vh)	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68
	Motocicleta (viajeros/vh)	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44
	Vehículo de carga ligero (t/vh)	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Pesados	Autobús/Autocar (viajeros/vh)	21,17	21,17	21,17	21,17	21,17	21,17
	Vehículo de carga pesado rígido (t/vh)	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5
	Vehículo de carga pesado articulado (t/vh)	28	28	28	28	28	28

Figura 17. Extracto de la tabla de Factores de ocupación y carga

Cuando el usuario introduce los datos de actividad en forma de **operaciones**, resulta necesario definir estos factores para poder obtener los resultados de consumos energéticos y emisiones expresados por **viajero** o por **tonelada transportada**.

Para el **año base**, los valores de ocupación y de carga se muestran sombreados en **gris**, al tratarse de valores **no editables**, que se proporcionan como referencia para el resto de los años del análisis.

Junto al año base se presentan los valores correspondientes a los **años de inicio y horizonte**, sombreados en **verde oscuro**, al tratarse de valores propuestos, inicialmente iguales a los del año base, que el usuario puede modificar si dispone de información más precisa o actualizada, o si desea considerar escenarios que impliquen variaciones en dichos factores.

Los valores de ocupación y de carga para los **años intermedios** (2030, 2040 y 2050, según corresponda) se obtienen mediante **interpolación lineal** entre los valores definidos para los años de inicio y horizonte. Estos valores se muestran con **fondo verde claro** y pueden ser modificados por el usuario si procede. En caso de realizar modificaciones, el usuario deberá verificar la coherencia de los valores introducidos con los factores definidos para los años de inicio y horizonte.

Los **factores de ocupación y de carga del año base** se han obtenido a partir de las siguientes fuentes:

- Para turismos, motocicletas, vehículos de carga ligeros y autobuses/autocares: datos procedentes de la *Monografía CEDEX «Herramienta de cálculo de consumo energético y de emisiones contaminantes y de gases de efecto invernadero (GEI) en planes, programas y proyectos de carretera»*.
- Para vehículos de carga pesados: datos empleados en el **MNT 1.0 Mercancías**, obtenidos mediante el análisis de la **EPTMC 2017**. Se asume la equivalencia entre vehículo de mercancías de baja carga y vehículo pesado rígido, y entre vehículo de mercancías de alta carga y vehículo pesado articulado (Informe *«Modelos de reparto modal y asignación de mercancías»*, pág. 30).

3.2.2.1.3 Pestaña Área urbana

En la pestaña **Área urbana**, el usuario deberá seleccionar nuevamente la **Red espejo**, que podrá coincidir o no con la definida en la pestaña **OPERACIONES**. A partir de esta selección, **HEAT-CARRETERA** realizará la distribución de las operaciones diferenciando el ámbito en el que se desarrolla la circulación.

En concreto, HEAT-CARRETERA distingue entre los siguientes **tipos de área**:

- **Área rural**: población inferior a 5.000 habitantes.
- **Pequeña área urbana**: población comprendida entre 5.000 y 50.000 habitantes.
- **Gran área urbana**: población superior a 50.000 habitantes.

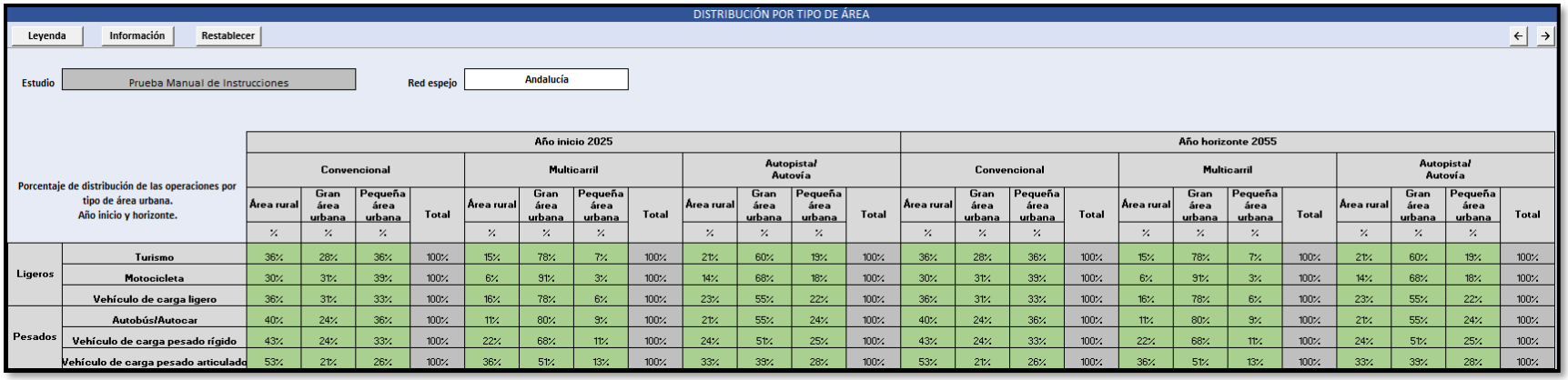
La diferenciación de la actividad por tipo de área resulta necesaria, ya que uno de los objetivos de **HEAT** es proporcionar resultados de emisiones adecuados para su utilización en un **análisis coste-beneficio (ACB)** de estudios y planes de carreteras.

En este contexto, la metodología recogida en el *«Handbook on the External Costs of Transport»* (2019) establece, para los contaminantes atmosféricos **$PM_{2,5}$** y **NO_x**, factores económicos cuyos valores varían en función del tipo de área en la que se producen dichas emisiones.

En particular, para el **NO_x** se distingue entre **zona urbana** y **zona rural**, mientras que para el **$PM_{2,5}$** se emplea una clasificación más desagregada, diferenciando entre **gran área urbana**, **pequeña área urbana** y **zona rural**.

El reparto por defecto que propone HEAT para cada una de las **redes espejo** se ha obtenido a partir de la metodología establecida por el **Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana** en el informe *«Delimitación de las Áreas Urbanas – Metodología»* (2023).

En primer lugar, los municipios de España se han clasificado en las tres categorías de área definidas anteriormente. A partir de esta clasificación, cada tramo de la **Red de Carreteras del Estado** se ha asignado al tipo de área correspondiente. Finalmente, mediante el cruce de esta información con los **datos de aforos** de la RCE y con los **límites territoriales de las comunidades autónomas** definidos en las capas del **Instituto Geográfico Nacional**, se ha elaborado el reparto por tipo de área para cada red espejo.



DISTRIBUCIÓN POR TIPO DE ÁREA

Leyenda | Información | Restablecer

Estudio: Prueba Manual de Instrucciones — Red espejo: Andalucía

Porcentaje de distribución de las operaciones por tipo de área urbana. Año inicio y horizonte.		Año inicio 2025												Año horizonte 2055											
		Convencional				Multicarril				Autopista/ Autovía				Convencional				Multicarril				Autopista/ Autovía			
		Área rural	Gran área urbana	Pequeña área urbana	Total	Área rural	Gran área urbana	Pequeña área urbana	Total	Área rural	Gran área urbana	Pequeña área urbana	Total	Área rural	Gran área urbana	Pequeña área urbana	Total	Área rural	Gran área urbana	Pequeña área urbana	Total	Área rural	Gran área urbana	Pequeña área urbana	Total
		%	%	%		%	%	%		%	%	%		%	%	%		%	%	%		%	%	%	
Ligeros	Turismo	36%	28%	36%	100%	15%	78%	7%	100%	21%	60%	19%	100%	36%	28%	36%	100%	15%	78%	7%	100%	21%	60%	19%	100%
	Motocicleta	30%	31%	39%	100%	6%	91%	3%	100%	14%	68%	18%	100%	30%	31%	39%	100%	6%	91%	3%	100%	14%	68%	18%	100%
	Vehículo de carga ligero	36%	31%	33%	100%	16%	78%	6%	100%	23%	55%	22%	100%	36%	31%	33%	100%	16%	78%	6%	100%	23%	55%	22%	100%
Pesados	Autobús/Autocar	40%	24%	36%	100%	11%	80%	9%	100%	21%	55%	24%	100%	40%	24%	36%	100%	11%	80%	9%	100%	21%	55%	24%	100%
	Vehículo de carga pesado rígido	43%	24%	33%	100%	22%	68%	11%	100%	24%	51%	25%	100%	43%	24%	33%	100%	22%	68%	11%	100%	24%	51%	25%	100%
	Vehículo de carga pesado articulado	53%	21%	26%	100%	36%	51%	13%	100%	33%	39%	28%	100%	53%	21%	26%	100%	36%	51%	13%	100%	33%	39%	28%	100%

Figura 18. Extracto de la tabla de Porcentajes de distribución de las operaciones por tipo de área urbana

3.2.2.1.4 Pestaña Fuente de energía

En esta pestaña, el primer paso que debe realizar el usuario es seleccionar el **parque circulante espejo**, **ámbito geográfico de referencia** a partir del cual la herramienta **HEAT** aplica un reparto automático de los datos de actividad. Dicho reparto se realiza sobre la base de los datos previamente desglosados a partir de la **red espejo**, asignándolos, en este caso, según el **tipo de motor y/o fuente de energía** de los vehículos.

> **PARQUE CIRCULANTE:** CONJUNTO DE VEHÍCULOS QUE SE ENCUENTRAN EFECTIVAMENTE EN CIRCULACIÓN, REPRESENTATIVO DE LA MOVILIDAD REAL. FRENTE AL PARQUE DE VEHÍCULOS, QUE INCLUYE TODOS LOS VEHÍCULOS MATRICULADOS CON INDEPENDENCIA DE SU USO, EL PARQUE CIRCULANTE PERMITE UNA ESTIMACIÓN MÁS PRECISA DE LA ACTIVIDAD, LOS CONSUMOS Y LAS EMISIONES DEL TRANSPORTE.

Este desglose se diferencia, asimismo, por **tipo de vía** —convencional, vía multicarril y autopista/autovía— y por **subtipo**, distinguiendo entre **rural** (asimilable a interurbana) y **urbana**.

Los valores propuestos por defecto son iguales para todos los **tipos y subtipos de vía**. No obstante, dichos valores pueden ser ajustados por el usuario si lo considera justificado, por ejemplo, para reflejar una mayor presencia de determinados sistemas de propulsión, como los **vehículos eléctricos**, en el ámbito urbano.

Los valores correspondientes al **año base** se muestran con **fondo gris**, al tratarse de valores no editables. Para los **años intermedios** (2030, 2040 y 2050), la herramienta propone valores con **fondo verde oscuro**, que por defecto son iguales a los definidos para el año base, si bien pueden ser modificados por el usuario en caso de disponer de información más detallada o específica. Los valores correspondientes a los **años de inicio y horizonte** se calculan mediante **interpolación lineal** a partir de los valores definidos para el año base y los años intermedios, según corresponda. Estos valores pueden ser modificados por el usuario; no obstante, deberá verificarse en todo caso la **coherencia** con los valores establecidos para los años intermedios.

3.2.2.1.5 Pestaña Circulación

En esta pestaña se solicita al usuario que caracterice el reparto de la actividad en función de las **condiciones de circulación del tráfico**.

Para ello, la herramienta proporciona una tabla (véase Figura 19) en la que el usuario debe introducir, **para cada tipo y subtipo de vía**, el **porcentaje de vehículos-kilómetro** que circula en las **distintas condiciones de tráfico consideradas**: *Fluido*, *Estable* y *Casi inestable*.

Es importante destacar que **HEAT no contempla situaciones en las que se llegue a producir congestión**.

Distribución de las condiciones de circulación por tipos de áreas urbanas. Año inicio y horizonte.	Año inicio 2025						Año horizonte 2055					
	Convencional		Multicarril		Autopista/ Autovía		Convencional		Multicarril		Autopista/ Autovía	
	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Fluido	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Estable	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Casi inestable	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Figura 19. Ejemplo de tabla de Distribución de las condiciones de circulación según tipos de áreas urbanas

En **HEAT-Carretera**, a cada condición de circulación se le asigna una **velocidad media** específica por categoría de vehículo y por tipo y subtipo de vía. Esta velocidad media se considera **relativamente constante**. Las velocidades asociadas a cada condición de circulación se muestran en la pestaña correspondiente y se describen con mayor detalle en el apartado específico del manual.

A estos efectos, la herramienta considera lo siguiente:

- En condiciones de circulación **Fluido**, el tráfico no tiene repercusión sobre la velocidad de los vehículos.
- En condiciones **Estable** y **Casi inestable**, el tráfico ejerce una repercusión creciente sobre la reducción de la velocidad, que depende de la categoría del vehículo y del tipo de vía.

Los porcentajes de vehículos-kilómetro asignados a cada condición de circulación, para cada tipo y subtipo de vía, **deben sumar el 100 %**. El usuario debe introducir estos valores para el **año de inicio** y el **año horizonte**.

Los valores correspondientes a **2030, 2040 y 2050** se obtienen mediante **interpolación lineal** a partir de los datos del año de inicio y del horizonte, pudiendo ser **modificados posteriormente por el usuario** si así se requiere.

3.2.2.1.6 Pestaña Velocidades

En esta pestaña, el **usuario no debe introducir ningún valor**, ya que la herramienta **propone directamente las velocidades medias** asociadas a las distintas condiciones de circulación. Estos valores únicamente deberán ser **modificados por el usuario** en caso de que lo considere necesario.

Las velocidades propuestas, en función de las condiciones de circulación y para cada categoría de vehículo, diferenciadas por **tipo y subtipo de vía**, se han calculado a partir de **datos de aforos de la RCE**.

Velocidades en función de las condiciones de circulación		Convencional		Multicarril		Autopista/ Autovía	
		Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana
		Km/h	Km/h	Km/h	Km/h	Km/h	Km/h
Motocicleta	Fluido	78	65	81	68	118	105
	Estable	73	60	76	63	113	100
	Casi inestable	68	55	71	58	108	95

Figura 20. Extracto tabla de Velocidades según las condiciones de circulación

3.2.2.1.7 Pestañas Factores de consumo base y Factores de emisión base

En estas pestañas, el **usuario no debe introducir ningún valor**, ya que se trata de pestañas informativas en las que la herramienta muestra los **factores de consumo de combustible y de energía eléctrica** y los **factores de emisión** correspondientes al **año de inicio** y al **año horizonte**, para cada **tipo de vehículo** y **tipo de vía**, tal y como se muestra en la Figura 21.

Los factores que se presentan se obtienen a partir de **curvas de consumo y de emisiones dependientes de la velocidad**, definidas para cada categoría de vehículo. A partir de dichas curvas, los factores se calculan considerando la **velocidad media asignada a cada vehículo**, determinada en la pestaña anterior.

Para una descripción detallada del **procedimiento de obtención de estos factores**, se remite al **Anejo 2**.

Estos factores se muestran sobre **fondo gris**, al tratarse de **valores propuestos por la herramienta**, que **no pueden ser modificados por el usuario**.

Factores de consumo de combustible y energía eléctrica en el año base (Función de velocidad)			Año inicio 2025																	
			Electricidad (MJ/vh.km)						Combustible (MJ/vh.km)						Electricidad (MJ/vh.km)					
			Convencional		Multicarril		Autopista/ Autovía		Convencional		Multicarril		Autopista/ Autovía		Convencional		Multicarril			
			Área rural	Área urbana	Área rural	Área urbana	Área rural	Área urbana	Área rural	Área urbana	Área rural	Área urbana	Área rural	Área urbana	Área rural	Área urbana	Área rural	Área urbana		
Viajeros	Turismo	Gasóleo A							1,8688063	1,8688063	1,8688063	1,8688063	2,2570396	2,2570396						
	Turismo	Gasolina							2,0208079	2,0208079	2,0208079	2,0208079	2,3557713	2,3557713						
	Turismo	HEV gasolina							1,4680049	1,4680049	1,4680049	1,4680049	1,9985457	1,9985457						
	Turismo	PHEV gasolina CD							1,6948985	1,6948985	1,6948985	1,6948985	3,1412926	3,1412926						
	Turismo	PHEV gasolina CS	0,6607687	0,6607687	0,6607687	0,6607687	1,1508088	1,1508088							0,6607687	0,6607687	0,6607687	0,6607687		
	Turismo	Eléctrico enchufable	0,8067999	0,8067999	0,8067999	0,8067999	1,2957899	1,2957899							0,8067999	0,8067999	0,8067999	0,8067999		
	Motocicleta	Gasolina							1,0807490	1,0285389	1,0807490	1,0394407	1,5391415	1,2950954						
	Autobús/Autocar	Gasóleo A							10,3052674	10,3052674	10,3052674	10,3052674	10,3052674	10,3052674						
	Autobús/Autocar	Eléctrico enchufable	4,1400000	4,1400000	4,1400000	4,1400000	4,1400000	4,1400000							4,1400000	4,1400000	4,1400000	4,1400000		
Mercancías	Vehículo de carga ligero	Gasóleo A							2,7574719	2,7574719	2,7574719	2,7574719	3,8403610	3,8403610						
	Vehículo de carga ligero	Gasolina							2,0115846	2,0115846	2,0115846	2,0115846	2,5306987	2,5306987						
	Vehículo de carga ligero	Eléctrico enchufable	0,6840000	0,6840000	0,6840000	0,6840000	1,2600000	1,2600000							0,6840000	0,6840000	0,6840000	0,6840000		
	Vehículo de carga pesado rígido	Gasóleo A							8,7312285	8,7312285	8,7312285	8,7312285	8,7312285	8,7312285						
	Vehículo de carga pesado rígido	Eléctrico enchufable	6,1200000	6,1200000	6,1200000	6,1200000	6,1200000	6,1200000							6,1200000	6,1200000	6,1200000	6,1200000		
	Vehículo de carga pesado articulado	Gasóleo A							8,0605485	8,0605485	8,0605485	8,0605485	8,0605485	8,0605485						
	Vehículo de carga pesado articulado	Eléctrico enchufable	6,1200000	6,1200000	6,1200000	6,1200000	6,1200000	6,1200000							6,1200000	6,1200000	6,1200000	6,1200000		

Figura *21. Extracto tabla de Factores de consumo de combustible y energía eléctrica*

Factores de emisión de combustible y energía eléctrica en el año base (Función de velocidad)			CH_4 TtW (g/vh.km)					
			Año inicio 2022					
			Convencional		Multicarril		Autopista/ Autovía	
			Área rural	Área urbana	Área rural	Área urbana	Área rural	Área urbana
Viajeros	Turismo	Gasóleo A	0,0000221	0,0000221	0,0000147	0,0000147	0,0000147	0,0000147
	Turismo	Gasolina	0,0027469	0,0027469	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000
	Turismo	HEV gasolina	0,0026900	0,0026900	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000
	Turismo	PHEV gasolina CD	0,0026900	0,0026900	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000
	Turismo	PHEV gasolina CS						
	Turismo	Eléctrico enchufable						
	Motocicleta	Gasolina	0,0411363	0,0411363	0,0381311	0,0381311	0,0381311	0,0381311
	Autobús/Autocar	Gasóleo A	1,6740888	1,6740888	0,0038625	0,0038625	0,0038625	0,0038625
	Autobús/Autocar	Eléctrico enchufable						

Figura 22. Extracto tabla de Factores de emisión

3.2.2.1.8 Pestaña Pendientes

En esta pestaña, el usuario debe indicar **cómo se distribuye la actividad**, expresada como **porcentaje de vehículos-kilómetro**, en función del **rango de rampa o pendiente** de la red objeto de estudio, para cada **tipo y subtipo de vía**.

En la Figura *23*, se muestra la tabla en la que el usuario debe introducir los porcentajes de reparto de la circulación. Para cada tipo y subtipo de vía, el reparto de la actividad **debe sumar el 100%**.

Porcentaje de reparto de la vía de estudio en función de la pendiente		-7% a -5%	-5% a -3%	-3% a -1%	-1% a 1%	1% a 3%	3% a 5%	5% a 7%
		%	%	%	%	%	%	%
Convencional	Rural							
	Urbana							
Multicarril	Rural							
	Urbana							
Autovía /Autopista	Rural							
	Urbana							

Figura 23. Extracto tabla de Porcentajes de reparto de la vía de estudio según la pendiente

La **rampa o pendiente de la carretera** influye en el **consumo de combustible y en las emisiones** de los vehículos. No obstante, el tratamiento de este efecto difiere en función de la categoría de vehículo.

En el caso de los **vehículos ligeros**, **HEAT-Carretera** asume que el efecto de la pendiente puede **despreciarse**. De acuerdo con los resultados del **proyecto OASIS**[1], la relación entre la pendiente y el factor de corrección del consumo es **lineal**. En la práctica, esto implica que los incrementos de consumo asociados a la circulación en sentido ascendente se **compensan** con los ahorros obtenidos en el sentido descendente, suponiendo un reparto de la **IMD por sentidos del 50 %**.

Por el contrario, para los **vehículos pesados**, **HEAT-Carretera** aplica **factores de corrección del consumo de combustible y de las emisiones**, específicos para cada categoría de vehículo pesado y en función de la **pendiente**. A diferencia de lo que ocurre en los vehículos ligeros, en este caso la relación entre la pendiente y el factor de corrección del consumo **no es lineal**, sino que puede aproximarse mediante una **función de tipo cuadrático**.

Como consecuencia, los incrementos de consumo asociados a la circulación en pendiente **no se compensan** entre sentidos, por lo que resulta necesario **incorporar explícitamente factores de corrección** del consumo y de las emisiones para los vehículos pesados.

El **factor de corrección asociado a la pendiente** se aplica sobre el **factor de consumo obtenido a partir de las curvas de consumo**, ajustando así el consumo de combustible en función de la rampa o pendiente considerada.

3.2.2.1.9 Pestaña Corrección por pendiente

En esta pestaña, el **usuario no debe introducir ningún valor**, ya que se trata de una pestaña informativa en la que la herramienta muestra las **tablas de factores de consumo y de emisión corregidos en función de la pendiente**, correspondientes al **año de inicio** y al **año horizonte**.

[1] Operación de Autopistas Seguras, Inteligentes y Sostenibles. TAREA 6. Optimización de recursos energéticos. Subterea: Determinación de la huella energética en la fase de operación de la autopista. Centro de Investigación del Transporte (TRANSyT). Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

3.2.2.1.10 Pestaña Propiedades de combustibles

La información mostrada en esta pestaña es **generada automáticamente por la herramienta**, sin necesidad de intervención del usuario.

La pestaña **Propiedades de combustibles** presenta al usuario las **propiedades físicas y energéticas** de los distintos **combustibles y biocombustibles** considerados en la herramienta, así como los **factores de emisión asociados a las fases WtT** y **TtW**.

En la etapa **TtW**, únicamente se muestran los factores de emisión de aquellos gases **que no dependen de la velocidad de circulación**, dado que el resto se han calculado previamente en otras pestañas de la herramienta.

Los **combustibles considerados en HEAT-CARRETERA** son los siguientes:

- Gasolina.
- Bioetanol convencional.
- Bioetanol avanzado.
- Gasóleo A.
- Biodiésel FAME.
- Biodiésel HVO.
- Biodiésel HVO (Anejo IX-B) a partir de aceite de cocina usado.
- Diésel sintético renovable.

Todos los valores recogidos en esta tabla son **no modificables por el usuario**, al tratarse de **parámetros de referencia** empleados internamente por la herramienta en el cálculo de consumos y emisiones.

Los **factores de emisión no se obtienen de forma homogénea para todos los contaminantes**, ya que su valor depende de la naturaleza del gas considerado y de los procesos físicos y químicos implicados en la combustión.

Por ejemplo, los **factores de emisión de CH_4, NO_x, PM y COV** dependen de la **velocidad de circulación** y de la **tecnología del motor** del vehículo, por lo que se calculan a partir de las curvas de consumo y emisión asociadas a cada categoría de vehículo. Por el contrario, en el caso del **CO_2**, se asume una **combustión completa del combustible**, de modo que su factor de emisión se obtiene **directamente a partir del consumo de combustible**, en función de su contenido energético y de carbono.

3.2.2.1.11 Pestaña Biocombustibles

En esta pestaña, el usuario debe **revisar los valores propuestos por la herramienta** y, en caso de considerarlo necesario, **modificarlos**.

HEAT propone **porcentajes de uso de biocombustibles respecto al contenido total del depósito del vehículo** para el año base y para los años **2030, 2040 y 2050**.

A partir de estos valores, los **porcentajes correspondientes al año de inicio y al año horizonte** del análisis se **calculan automáticamente mediante interpolación lineal**, sin intervención del usuario.

Los valores propuestos por defecto por la herramienta se basan en las **consideraciones establecidas en el Real Decreto 1085/2015, de fomento de los biocarburantes**, y sirven como referencia inicial para el análisis.

Para una descripción más detallada de los biocombustibles considerados en el transporte por carretera y de las hipótesis adoptadas para el cálculo de consumos y emisiones, se remite al Anejo 3, apartado 5.5.1 del presente manual.

3.2.2.1.12 Pestaña Electricidad

En esta pestaña, el usuario debe **seleccionar el mix de la energía eléctrica consumida por los vehículos eléctricos**, eligiendo una de las cuatro opciones disponibles: **mix nacional, mix peninsular, mix con garantía de origen (GdO) o mix residual**.

Procedencia del mix energético	
Comercialización genérica nacional	☐
Comercialización genérica peninsular	☐
Electricidad con garantía de origen (GdO)	☐
Mix residual	☐

Figura 24. Tabla principal de la pestaña electricidad para conocer la procedencia del mix energético

En función de la opción seleccionada, la herramienta **muestra automáticamente los factores de emisión y los coeficientes de pérdidas** correspondientes.

HEAT-CARRETERA **propone valores de referencia modificables para los años 2030, 2040 y 2050**, que el usuario puede **ajustar** cuando disponga de información más específica o desee introducir supuestos alternativos. A partir de estos valores, la herramienta **calcula automáticamente**, mediante **interpolación lineal**, los factores correspondientes al **año de inicio** y al **año horizonte** del análisis, sin intervención directa del usuario.

A la hora de realizar esta selección, debe tenerse en cuenta que, en la situación actual, la **mayor parte de los vehículos eléctricos que circulan en España son de carácter particular o pertenecen a flotas empresariales**, siendo **poco probable que su consumo eléctrico esté respaldado por un certificado de garantía de origen**. En este contexto, podría considerarse la **selección del mix residual**, habida cuenta de que una parte significativa de la energía con garantía de origen es consumida mayoritariamente por otro tipo de usuarios.

Alternativamente, y en ausencia de información más detallada, también puede optarse por el **mix peninsular o el mix nacional**.

Para una **descripción detallada** de los distintos mixes de energía eléctrica, así como de las metodologías e hipótesis seguidas para la obtención de los **factores de emisión** y **coeficientes de pérdidas**, se remite al Anejo 4.

3.2.2.1.13 Pestaña Rango PHEV

En esta pestaña, el usuario debe **revisar los valores propuestos por la herramienta** y, en su caso, **validarlos o modificarlos** en función de la información de que disponga.

La consideración de los **vehículos híbridos enchufables (PHEV)** en HEAT-CARRETERA parte de la premisa de que **una parte de los kilómetros recorridos se realiza en modo eléctrico**, mientras que el resto del recorrido se efectúa **utilizando el motor de combustión (gasolina)**.

La pestaña **muestra el porcentaje del recorrido que estos vehículos realizan en modo eléctrico**, desagregado por **tipo y subtipo de vía**. Dichos porcentajes reflejan un patrón de uso coherente con la **autonomía eléctrica actual de los PHEV** y con su comportamiento habitual en distintos entornos de circulación. En concreto, se asume un **mayor uso del modo eléctrico en redes convencionales**, donde el porcentaje de recorrido eléctrico se sitúa en torno al **80 %**, y un uso progresivamente menor en **vías multicarril (50 %)** y en **autopistas y autovías (5 %)**.

Rango extensión de los vehículos PHEV en modo eléctrico. Año inicio y horizonte.											
Año Inicio 2028						Año horizonte 2058					
Convencional		Vía multicarril		Autopista/ Autovía		Convencional		Vía multicarril		Autopista/ Autovía	
Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
80%	80%	50%	50%	5%	5%	80%	80%	50%	50%	5%	5%

Figura 25. Extracto tabla del Rango de extensión de los vehículos PHEV en modo eléctrico

Estos valores se **proponen de forma uniforme para el año de inicio, los años intermedios y el año horizonte del análisis**, asumiéndose constantes a lo largo del periodo temporal considerado. No obstante, el usuario puede **modificarlos** si dispone de datos más representativos del comportamiento real de los PHEV en el ámbito de estudio.

3.2.2.1.14 Pestaña Potencial de calentamiento GEI

En esta pestaña, HEAT-CARRETERA solicita al usuario que revise y confirme los **valores de los potenciales de calentamiento global (PC)**, en los términos descritos en el apartado 1.2.1, que se emplean para el **cálculo del factor de emisión de dióxido de carbono equivalente (CO_2 eq)**.

El cálculo del factor de emisión de CO_2 equivalente se realiza a partir de los factores de emisión individuales de **CO_2, CH_4 y N_2O**, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Fe\ CO_2\ eq = Fe\ CO_2 \times PC\ CO_2 + Fe\ CH_4 \times PC\ CH_4 + Fe\ N_2O \times PC\ N_2O$$

La herramienta **HEAT** evalúa las emisiones de **CO_2, CH_4 y N_2O**, ponderándolas mediante los **potenciales de calentamiento global (GWP) a 100 años** establecidos en el **6º Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2021)**, que asigna valores de **29,8 para el metano (CH_4)** y **273 para el óxido nitroso (N_2O)** en relación con el **CO_2**. No obstante, estos valores pueden ser **actualizados por el usuario** en caso de que se desee aplicar otros factores de referencia, manteniendo en todo caso la coherencia metodológica del cálculo.

Por defecto, **HEAT calcula las emisiones en términos de CO_2 equivalente**. Sin embargo, si para un determinado estudio se desea obtener **exclusivamente las emisiones de CO_2**, será suficiente con **asignar el valor 0 a los potenciales de calentamiento global del CH_4 y del N_2O** en esta pestaña. De este modo, el cálculo excluirá la contribución de estos gases.

En este caso, debe tenerse en cuenta que, al consultar la pestaña de Resultados, el valor mostrado como **CO_2 equivalente corresponderá en realidad únicamente a las emisiones de CO_2**.

3.2.2.1.15 Pestaña Mejoras

HEAT-CARRETERA realiza la prognosis a futuro considerando, de forma implícita, una **evolución del parque vehicular** que se refleja en la **variación de los factores de emisión y de consumo**.

Esta evolución incorpora, por un lado, los **cambios en los sistemas de propulsión**, con una tendencia progresiva hacia un **mayor peso de las tecnologías electrificadas**, y, por otro, la **evolución de los factores de emisión** derivada tanto de la **renovación del parque**, asociada a la **modificación en la distribución de las categorías EURO**, de modo que las más antiguas van desapareciendo y prevalecen progresivamente las más recientes, como de la **tendencia hacia vehículos de mayor tamaño**. Asimismo, la prognosis tiene en cuenta la **evolución del mix de generación eléctrica**, con una **reducción progresiva de la intensidad de emisiones de la electricidad** como consecuencia del **aumento de la participación de energías renovables**.

Adicionalmente a estas consideraciones ya integradas en la metodología de HEAT-CARRETERA, el usuario puede **introducir mejoras tecnológicas y/u operacionales adicionales** de la flota vehicular a través de la pestaña **Mejoras**. Estas mejoras se introducen en forma de **porcentajes de reducción (o, en su caso, aumento)** de determinados parámetros respecto al **año base**.

En esta pestaña se consignan los porcentajes de variación de los siguientes parámetros:

- Reducción del consumo de energía de los vehículos eléctricos.
- Reducción del consumo de combustible.
- Reducción de las emisiones de **CH_4**.
- Reducción de las emisiones de **N_2O**.
- Reducción de las emisiones de **NO_x**.
- Reducción de las emisiones de **PM**.
- Reducción de las emisiones de **COV**.

Por defecto, **HEAT-CARRETERA no considera mejoras adicionales**, asignando valores del **0 %** en todos los casos. No obstante, el usuario puede **modificar estos porcentajes para los años 2030, 2040 y 2050**, en función de hipótesis propias sobre avances tecnológicos, medidas operativas o políticas adicionales que puedan afectar a los consumos y emisiones del parque vehicular.

A partir de los valores definidos para los años **2030, 2040 y 2050**, los **porcentajes de mejora correspondientes al año de inicio y al año horizonte del análisis se calculan automáticamente mediante interpolación lineal**, no siendo editables por el usuario, con el fin de garantizar la coherencia temporal del escenario considerado.

3.2.2.1.16 Pestaña Corrección por mejoras

Esta pestaña tiene un **carácter exclusivamente informativo**, por lo que **no requiere ninguna acción por parte del usuario**.

En ella se **presentan los factores finales de consumo y de emisión** que utiliza HEAT-CARRETERA, una vez incorporadas todas las hipótesis y ajustes definidos en las pestañas anteriores, en concreto, los **porcentajes de uso de biocombustibles**, el **rango de funcionamiento en modo eléctrico de los vehículos PHEV** y las **posibles mejoras tecnológicas u operacionales** consideradas en el análisis.

3.2.2.1.17 Pestaña Resultados

Una vez definidos todos los parámetros del estudio, HEAT-CARRETERA procede al procesamiento de los resultados. Durante esta fase de cálculo, la herramienta muestra en pantalla la Figura *26* que informa al usuario de que el proceso de generación de resultados se encuentra en curso.



Figura 26. Generación de resultados en curso

Finalizado dicho proceso, se accede a la pestaña **Resultados**, que constituye la **hoja final de HEAT-CARRETERA** y presenta los **resultados globales de consumo de energía y emisiones a la atmósfera** correspondientes al escenario definido por el usuario.

La primera sección de esta pestaña muestra una **tabla de resultados globales** que recoge la **energía total consumida y las emisiones totales** asociadas al transporte por carretera considerado en el estudio (Véase *Figura 27*)

Los resultados se presentan organizados en tres bloques de columnas, en función del tipo de indicador mostrado:

- **Totales absolutos**, correspondientes al conjunto del sistema de transporte analizado.
- **Resultados normalizados por unidad de actividad**, expresados en **viajero-kilómetro** o **tonelada-kilómetro**, según corresponda.
- **Resultados normalizados por operación,** expresados en **vehículo-kilómetro**.

Para cada uno de estos bloques, los resultados se desglosan temporalmente en las siguientes columnas:

- El **año de inicio** del análisis.
- El **año horizonte**.
- Los **años intermedios de referencia: 2030, 2040 y 2050**.
- El **conjunto del periodo de estudio,** que integra el total acumulado del horizonte analizado.

Energía total consumida y emisiones totales a la atmósfera Visor global				Total (MJ o t)						Total viajeros (MJ / viajero.km o g / viajero.km) Total mercancías (MJ / t.km o g / t.km)						Total (MJ / vehículo.km o g / vehículo.km)					
				Año inicio 2025	Año horizonte 2055	2030	2040	2050	Periodo de estudio	Año inicio 2025	Año horizonte 2055	2030	2040	2050	Periodo de estudio promedio	Año inicio 2025	Año horizonte 2055	2030	2040	2050	Periodo de estudio promedio
Emisión(es)	Energía		TtW	300.428,84	429.270,75	319.836,12	367.926,64	393.498,19	10.411.683,69	3,30 0,45	2,36 0,32	3,01 0,41	2,69 0,37	2,36 0,32	2,71 0,37	5,01	3,58	4,57	4,09	3,58	4,11
			WtT	97.009,69	100.284,50	111.277,70	129.420,89	91.735,84	3.390.036,05	1,06 0,15	0,55 0,08	1,05 0,14	0,95 0,13	0,55 0,08	0,85 0,12	1,62	0,84	1,59	1,44	0,83	1,29
			WtW	397.438,52	529.555,25	431.113,82	497.347,54	485.234,03	13.776.148,20	4,36 0,60	2,91 0,40	4,06 0,56	3,64 0,50	2,91 0,40	3,56 0,49	6,62	4,41	6,16	5,53	4,41	5,40
	CO_{2eq}	CO_{2eq}	TtW	18,45	2,03	14,89	9,93	1,86	358,16	202,58 27,89	11,13 1,53	140,08 19,28	72,71 10,01	11,15 1,53	79,85 10,99	307,55	16,89	212,67	110,38	16,92	121,23
		$CO2_{eq\ (inc\ out\ of\ scope)}$	TtW	20,09	2,10	16,44	11,28	1,92	396,48	220,60 30,37	11,51 1,58	154,73 21,30	82,55 11,36	11,50 1,58	88,42 12,17	334,91	17,47	234,90	125,33	17,46	134,23
		CO_{2eq}	WtT	8,00	1,01	7,56	7,65	1,62	203,81	87,84 12,09	5,53 0,76	71,17 9,80	55,98 7,71	9,70 1,34	46,66 6,42	133,35	8,40	108,05	84,99	14,73	70,84
		$CO_{2eq\ (crédito\ biogénico)}$	WtT	1,64	0,07	1,56	1,34	0,06	39,29	18,02 2,48	0,38 0,05	14,64 2,01	9,84 1,35	0,36 0,05	8,56 1,18	27,35	0,58	22,22	14,94	0,54	13,00
		CO_{2eq}	WtW	26,45	3,04	22,45	17,58	3,48	561,74	290,43 39,98	16,66 2,29	211,26 29,08	128,69 17,72	20,85 2,87	126,52 17,42	440,91	25,29	320,73	195,38	31,65	192,07
	NO_x		TtW	0,06	0,00	0,05	0,03	0,00	1,12	0,64 0,09	0,00 0,00	0,45 0,06	0,23 0,03	0,00 0,00	0,24 0,03	0,38	0,01	0,68	0,35	0,01	0,37
	$PM_{2,5}$		TtW	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01 0,00	0,00 0,00	0,01 0,00	0,01 0,00	0,00 0,00	0,00 0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01
	COV		TtW	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,02 0,00	0,01 0,00	0,02 0,00	0,01 0,00	0,00 0,00	0,01 0,00	0,04	0,01	0,03	0,02	0,01	0,02
Entorno(s)	VÍA(S) [Área]			CONVENCIONAL [Área rural, Gran área urbana, Pequeña área urbana], MULTICARRIL [Área rural, Gran área urbana, Pequeña área urbana], AUTOPISTA/AUTOVÍA [Área rural, Gran área urbana, Pequeña área urbana]																	
Vehículo(s)	SERVICIO(s) [Clase (Fuente de energía)]			VIAJEROS [Turismo (Gasóleo A, Gasolina, HEV gasolina, PHEV gasolina CD, PHEV gasolina CS, Eléctrico enchufable), Motocicleta (Gasolina), Autobús/Autocar (Gasóleo A, Eléctrico enchufable)] MERCANCÍAS [Vehículo de carga ligero (Gasóleo A, Gasolina, Eléctrico enchufable), Vehículo de carga pesado rígido (Gasóleo A, Eléctrico enchufable), Vehículo de carga pesado articulado (Gasóleo A, Eléctrico enchufable)]																	

Figura 27. Detalle de la tabla de resultados

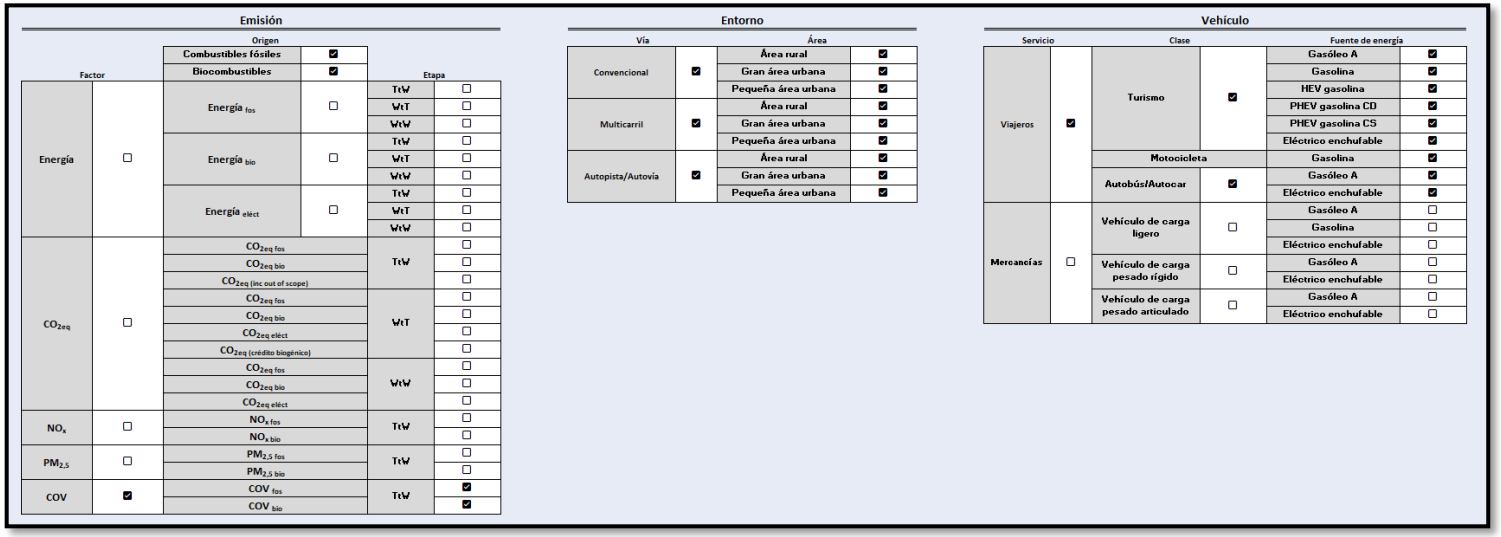


Figura 28. Detalle de los filtros disponibles

Asimismo, la tabla se organiza en distintos bloques de filas, que agrupan la información por tipo de magnitud:

- **Energía:** consumo energético total del transporte por carretera considerado en el estudio **diferenciado por fase**, distinguiéndose los resultados **WtT, TtW y WtW**.

- **Emisiones de gases de efecto invernadero**, con el siguiente nivel de desagregación:

    - CO_{2eq} (TtW): Emisiones de CO_2 equivalente asociadas **exclusivamente a la fase de uso del vehículo**, derivadas de la combustión del combustible. Este indicador **no incluye** las emisiones directas de CO_2 de los biocombustibles, al ser compensadas por el origen renovable del carbono.
    - $CO_{2eq\ (inc\ out\ of\ scope)}$ (TtW): emisiones directas de CO_2 generadas durante la combustión, tanto para los combustibles fósiles como para los de origen no fósil. Este valor se obtiene como la **suma de**:
        - $CO_{2eq\ (crédito\ biogénico)}$ (WtT), y
        - CO_{2eq} (TtW)
    - CO_2eq (WtT): Emisiones de CO_2 equivalente asociadas a las **etapas previas al uso del vehículo**, correspondientes a la producción, transformación y suministro del combustible o de la energía hasta su llegada al vehículo, excluyendo la fase de combustión.
    - $CO_{2eq\ (crédito\ biogénico)}$ (WtT): cantidad de CO_2 fijado durante el **crecimiento de la fracción biodegradable** de los productos, residuos y desechos de origen vegetal utilizados en la producción de biocombustibles. Este valor se expresa como un crédito que compensa las emisiones directas de CO_2 en la fase de combustión.
    - CO_{2eq} (WtW): Emisiones totales de CO_2 equivalente del **ciclo completo**, que integran todas las fases desde la producción de la energía hasta su uso final en el vehículo. Este indicador se obtiene como la **suma de**:
        - CO_2eq (WtT), y
        - CO_2eq (TtW).

- **Contaminantes atmosféricos**, correspondientes a emisiones en fase de uso (TtW) de:
    - Óxidos de nitrógeno (NO_x).
    - Partículas finas ($PM_{2,5}$).
    - Compuestos orgánicos volátiles (COV).

En la **siguiente sección** de la pestaña "Resultados", tal y como puede observarse en la Figura *28*, el usuario dispone de un conjunto de **opciones de filtrado** que permiten personalizar el contenido de los resultados mostrados.

En primer lugar, el usuario puede **seleccionar uno o varios factores a visualizar**, pudiendo elegir entre:

- **Energía**, en sus distintos desgloses.
- **Gases de efecto invernadero**, incluyendo los diferentes componentes de CO_2 equivalente.
- **Contaminantes atmosféricos**, con su correspondiente desagregación.

Asimismo, es posible **seleccionar uno o varios tipos de vía** (convencional, multicarril y autopista/autovía) y **subtipos de entorno**, diferenciando entre:

- Área rural.
- Gran área urbana.
- Pequeña área urbana.

La herramienta permite también filtrar los resultados en función del **tipo de servicio**, pudiendo seleccionar:

- **Viajeros** y/o
- **Mercancías**.

Adicionalmente, el usuario puede acotar el análisis por **clase de vehículo**, eligiendo entre:

- Turismo.
- Motocicleta.
- Autobús/Autocar.
- Vehículo de carga ligero.
- Vehículo de carga pesado rígido.
- Vehículo de carga pesado articulado.

Dentro de cada clase de vehículo, es posible realizar un **filtrado por fuente de energía**, lo que permite analizar de forma específica los resultados asociados a cada tecnología o combustible considerado.

Para que se generen las tablas de resultados filtradas, el usuario debe, **una vez seleccionados los criterios de filtrado**, pinchar en el botón **Generar tabla**, situado en el **encabezado de la pestaña Resultados** (véase *Figura 29*). Al hacerlo, la herramienta crea una nueva tabla que refleja exactamente las opciones seleccionadas. **Este proceso puede repetirse tantas veces como se desee**, permitiendo generar múltiples tablas con distintos criterios de selección.

Si el usuario desea **eliminar alguna de las tablas generadas**, deberá marcar el **cuadro situado a la izquierda de la tabla** correspondiente y, a continuación, pinchar en el botón **Eliminar tablas**, también ubicado en el encabezado de la pestaña (véase *Figura 29*).



Figura 29. Localización de botones "Generar/Eliminar tablas"

Asimismo, en caso de que el usuario desee **descargar las tablas generadas**, deberá marcar el **cuadro situado a la izquierda de cada tabla** que quiera exportar y pinchar en el botón **Exportar tablas** (véase **Figura *29***). Tras esta acción, la herramienta mostrará el mensaje indicado en la Figura 30, informando de que el archivo se ha descargado correctamente en la **carpeta de descargas** del equipo. El fichero generado se guarda con el nombre **HEAT_CARRETERA_Resultados_TablaFiltrada**.

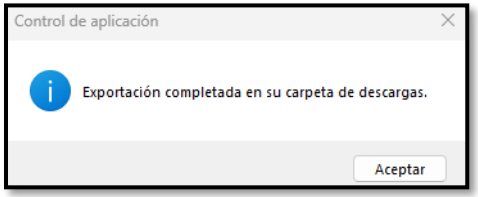


Figura 30. Mensaje de aviso de la correcta descarga del archivo

De forma análoga, el usuario dispone del botón **Imprimir**, que permite **exportar la información seleccionada a un documento en formato PDF**. Para ello, deberá marcar previamente el cuadro situado a la izquierda de cada tabla que desee incluir en el documento y, a continuación, pulsar el botón **Imprimir** (véase Figura 31).



Figura 31. Botón "Imprimir"

La herramienta genera automáticamente el archivo PDF correspondiente en la carpeta de descargas del equipo del usuario, guardándolo con el nombre **HEAT_CARRETERA _Resultados**. Tras la descarga, se muestra un **mensaje de aviso en pantalla** (véase Figura 32) en el que se informa de la correcta generación del archivo.

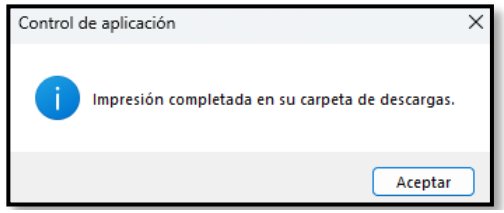


Figura 32. Mensaje de la correcta generación del archivo

La **última sección** de la pestaña **Resultados** corresponde a las **tablas dinámicas preestablecidas**, que permiten al usuario obtener de forma rápida vistas agregadas de los resultados sin necesidad de definir filtros manuales.

En esta sección se ofrece la posibilidad de generar **tres tipos de tablas dinámicas**. Para ello, en la **columna V del encabezado de esta pestaña** (véase *Figura 33*) se dispone de una **lista desplegable** en la que puede elegirse entre las siguientes opciones:

- **Vehículo**.
- **Factor**.
- **Entorno**.

Una vez seleccionada la opción deseada en la lista desplegable, se debe pinchar en el botón **Tabla dinámica**, situado a la izquierda de dicha lista. La herramienta generará automáticamente la tabla dinámica correspondiente, con los resultados agregados según el criterio seleccionado.



Figura 33. Lista desplegable de generación de Tabla dinámica

Por último, en caso de que las tablas de resultados globales, las tablas filtradas y las tablas dinámicas preestablecidas **no resulten suficientes para el análisis requerido**, la pestaña **Resultados** ofrece la opción de **descargar todos los datos** generados por HEAT_CARRETERA. Para ello, se debe pinchar en el botón **Descarga de microdatos**, situado en la parte derecha del encabezado de la pestaña. Tras esta acción, aparecerá el mensaje indicado en la *Figura 34* y se descargará en la **carpeta de descargas** del equipo

el archivo denominado **HEAT_CARRETERA_Resultados_Datos_origen**, que contiene el conjunto completo de datos utilizados para la generación de los resultados.

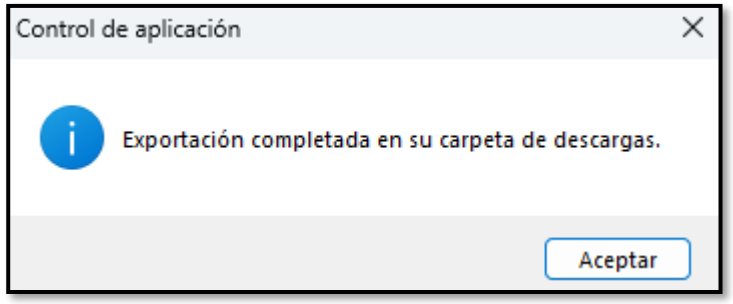


Figura 34. Mensaje de aviso de la correcta descarga del archivo

3.2.2.2 Unidades transportadas

3.2.2.2.1 Pestaña Unidades transportadas

Si el usuario selecciona la introducción del dato de actividad a través de unidades transportadas, la herramienta mostrará la pestaña Unidades transportadas, en la que se definirán los parámetros básicos que caracterizarán la actividad del estudio, tal y como se muestra en la *Figura 35*.

Actividad de tráfico por carretera según categoría de vehículo. Unidades transportadas (Viajeros ·kilómetro / Toneladas · kilómetro).		Año inicio 2025			Año horizonte 2055		
		Convencional	Multicarril	Autopista/ Autovía	Convencional	Multicarril	Autopista/ Autovía
		Viajeros · km					
Viajeros	Turismo						
	Motocicleta						
	Autobús/Autocar						
	TOTAL						
		Toneladas · km					
Mercancías	Vehículo de carga ligero						
	Vehículo de carga pesado rígido						
	Vehículo de carga pesado articulado						
	TOTAL						

Figura 35. Extracto de la tabla de actividad de tranporte por carretera según la categoría de vehículo

En primer lugar, deberá seleccionarse la **red espejo** (Véase *Figura 36*).

RED ESPEJO: ÁMBITO GEOGRÁFICO DE REFERENCIA A PARTIR DEL CUAL LA HERRAMIENTA HEAT APLICA UN REPARTO AUTOMÁTICO DE LOS DATOS DE ACTIVIDAD.

La selección de la red espejo en ésta y en otras pestañas dota a HEAT de una elevada flexibilidad, permitiendo al usuario definir el **ámbito geográfico de referencia** para los repartos automáticos que realiza la herramienta. De este modo, el usuario puede adaptar el análisis a las necesidades específicas de su estudio.

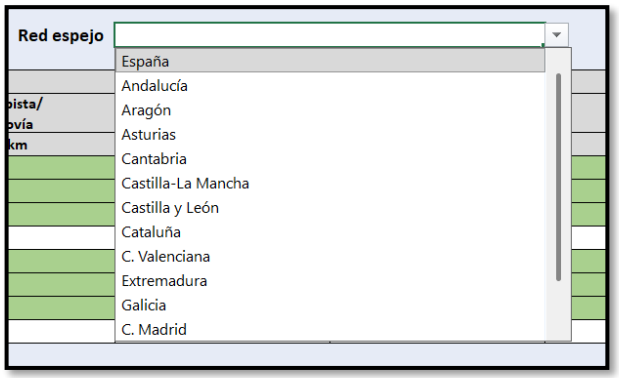


Figura 36. Selección de la Red Espejo

La selección de la **red espejo** en esta pestaña permitirá que, una vez el usuario introduzca los datos de actividad, la herramienta realice de forma automática **el reparto entre los distintos tipos de vehículos**: turismos, motocicletas, autobuses/autocares y vehículos de carga ligeros, pesados rígidos y pesados articulados.

En todas las pestañas en las que el usuario deba seleccionar una **Red Espejo**, podrá elegir entre **14 opciones**: la opción **España**, correspondiente a la Red de Carreteras del Estado (RCE), y **13 de las 17 comunidades autónomas**.

> **Nota**: Debido a la titularidad de las vías, no se dispone de datos para las comunidades autónomas de Navarra y País Vasco, para el archipiélago balear y el archipiélago canario, ni para las Ciudades Autónomas de Ceuta y Melilla. En estos casos, se recomienda seleccionar como **Red espejo** la opción **España**, de forma que el reparto de la actividad se realizará conforme a la **Red de Carreteras del Estado**.

Una vez seleccionada la red espejo, el usuario deberá introducir en las **celdas blancas,** el **número total de unidades transportadas**, expresadas en **viajeros-kilómetro y toneladas-kilómetro**, correspondientes a la actividad objeto de evaluación. Estos datos deben introducirse diferenciando entre **las distintas clases de vehículos** y desagregados por **tipo de vía**.

HEAT-CARRETERAS distingue **seis clases de vehículos**, para las que se realiza el reparto de la actividad:

- Turismo.
- Motocicleta.
- Autobús/autocar.
- Vehículo de carga ligero.
- Vehículo de carga pesado rígido.
- Vehículo de carga pesado articulado.

Asimismo, la herramienta trabaja con tres tipos de vía, de acuerdo con las definiciones recogidas en la **Ley 37/2015, de Carreteras**:

- Carreteras convencionales.
- Carreteras multicarril.
- Autopistas o autovías.

Los datos de actividad deben cumplimentarse tanto para el **año de inicio** como para el **año horizonte** del estudio. Para los **años intermedios** (2030, 2040 y 2050), HEAT-CARRETERAS realiza automáticamente una **interpolación lineal** a partir de los valores introducidos para el año de inicio y el año horizonte. En caso de que alguno de estos años intermedios sea anterior al año de inicio o posterior al año horizonte, no se efectúa el cálculo correspondiente.

A partir de la información introducida, la herramienta realiza de forma automática el reparto por categorías de vehículos, de acuerdo con la distribución asociada a la **red espejo** seleccionada. Los valores propuestos se muestran en **celdas con fondo verde** oscuro, al corresponder a datos recomendados que pueden ser modificados por el usuario si dispone de información más precisa. En cualquier caso, las modificaciones deberán respetar el total de vehículos-kilómetro, tanto para vehículos ligeros como para vehículos pesados

3.2.2.2.2 Pestaña Factor de ocupación

Una vez introducidos los datos de actividad, HEAT-CARRETERA mostrará al usuario la pestaña **Factor de ocupación**, en la que se presenta un cuadro con los valores medios de ocupación y de carga correspondientes a los distintos tipos de vehículos, tal y como se muestra en la *Figura 37*.

Debe tenerse en cuenta que HEAT-CARRETERA realiza internamente todos los cálculos en términos de **actividad vehicular** (vehículos.km). Por este motivo, cuando el usuario introduce la actividad en **unidades transportadas** (viajeros.km o toneladas.km), la herramienta convierte dicha información en **vehículo.kilómetro**, aplicando los **parámetros de ocupación y carga** definidos para cada tipología de vehículo. Este **cálculo intermedio no se muestra por defecto**, salvo que el usuario haya activado la opción de **visualización de cálculos intermedios**.

En esta pestaña, el usuario deberá revisar y, en su caso, validar o modificar el cuadro en el que se recogen los **valores medios de ocupación (viajeros por vehículo)** y de **carga (toneladas por vehículo)** asociados a los vehículos considerados en el estudio, diferenciados por año.

HEAT-CARRETERA propone valores de ocupación y carga por defecto para el **año de inicio** y el **año horizonte**, que se muestran **sombreados en verde oscuro** y coinciden con los valores del **año base**, al asumirse, por defecto, que estos parámetros permanecen constantes en el tiempo. No obstante, el usuario puede **modificar dichos valores** cuando disponga de información más precisa o actualizada, o cuando desee introducir supuestos alternativos.

Los **valores correspondientes a los años intermedios** (2030, 2040 y 2050) se calculan mediante **interpolación lineal** a partir de los valores definidos para el año de inicio y el año horizonte. Estos valores se muestran **sombreados en verde claro** y, si procede, **también pueden ser modificados por el usuario**, debiendo comprobarse en ese caso la **coherencia** con los valores definidos para el año de inicio y el año horizonte.

FACTORES DE OCUPACIÓN / CARGA

Leyenda | Información | Restablecer

Estudio: Prueba Manual de instrucciones

Factores de ocupación y de carga		2022	Año inicio 2025	Año horizonte 2055	2030	2040	2050
Ligeros	Turismo (viajeros/vh)	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68
	Motocicleta (viajeros/vh)	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44
	Vehículo de carga ligero (t/vh)	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Pesados	Autobús/Autocar (viajeros/vh)	21,17	21,17	21,17	21,17	21,17	21,17
	Vehículo de carga pesado rígido (t/vh)	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5
	Vehículo de carga pesado articulado (t/vh)	28	28	28	28	28	28

Figura 37. Extracto tabla para el cálculo de los factores de ocupación y de carga

Una vez validada esta pestaña y avanzando a la siguiente, el flujo de trabajo continúa de forma análoga al seguido cuando se selecciona la opción de introducción de la actividad mediante **operaciones**. En consecuencia, a partir de este punto deberá continuarse el manual conforme a lo descrito en el apartado 3.2.2.1.3 correspondiente a la pestaña **Área urbana**.

3.3 HEAT - Transporte ferroviario

En este apartado se describe el funcionamiento del **módulo de transporte ferroviario**, explicando de forma ordenada cómo proceder en cada una de las pestañas que lo componen.

Cada subapartado se corresponde con una pestaña de la herramienta y detalla los datos que deben introducirse y las opciones disponibles en cada una de ellas.

3.3.1 Pestaña Información general

Una vez definidos el **nombre del estudio**, así como los **años de inicio** y **horizonte** del análisis (véase apartado 3.1.3), el usuario deberá indicar el **tipo de dato de actividad** que se utilizará.

En concreto, deberá seleccionarse si la información de actividad que se introducirá en la pestaña siguiente se encuentra disponible en **unidades transportadas** (viajeros.km y/o toneladas.km netas) o en **operaciones** (trenes.km o TBR.km), en función de los datos de partida de los que disponga el usuario. Esta selección condiciona la forma de introducción de la información en las pantallas posteriores del módulo.

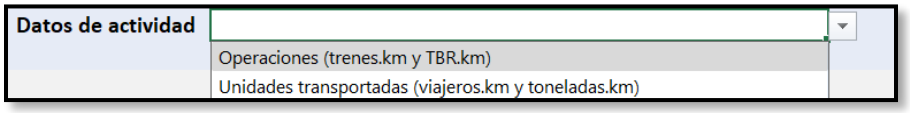


Figura 38. Tipo de dato de actividad

Asimismo, el usuario deberá marcar según sus preferencias, las casillas **Visualizar pestañas ocultas** y **Visualizar cálculos intermedios**, de acuerdo con lo descrito en el apartado 3.1.3, con el fin de adaptar el nivel de detalle mostrado en la herramienta.

3.3.2 Datos de actividad: Operaciones o Unidades transportadas

La **actividad** constituye el dato fundamental para el análisis de emisiones en **HEAT-FERROVIARIO**. Tal y como se ha indicado anteriormente, este dato puede introducirse en la herramienta en forma de operaciones (continuar leyendo por el apartado 3.2.2.1) o bien, como **unidades transportadas** (continuar leyendo por el apartado 3.2.2.2), en función de la información disponible.

3.3.2.1 Operaciones

3.3.2.1.1 Pestaña Operaciones

Si se opta por la introducción del dato mediante **operaciones**, la herramienta habilitará la pestaña correspondiente, en la que se deberá caracterizar la actividad del estudio a través de las tablas mostradas en la *Figura 39.*

El usuario deberá introducir en las **celdas blancas** el **nivel de actividad objeto de evaluación** para el **año de inicio** y el **año horizonte** del estudio.

En el caso del **transporte de viajeros**, la actividad se expresa en **trenes·km**, mientras que, para el **transporte de mercancías**, se expresa en **TBR·km²**.

A partir de los valores introducidos, la herramienta **calcula automáticamente los datos de los años intermedios** (2030, 2040 y 2050) mediante **interpolación lineal** entre el año de inicio y el año horizonte. En el caso de que alguno de estos años sea **anterior al año de inicio** o **posterior al año horizonte**, el valor correspondiente **no se calcula**.

Transporte de los servicios de viajeros medido en trenes.km			Año inicio 2025		Año horizonte 2055	
			trenes.km		trenes.km	
Tracción	Servicio comercial	Tensión de catenaria	Subestación red general	Subestación renovable	Subestación red general	Subestación renovable
Eléctrica	Larga distancia alta velocidad	1 x 25 kV CA				
		2 x 25 kV CA				
	Larga distancia convencional	3 kV CC LD				
	Media distancia alta velocidad	1 x 25 kV CA				
		2 x 25 kV CA				
	Media distancia convencional	3 kV CC MD				
	Cercanías ancho ibérico	3 kV CC Cerc.				
	Media distancia ancho métrico	1,5 kV MD				
	Cercanías ancho métrico	1,5 kV CC				

Transporte de los servicios de viajeros medido en trenes.km		Año inicio 2025	Año horizonte 2055
		trenes.km	trenes.km
Tracción	Servicio comercial		
Diésel	Larga distancia convencional		
	Media distancia convencional		
	Cercanías ancho ibérico		
	Media distancia ancho métrico		
	Cercanías ancho métrico		

Figura 39. Tabla para la caracterización de la actividad del estudio en el transporte de los servicios de viajeros

[2] TBR: Tonelada Bruta Remolcada. Unidad de operaciones de transporte de mercancías por ferrocarril, que incluye el peso de las mercancías y vagones, pero se excluye el peso de locomotoras.

Transporte de los trenes de mercancías medido en TBR.km				Año inicio 2025				Año horizonte 2055			
				TBR.km				TBR.km			
				Perfil suave		Perfil montañoso		Perfil suave		Perfil montañoso	
Tracción	Tipo de servicio	Composición	Tensión de catenaria	Subestación red general	Subestación renovable	Subestación red general	Subestación renovable	Subestación red general	Subestación renovable	Subestación red general	Subestación renovable
Eléctrica	Automóviles	Simple	1 x 25 kV CA								
			2 x 25 kV CA								
			3 kV CC								
	Vagón convencional	Simple	1 x 25 kV CA								
			2 x 25 kV CA								
			3 kV CC								
		Doble	1 x 25 kV CA								
			2 x 25 kV CA								
			3 kV CC								
	Contenedores y cajas móviles	Simple	1 x 25 kV CA								
			2 x 25 kV CA								
			3 kV CC								
		Doble	1 x 25 kV CA								
			2 x 25 kV CA								
			3 kV CC								
	Autopista ferroviaria	Simple	1 x 25 kV CA								
			2 x 25 kV CA								
			3 kV CC								
		Doble	1 x 25 kV CA								
			2 x 25 kV CA								
			3 kV CC								

Transporte de los trenes de mercancías medido en TBR.km			Año inicio 2055		Año horizonte 2055	
			TBR.km		TBR.km	
			Perfil suave	Perfil montañoso	Perfil suave	Perfil montañoso
Tracción	Tipo de servicio	Composición				
Diésel	Automóviles	Simple				
	Vagón convencional	Simple				
		Doble				
	Contenedores y cajas móviles	Simple				
		Doble				
	Autopista ferroviaria	Simple				
		Doble				

Figura 40. Tabla para la caracterización de la actividad del estudio en el transporte de los trenes de mercancías

La actividad deberá introducirse de forma desagregada atendiendo, en primer lugar, al **tipo de tráfico** (viajeros o mercancías); en segundo lugar, al **tipo de tracción** (eléctrica o diésel); en tercer lugar, al **tipo de servicio**, de acuerdo con las tipologías que se describen a continuación; y, en cuarto lugar, exclusivamente en el caso de vías electrificadas, a la **tensión de la catenaria**.

En el caso de los **servicios comerciales de viajeros**, la actividad se desagrega en:

- **Tracción eléctrica (vías electrificadas)**
    - Larga distancia alta velocidad: 1 × 25 kV CA o 2 × 25 kV CA
    - Larga distancia convencional: 3 kV CC
    - Media distancia alta velocidad: 1 × 25 kV CA o 2 × 25 kV CA
    - Media distancia convencional: 3 kV CC
    - Cercanías ancho ibérico: 3 kV CC
    - Media distancia ancho métrico: 1,5 kV CC
    - Cercanías ancho métrico: 1,5 kV CC
- **Tracción diésel (vías no electrificadas)**
    - Larga distancia convencional
    - Media distancia convencional
    - Cercanías ancho ibérico
    - Media distancia ancho métrico
    - Cercanías ancho métrico

Para los **servicios comerciales de mercancías**, la actividad se introduce diferenciando entre:

- **Tracción eléctrica (vías electrificadas)**
    - Automóviles. Composición simple. 1 × 25 kV CA, 2 × 25 kV CA o 3 kV CC
    - Vagón convencional. Composición simple o doble. 1 × 25 kV CA, 2 × 25 kV CA o 3 kV CC
    - Contenedores y cajas móviles. Composición simple o doble. 1 × 25 kV CA, 2 × 25 kV CA o 3 kV CC
    - Autopistas ferroviarias. Composición simple o doble. 1 × 25 kV CA, 2 × 25 kV CA o 3 kV CC
- **Tracción diésel (vías no electrificadas)**
    - Automóviles. Composición simple
    - Vagón convencional. Composición simple o doble
    - Contenedores y cajas móviles. Composición simple o doble
    - Autopistas ferroviarias. Composición simple o doble

En el caso del **transporte de mercancías**, HEAT-FERROVIARIO permite además diferenciar la actividad en función del **perfil orográfico de la línea**, distinguiendo entre **perfil suave** (rampas con pendiente cuya rampa característica es inferior a 1,5 %) y **perfil montañoso** (pendiente de rampa característica superior al 2 %).

Adicionalmente, para los tráficos de viajeros y mercancías con **tracción eléctrica**, la herramienta permite diferenciar si el suministro energético procede de la **red general** o de una **subestación de origen renovable**. Esta funcionalidad facilita la

integración de proyectos de instalaciones de generación renovable vinculados[3] a la infraestructura ferroviaria y permite cuantificar los ahorros de emisiones asociados a estas.

HEAT no incluye de forma específica una categoría para **trenes híbridos eléctrico-diésel**. No obstante, este tipo de material rodante puede incorporarse en el análisis de manera implícita. Para ello, el usuario deberá **introducir por separado** la actividad correspondiente a la operación **en modo eléctrico y en modo diésel**, consignando los **trenes·km en el caso del transporte de viajeros** o las **TBR·km en el caso del transporte de mercancías** en las categorías de tracción correspondientes. De este modo, la herramienta podrá reflejar adecuadamente la contribución de cada tipo de tracción en el cálculo de consumos y emisiones.

3.3.2.1.2 Pestaña Factor de ocupación

Una vez introducidos los datos de actividad, HEAT-FERROVIARIO dirige al usuario a la pestaña **Factor de ocupación**, donde se presenta una tabla que recoge para los distintos años, los valores de **capacidad** —plazas en los servicios de viajeros y capacidad de carga en los de mercancías— junto con los **factores de aprovechamiento medio** asociados a la **composición más representativa** de cada tipología de servicio.

Estos valores se emplean para la **obtención de los resultados de consumo energético y de emisiones**, expresados **por viajero transportado** o **por tonelada transportada**. Antes de avanzar a la siguiente pestaña, el usuario deberá **revisar estos parámetros y, en su caso, validarlos o modificarlos**, asegurando su coherencia con las características del estudio.

> **COMPOSICIÓN REPRESENTATIVA DE SERVICIO FERROVIARIO:** TIPO DE TREN ASOCIADO A UN DETERMINADO SERVICIO FERROVIARIO, QUE SE UTILIZA COMO REFERENCIA PARA EL CÁLCULO DE CONSUMOS ENERGÉTICOS Y EMISIONES. AUNQUE AL AÑO BASE SE LE ASIGNA UNA COMPOSICIÓN POR DEFECTO, EL USUARIO PUEDE MODIFICAR DETERMINADOS PARÁMETROS (PLAZAS, APROVECHAMIENTO, FACTORES DE CONSUMO Y EMISIONES, ETC.) PARA EL AÑO INICIO Y AÑO HORIZONTE, CON EL FIN DE REFLEJAR CAMBIOS EN LA COMPOSICIÓN REPRESENTATIVA DE CADA SERVICIO Y ADAPTAR EL ANÁLISIS A LAS CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DEL ESTUDIO.

Los datos correspondientes al **año base** se muestran sombreados en **gris**, ya que constituyen valores de referencia no editables utilizados para la estimación de los parámetros en los años posteriores.

Los **valores de capacidad y aprovechamiento del año base** incorporados en HEAT-FERROVIARIO se han definido a partir de **fuentes estadísticas y técnicas de referencia a escala nacional**, garantizando su **representatividad media** para los distintos **servicios ferroviarios comerciales de viajeros y de mercancías** considerados en la herramienta.

[3] Las compañías ferroviarias podrán instalar plantas de energía renovable para suministrar energía a sus trenes | CNMC

En el caso de los **servicios de viajeros**, los valores se han obtenido a partir de la información disponible en los **informes sectoriales de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC)**[4] y en el **Observatorio del Ferrocarril en España (OFE)**[5]. Para los **servicios de mercancías**, los **factores de carga** se han adoptado conforme a los valores de referencia definidos en el **Modelo Nacional de Transportes**[6].

En el caso de los **servicios de viajeros**, HEAT-FERROVIARIO propone valores por defecto de **capacidad (plazas)** para los años intermedios (2030, 2040 y 2050), definidos a partir del año base y considerando tanto las tendencias observadas en los últimos años en el material móvil de viajeros como las políticas previstas de renovación de flotas ferroviarias para dichos horizontes temporales. En cuanto al **factor de aprovechamiento**, la herramienta propone, por defecto, mantener para los años intermedios (2030, 2040 y 2050) los mismos valores del año base de referencia. A partir de los valores establecidos para los años intermedios, HEAT-FERROVIARIO calcula los valores correspondientes al año de inicio y al año horizonte mediante interpolación o extrapolación lineal, asegurando la coherencia temporal del escenario analizado. Todos estos valores pueden ser modificados por el usuario cuando disponga de información más precisa o actualizada.

En el caso de los **servicios de mercancías**, HEAT-FERROVIARIO propone, por defecto, utilizar para los años intermedios (2030, 2040 y 2050) los mismos valores de **capacidad y aprovechamiento** que los correspondientes al año base de referencia. No obstante, el usuario puede modificar estos valores si dispone de información más precisa o representativa de su ámbito de estudio. A partir de los valores definidos para los años intermedios, la herramienta obtiene los valores correspondientes al año de inicio y al año horizonte mediante interpolación o extrapolación lineal. Estos valores son calculados automáticamente por la herramienta, pero pueden ser igualmente modificados por el usuario.

3.3.2.1.3 Pestaña Área Urbana

En esta pestaña, HEAT-FERROVIARIO realiza la **distribución de las operaciones según el tipo de área** en el que se desarrolla el tráfico ferroviario. Para ello, la herramienta distingue los siguientes **tipos de área**:

- **Área rural**: población inferior a 5.000 habitantes.
- **Pequeña área urbana**: población comprendida entre 5.000 y 50.000 habitantes.
- **Gran área urbana**: población superior a 50.000 habitantes.

La desagregación de la actividad por tipo de área resulta necesaria, ya que uno de los objetivos de HEAT es proporcionar resultados de emisiones adecuados para su utilización en **análisis**

[4] Del Informe anual CNMC 2022 del Sector Ferroviario se han obtenido los datos de aprovechamiento medio por servicio comercial de viajeros.

[5] Del OFE 2023 se han obtenidos las series históricas de plazas por tren (2004-2023) por tipo de servicio, así como su tendencia. Con esta información, se ha proyectado la tendencia para las proyecciones a 2030, 2040 y 2050.

[6] Versión 1.0

coste-beneficio (ACB) de estudios y planes de transporte. En este contexto, la metodología recogida en el «Handbook on the External Costs of Transport» (2019) establece, para los contaminantes atmosféricos $PM_{2,5}$ y NO_x, factores económicos cuyos valores **varían en función del tipo de área** en la que se producen las emisiones.

En particular, para el **NO_x** se distingue entre **zona urbana** y **zona rural**, mientras que para el **$PM_{2,5}$** se aplica una clasificación más detallada, diferenciando entre **gran área urbana**, **pequeña área urbana** y **zona rural**.

El reparto por defecto propuesto por HEAT-FERROVIARIO se ha obtenido a partir del cruce de la información de las **circulaciones** de la Red Ferroviaria de Interés General (RFIG) del Ministerio de Transportes y movilidad Sostenible con los **datos de densidad de población** y la **metodología de clasificación municipal** definida por el Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana en el informe «Delimitación de las Áreas Urbanas – Metodología» (2023), incorporando asimismo los **límites territoriales de las comunidades autónomas** definidos en las capas cartográficas del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Los valores propuestos se muestran **sombreados en verde oscuro**, al tratarse de **valores recomendados**, que **solo deben ser modificados** cuando el usuario disponga de **información más precisa** que la proporcionada por HEAT-FERROVIARIO.

3.3.2.1.4 Pestaña Factores de consumo base

En esta pestaña no es necesario introducir ningún valor, ya que se trata de un apartado de carácter informativo en el que la herramienta muestra los **factores de consumo de combustible y de energía eléctrica** correspondientes al **año base** para cada composición representativa de los distintos servicios ferroviarios. Tanto en el año de inicio como en el año horizonte, estos factores se consideran iguales a los del año base.

Para las composiciones de trenes de viajeros, el factor de consumo de energía se expresa en kWh/tren·km, mientras que, en el caso de

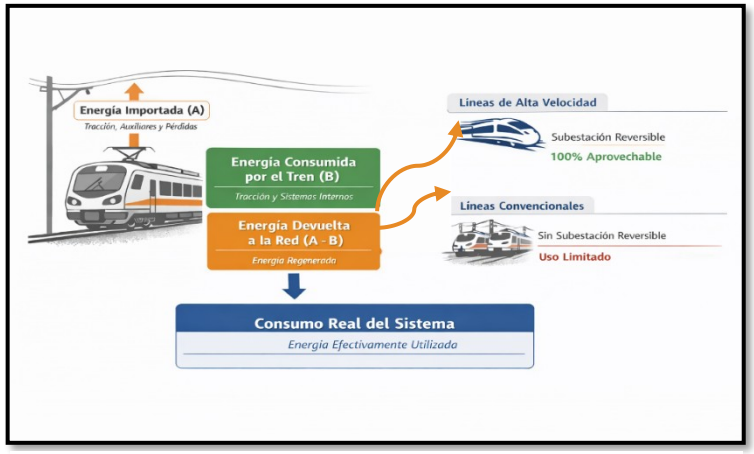


Figura 41. Consumo real del sistema

los trenes de mercancías, se expresa en kWh/TBR·km.

En los servicios con tracción eléctrica, se distinguen varios conceptos energéticos:

- **Energía importada en pantógrafo (A):** energía total captada por el tren desde la catenaria. Incluye la energía necesaria para la tracción, energía para servicios auxiliares y pérdidas.

- **Energía neta final consumida por el tren (B):** energía utilizada por los sistemas de tracción y los sistemas internos.
- **Energía devuelta a la red (A-B):** es la diferencia entre la energía importada en pantógrafo y la consumida por todos los servicios del tren. Es la energía inyectada de nuevo en la red a través del pantógrafo debida al uso del freno regenerativo menos la utilizada para alimentar los servicios auxiliares del tren.
- **Porcentaje de energía devuelta a la red efectivamente aprovechada (C):** fracción de la energía regenerada y devuelta a la red que es efectivamente utilizada por otros trenes que circulan por la vía o que es aprovechada por subestaciones reversibles. Este porcentaje depende del **tipo de servicio**. En las **líneas de alta velocidad**, al disponer de **subestaciones reversibles**, se considera que el 100 % de la energía regenerada es aprovechable. En cambio, en las **líneas convencionales**, donde generalmente **no existen subestaciones reversibles**, el aprovechamiento de la energía regenerada no está garantizado. En estos casos, su utilización depende de que haya **otros trenes circulando** y demandando energía en el mismo cantón eléctrico en el momento en que se produce la regeneración; de lo contrario, la energía no puede ser absorbida y se disipa mediante calor.
- **Consumo real de energía del sistema (B+(100-C)×(A-B)):** representa la energía efectivamente utilizada por el tren, incluyendo tracción, servicios auxiliares y pérdidas asociadas teniendo en cuenta el porcentaje de energía recuperada mediante el frenado regenerativo.

3.3.2.1.5 Pestaña Factores de emisión base

En la pestaña **Factores de emisión base**, la información se estructura en tres bloques de datos.

El primer bloque presenta las **propiedades de los combustibles** y los **factores de emisión** correspondientes al **año base**. A efectos de cálculo, se asume que los **trenes con tracción diésel** que circulan por la **Red Ferroviaria de Interés General** consumen **gasóleo B**[7] y que, en caso de incorporar biocombustible, este corresponde a **biodiésel de tipo HVO**.

En particular, se incluyen:

- El **poder calorífico** del **diésel** y del **biodiésel**.
- Los **factores de emisión de GEI y otros contaminantes** del diésel y del biodiésel en la fase **TtW.**
- Los **factores de emisión de GEI** del diésel y del biodiésel en la fase **WtT**.
- Las **pérdidas de energía** asociadas a la **extracción, refino y transporte** del diésel y del biodiésel en la fase **WtT**.

[7] Real Decreto 61/2006, de 31 de enero, por el que se determinan las especificaciones de gasolinas, gasóleos, fuelóleos y gases licuados del petróleo y se regula el uso de determinados biocarburantes.

- El **crédito biogénico del biodiésel**, derivado del **efecto sumidero de carbono** de las cosechas empleadas en su producción.

El segundo bloque recoge la información relativa a la mezcla de carburante, en particular los **porcentajes de diésel y biodiésel** considerados. HEAT-FERROVIARIO propone valores por defecto[8] para los años **2030, 2040 y 2050**, que pueden ser modificados por el usuario cuando disponga de información más precisa. A partir de estos valores, la herramienta calcula automáticamente, mediante interpolación lineal, los porcentajes correspondientes al **año de inicio** y al **año horizonte** del análisis.

Para una descripción más detallada de los biocombustibles considerados en el transporte aéreo y de las hipótesis adoptadas para el cálculo de consumos y emisiones, se remite al Anejo 5, apartado 5.3.2 del presente manual.

El tercer bloque presenta la información relativa al **contenido máximo de azufre** en el diésel y en el biodiésel. HEAT-FERROVIARIO permite modificar los valores recomendados para los **años intermedios** (2030, 2040 y 2050), mientras que los valores correspondientes al **año de inicio** y al **año horizonte** se obtienen mediante **interpolación** a partir de los años intermedios. De acuerdo con la normativa nacional vigente —Real Decreto 1088/2010—, el **contenido máximo de azufre en el diésel** es de **20 mg/kg (0,0020 %)**, límite aplicable a la mayor parte de los combustibles diésel utilizados en el transporte ferroviario, incluido el gasóleo B. En el caso del biodiésel tipo HVO, y de acuerdo con la norma europea **EN 15940**, se considera un contenido máximo de azufre de **5 mg/kg (0,005 %)**.

3.3.2.1.6 Pestaña Potencial de calentamiento GEI

En esta pestaña, HEAT-FERROVIARIO solicita al usuario que revise y confirme los **valores de los potenciales de calentamiento global (PC)**, en los términos descritos en el apartado 1.2.1, que se emplean para el **cálculo del factor de emisión de dióxido de carbono equivalente (CO_2 eq)**.

El cálculo del factor de emisión de CO_2 equivalente se realiza a partir de los factores de emisión individuales de **CO_2, CH_4 y N_2O**, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Fe\ CO_2\ eq = Fe\ CO_2 \times PC\ CO_2 + Fe\ CH_4 \times PC\ CH_4 + Fe\ N_2O \times PC\ N_2O$$

La herramienta HEAT evalúa las emisiones de **CO_2, CH_4 y N_2O,** ponderándolas mediante los **potenciales de calentamiento global (GWP)** a 100 años establecidos en el 6º Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2021), que asigna valores de **29,8 para el metano (CH_4)** y **273 para el óxido nitroso (N_2O)** en relación con el CO_2. No obstante, estos valores pueden ser **actualizados por el usuario** en caso de

[8] Valores obtenidos mediante hipótesis propias basadas en el Plan Director de Adif 2018-2030, el PNIEC 2023-2030 y la Estrategia Indicativa de desarrollo, mantenimiento y renovación de la infraestructura ferroviaria.

que se desee aplicar otros factores de referencia, manteniendo en todo caso la coherencia metodológica del cálculo.

Por defecto, **HEAT calcula las emisiones en términos de CO_2 equivalente**. Sin embargo, si para un determinado estudio se desea obtener **exclusivamente las emisiones de CO_2**, será suficiente con **asignar el valor 0 a los potenciales de calentamiento global del CH_4 y del N_2O** en esta pestaña. De este modo, el cálculo excluirá la contribución de estos gases.

En este caso, debe tenerse en cuenta que, al consultar la pestaña de Resultados, el valor mostrado como **CO_2 equivalente corresponderá en realidad únicamente a las emisiones de CO_2**.

3.3.2.1.7 Pestaña Electricidad

En esta pestaña, el usuario debe **seleccionar el mix de energía eléctrica** asociado al consumo de los **trenes con tracción eléctrica**, eligiendo entre una de las tres opciones disponibles: **mix nacional**, **mix peninsular** o **mix con Garantía de Origen (GdO)**. En función de la opción seleccionada, la herramienta **muestra automáticamente los factores de emisión y los coeficientes de pérdidas** correspondientes.

Procedencia de la energía eléctrica	
Comercialización genérica nacional	☐
Comercialización genérica peninsular	☐
Electricidad con garantía de orígen (GdO)	☐

Figura 42. Tabla principal de la pestaña electricidad para conocer la procedencia del mix energético

HEAT-FERROVIARIO **propone valores de referencia modificables para los años 2030, 2040 y 2050**, que el usuario puede **ajustar** cuando disponga de información más específica o desee introducir supuestos alternativos. A partir de estos valores, la herramienta **calcula automáticamente**, mediante **interpolación lineal**, los factores correspondientes al **año de inicio** y al **año horizonte** del análisis, sin intervención directa del usuario.

Los valores por defecto del mix con Garantía de Origen reflejan un suministro eléctrico basado en un **mix de energías renovables y cogeneración con ratios a escala nacional**. En aquellos casos en los que el usuario disponga de información propia y desee emplear valores personalizados en su estudio, se pone a disposición del usuario una **hoja de cálculo aneja a la herramienta**, junto con su **manual de uso**, destinada a la **obtención de factores de emisión y coeficientes de pérdidas de la energía eléctrica** asociados a un **mix eléctrico GdO específico**.

Para una **descripción detallada** de los distintos mixes de energía eléctrica, así como de las metodologías e hipótesis seguidas para la obtención de los **factores de emisión** y **coeficientes de pérdidas**, se remite al Anejo 4.

3.3.2.1.8 Pestaña Mejoras

HEAT-FERROVIARIO permite al usuario **introducir hipótesis específicas de evolución tecnológica u operativa** mediante la pestaña **MEJORAS**. En este apartado, dichas hipótesis se expresan en forma de **porcentajes de reducción o incremento**, siempre **referidos al año base**, con el fin de representar escenarios alternativos de evolución del sistema ferroviario. Se consignan los porcentajes de variación de los siguientes parámetros:

- Porcentaje anual de reducción del consumo de energía eléctrica o de combustible por **medidas operativas** relacionadas con la **gestión del tráfico ferroviario con criterios de eficiencia energética**.
- Porcentaje anual de reducción del factor de consumo de energía eléctrica o de combustible por la **renovación del material móvil**.
- Porcentaje anual de energía devuelta a la red gracias al freno regenerativo que es aprovechada por **otros trenes o por subestaciones reversibles**.

HEAT-FERROVIARIO propone **valores de referencia**[9] **para los años intermedios 2030, 2040 y 2050**, que el usuario puede **modificar** en función de sus propias hipótesis sobre avances tecnológicos, mejoras operativas o políticas adicionales. A partir de estos valores, la herramienta **calcula automáticamente**, mediante **interpolación lineal**, los porcentajes correspondientes al **año de inicio** y al **año horizonte** del análisis, con el objetivo de **garantizar la coherencia temporal del escenario considerado**.

3.3.2.1.9 Pestaña Resultados

Una vez definidos todos los parámetros del estudio, **HEAT-FERROVIARIO procede al procesamiento de los resultados**. Durante esta fase de cálculo, la herramienta muestra en pantalla la *Figura 43*, que informa al usuario de que el proceso de generación de resultados se encuentra en curso.



Figura 43. Generación de resultados en curso

Finalizado dicho proceso, se accede a la pestaña **Resultados**, que constituye la **hoja final de HEAT-FERROVIARIO** y presenta los **resultados globales de consumo de energía y emisiones a la atmósfera** correspondientes al escenario definido por el usuario.

[9] Valores calculados a partir de hipótesis basadas en la información facilitada por Renfe sobre la evolución prevista del material rodante, incluyendo mejoras en la eficiencia energética y medidas operativas.

La primera sección de esta pestaña muestra una **tabla de resultados globales** que recoge la **energía total consumida y las emisiones totales** asociadas al transporte ferroviario considerado en el estudio (Véase *Figura 44*).

Los resultados se presentan organizados en tres bloques de columnas, en función del tipo de indicador mostrado:

- **Totales absolutos**: correspondientes al conjunto del sistema de transporte analizado.
- **Totales transporte de viajeros:** normalizados por **unidad de actividad**, expresados en viajero.km y por **operación**, expresados en tren.km.
- **Totales transporte de mercancías:** normalizados por **unidad de actividad**, expresados en tonelada.km neta, y por **operación,** expresados en TBR.km.

Para cada uno de estos bloques, los resultados se desglosan temporalmente en las siguientes columnas:

- El **año de inicio** del análisis.
- El **año horizonte**.
- Los **años intermedios de referencia: 2030, 2040 y 2050**.
- El **conjunto del periodo de estudio,** que integra el total acumulado del horizonte analizado.

Asimismo, la tabla se organiza en distintos bloques de filas, que agrupan la información por tipo de magnitud:

- **Energía:** consumo energético total del transporte ferroviario considerado en el estudio **diferenciado por fase**, distinguiéndose los resultados **WtT, TtW y WtW**.
- **Emisiones de gases de efecto invernadero**, con el siguiente nivel de desagregación:
  - CO_{2eq} (TtW): Emisiones de CO_2 equivalente asociadas **exclusivamente a la fase de uso del vehículo**, derivadas de la combustión del combustible. Este indicador **no incluye** las emisiones directas de CO_2 de los biocombustibles, al ser compensadas por el origen renovable del carbono.
  - CO_2eq (WtT): Emisiones de CO_2 equivalente asociadas a las **etapas previas al uso del vehículo**, correspondientes a la producción, transformación y suministro del combustible o de la energía hasta su llegada al vehículo, excluyendo la fase de combustión.
  - CO_{2eq} (WtW): Emisiones totales de CO_2 equivalente del **ciclo completo**, que integran todas las fases desde la producción de la energía hasta su uso final en el vehículo. Este indicador se obtiene como la **suma de**:
    - CO_2eq (WtT), y
    - CO_2eq (TtW).
- **Contaminantes atmosféricos**, correspondientes a emisiones en fase de uso (TtW) de:
  - Óxidos de azufre (SO_x).
  - Óxidos de nitrógeno (NO_x).
  - Partículas finas ($PM_{2,5}$).
  - Compuestos orgánicos volátiles no metánicos (COVNM).

Energía total consumida y emisiones totales a la atmósfera Visor global			Total (MJ o t)						Total viajeros (MJ / viajero.km o g / viajero.km) (MJ / tren.km o kg / tren.km)						Total mercancías (MJ / TBR.km o g / TBR.km) (MJ / tneta.km o g / tneta.km)					
			Año inicio 2025	Año horizonte 2065	2030	2040	2050	Periodo de estudio	Año inicio 2025	Año horizonte 2065	2030	2040	2050	Periodo de estudio promedio	Año inicio 2025	Año horizonte 2065	2030	2040	2050	Periodo de estudio promedio
Emisión(es)	Energía	$Energía_{TtW}$	15.706.530	27.618.523	17.240.096	18.987.735	22.440.050	783.367.702	0,375 79	0,221 69	0,330 77	0,260 69	0,239 69	0,266 71	79 268	69 1.534	77 323	69 438	69 676	71 686
		$Energía_{WtT}$	10.969.841	18.525.889	6.830.305	10.428.774	15.052.285	461.141.830	0,262 55	0,148 46	0,131 30	0,143 38	0,160 46	0,154 42	55 188	46 1.029	30 128	38 241	46 454	42 431
		$Energía_{WtW}$	26.676.371	46.144.412	24.070.402	29.416.508	37.492.335	1.242.975.965	0,638 133	0,369 115	0,461 107	0,403 107	0,400 115	0,421 113	133 456	115 2.564	107 450	107 679	115 1.130	113 1.116
	CO_{2eq}	$CO_{2eq,\ TtW}$	669	2	738	419	1	15.335	16,0 3,3	0,0 0,0	14,1 3,3	5,7 1,5	0,0 0,0	5,1 1,2	3.343,1 11.429,6	3,9 85,8	3.279,8 13.809,8	1.523,7 9.674,1	3,9 37,8	1.206,8 5.750,1
		$CO_{2eq,\ WtT}$	749	877	425	575	713	24.831	17,9 3,7	7,0 2,2	8,1 1,9	7,9 2,1	7,6 2,2	8,3 2,2	3.743,4 12.797,9	2.193,3 48.739,2	1.890,4 7.959,6	2.092,5 13.285,4	2.193,3 21.478,3	2.208,2 21.464,2
		$CO_{2eq,\ WtW}$	1.417	879	1.163	994	714	39.809	33,9 7,1	7,0 2,2	22,3 5,2	13,6 3,6	7,6 2,2	13,4 3,4	7.086,5 24.227,4	2.197,1 48.825,0	5.170,2 21.769,5	3.616,1 22.959,5	2.197,1 21.516,1	3.414,9 27.214,3
	SO_x	$SO_{x,\ TtW}$	0,008	0,004	0,009	0,007	0,003	0,253	0,000 0,000	0,000 0,000	0,000 0,000	0,000 0,000	0,000 0,000	0,000 0,000	0,042 0,145	0,010 0,215	0,042 0,175	0,024 0,153	0,010 0,095	0,021 0,150
	NO_x	$NO_{x,\ TtW}$	13,366	24,337	14,752	16,731	19,773	683,757	0,320 0	0,195 0	0,282 0	0,229 0	0,211 0	0,233 0	67 228	61 1.352	66 276	61 386	61 596	62 602
	$PM_{2,5}$	$PM_{2,5,\ TtW}$	0,233	0,425	0,258	0,292	0,345	11,939	0,006 0	0,003 0	0,005 0	0,004 0	0,004 0	0,004 0	1 4	1 24	1 5	1 7	1 10	1 11
	COVNM	$COVNM_{,\ TtW}$	1,018	1,854	1,124	1,275	1,507	52,096	0,024 0	0,015 0	0,022 0	0,017 0	0,016 0	0,018 0	5 17	5 103	5 21	5 29	5 45	5 46
Área(s)	Tipo de área(s)		Área rural, Gran área urbana, Pequeña área urbana																	
Tren(es)	SERVICIO(s) [TRACCIÓN { Tipo de servicio (Composición)]		VIAJEROS [ELÉCTRICA { Larga distancia alta velocidad, Larga distancia convencional, Media distancia alta velocidad, Media distancia convencional, Cercanías ancho ibérico, Media distancia ancho métrico, Cercanías ancho métrico } DIÉSEL { Larga distancia convencional, Media distancia convencional, Cercanías ancho ibérico, Media distancia ancho métrico, Cercanías ancho métrico }] MERCANCÍAS [ELÉCTRICA { Automóviles, Vagón convencional (Simple, Doble), Contenedores y cajas móviles (Simple, Doble), Autopista ferroviaria (Simple, Doble) } DIÉSEL { Automóviles, Vagón convencional (Simple, Doble), Contenedores y cajas móviles (Simple, Doble), Autopista ferroviaria (Simple, Doble) }]																	

Figura 44. Detalle de la tabla de resultados

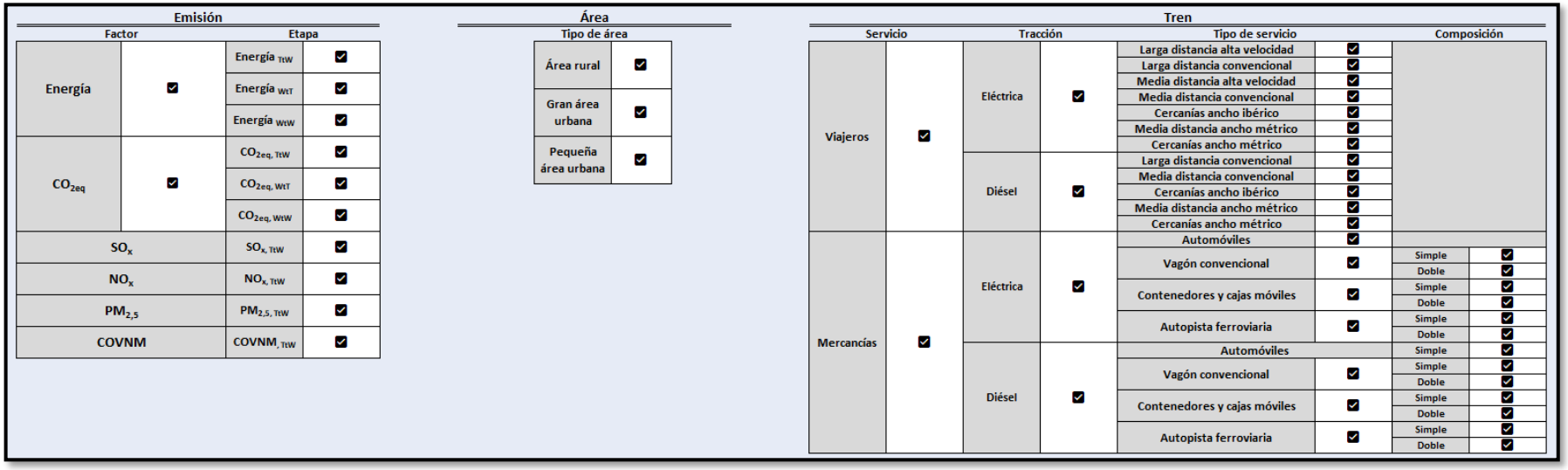


Figura 45. Detalle de los filtros disponibles

En la **siguiente sección** de la pestaña "Resultados", tal y como puede observarse en la *Figura 45*, el usuario dispone de un conjunto de **opciones de filtrado** que permiten personalizar el contenido de los resultados mostrados.

En primer lugar, el usuario puede **seleccionar uno o varios factores a visualizar**, pudiendo elegir entre:

- **Energía**, en sus distintos desgloses.
- **Gases de efecto invernadero**, incluyendo los diferentes componentes de CO_2 equivalente.
- **Contaminantes atmosféricos**, con su correspondiente desagregación.

Asimismo, es posible **seleccionar uno o varios tipos entornos**, diferenciando entre:

- Área rural.
- Gran área urbana.
- Pequeña área urbana.

La herramienta permite también filtrar los resultados en función del **tipo de servicio**, pudiendo seleccionar:

- Viajeros y/o
- Mercancías.

A continuación, para cada uno de estos servicios, los resultados pueden filtrarse por **tipo de tracción**, distinguiendo entre:

- Tracción eléctrica.
- Tracción diésel.

Dentro de cada combinación de **servicio** y **tipo de tracción**, el usuario puede realizar un filtrado adicional por **tipo de servicio ferroviario**, conforme a las tipologías consideradas en HEAT-FERROVIARIO.

Adicionalmente, en el caso de los **servicios de mercancías**, los resultados pueden desagregarse según el **tipo de composición**, permitiendo distinguir entre **composición simple** y **composición doble**.

Para que se generen las tablas de resultados filtradas, el usuario debe, **una vez seleccionados los criterios de filtrado**, pinchar en el botón **Generar tabla**, situado en el **encabezado de la pestaña Resultados** (véase *Figura 46*). Al hacerlo, la herramienta crea una nueva tabla que refleja exactamente las opciones seleccionadas. **Este proceso puede repetirse tantas veces como se desee**, permitiendo generar múltiples tablas con distintos criterios de selección.

Si el usuario desea **eliminar alguna de las tablas generadas**, deberá marcar el **cuadro situado a la izquierda de la tabla** correspondiente y, a continuación, pinchar en el botón **Eliminar tablas**, también ubicado en el encabezado de la pestaña (véase Figura 46).



Figura 46. Localización de botones "Generar/Eliminar tablas"

Asimismo, en caso de que el usuario desee **descargar las tablas generadas**, deberá marcar el **cuadro situado a la izquierda de cada tabla** que quiera exportar y pinchar en el botón **Exportar tablas** (véase *Figura 46*). Tras esta acción, la herramienta mostrará el mensaje indicado en la *Figura 47*, informando de que el archivo se ha descargado correctamente en la **carpeta de descargas** del equipo. El fichero generado se guarda con el nombre **HEAT_FERROVIARIO_Resultados_TablaFiltrada**.

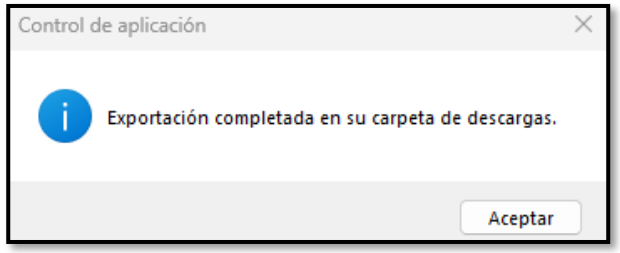


Figura 47. Mensaje de aviso de la correcta descarga del archivo

De forma análoga, el usuario dispone del botón **Imprimir**, que permite **exportar la información seleccionada a un documento en formato PDF**. Para ello, deberá marcar previamente el cuadro situado a la izquierda de cada tabla que desee incluir en el documento y, a continuación, pulsar el botón **Imprimir** (véase Figura 48). La herramienta genera automáticamente el archivo PDF correspondiente en la carpeta de descargas del equipo del usuario, guardándolo con el nombre **HEAT_FERROVIARIO_Resultados**. Tras la descarga, se muestra un **mensaje de aviso en pantalla** (véase Figura 49) en el que se informa de la correcta generación del archivo.



Figura 48. Botón "tabla dinámica"

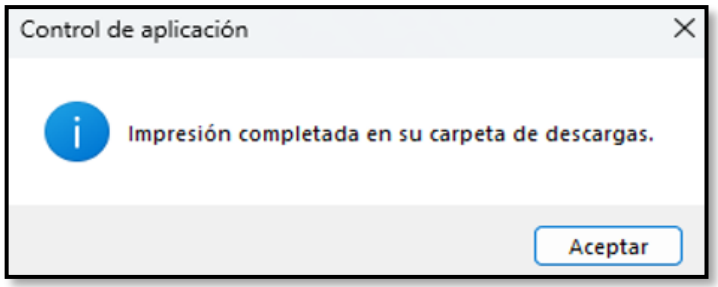


Figura 49. Mensaje de aviso de la correcta generación del archivo

La **última sección** de la pestaña **Resultados** corresponde a las **tablas dinámicas preestablecidas**, que permiten al usuario obtener de forma rápida vistas agregadas de los resultados sin necesidad de definir filtros manuales.

En esta sección se ofrece la posibilidad de generar **tres tipos de tablas dinámicas**. Para ello, en la **columna T del encabezado de esta pestaña** (véase Figura 48) se dispone de una **lista desplegable** en la que puede elegirse entre las siguientes opciones:

- **Tren**.
- **Factor**.
- **Área**.

Una vez seleccionada la opción deseada en la lista desplegable, se debe pinchar en el botón **Tabla dinámica**, situado a la izquierda de dicha lista. La herramienta generará automáticamente la tabla dinámica correspondiente, con los resultados agregados según el criterio seleccionado.

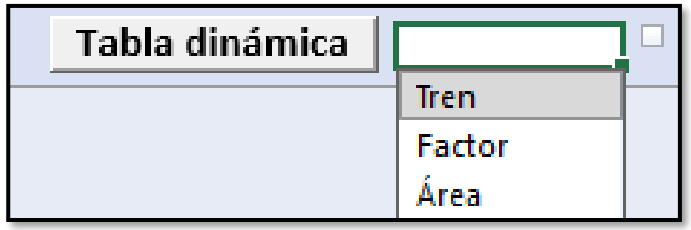


Figura 50. Lista desplegable de generación de Tabla dinámica

Por último, en caso de que las tablas de resultados globales, las tablas filtradas y las tablas dinámicas preestablecidas **no resulten suficientes para el análisis requerido**, la pestaña **Resultados** ofrece la opción de **descargar todos los datos** generados por HEAT_FERROVIARIO. Para ello, se debe pinchar en el botón **Descarga de microdatos**, situado en la parte derecha del encabezado de la pestaña. Tras esta acción, aparecerá el mensaje indicado en la Figura 51 y se descargará en la **carpeta de descargas** del equipo el archivo denominado **HEAT_FERROVIARIO_Resultados_Datos_origen**, que contiene el conjunto completo de datos utilizados para la generación de los resultados.

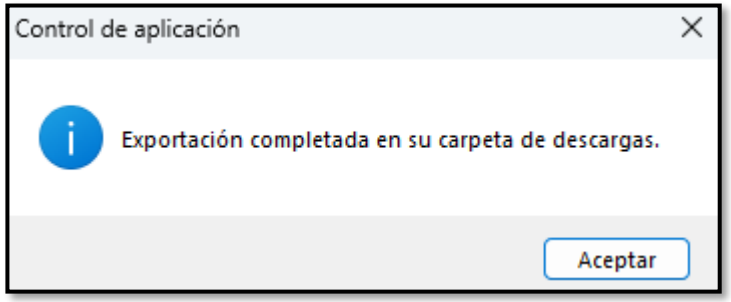


Figura 51. Mensaje de aviso de la correcta descarga del archivo

3.3.2.2 Unidades transportadas

3.3.2.2.1 Pestaña Unidades transportadas

Si se opta por la introducción del dato mediante **unidades transportadas**, la herramienta habilitará la pestaña correspondiente, en la que se deberá caracterizar la actividad del estudio a través de las tablas mostradas en la Figura 52 y Figura 53.

El usuario deberá introducir en las **celdas blancas** el **nivel de actividad objeto de evaluación** para el **año de inicio** y el **año horizonte** del estudio.

En el caso del **transporte de viajeros**, la actividad se expresa en **viajeros·km**, mientras que, para el **transporte de mercancías**, se expresa en **toneladas·km netas**.

A partir de los valores introducidos, la herramienta **calcula automáticamente los datos de los años intermedios** (2030, 2040 y 2050) mediante **interpolación lineal** entre el año de inicio y el año horizonte. En el caso de que alguno de estos años sea **anterior al año de inicio** o **posterior al año horizonte**, el valor correspondiente **no se calcula.**

La actividad deberá introducirse de forma desagregada atendiendo, en primer lugar, al **tipo de tráfico** (viajeros o mercancías); en segundo lugar, al **tipo de tracción** (eléctrica o diésel); en tercer lugar, al **tipo de servicio**, de acuerdo con las tipologías que se describen a continuación; y, en cuarto lugar, exclusivamente en el caso de infraestructuras electrificadas, a la **tensión de la catenaria**.

En el caso de los **servicios comerciales de viajeros**, la actividad se desagrega en:

- **Tracción eléctrica (vías electrificadas)**
  - Larga distancia alta velocidad: 1 × 25 kV CA o 2 × 25 kV CA
  - Larga distancia convencional: 3 kV CC
  - Media distancia alta velocidad: 1 × 25 kV CA o 2 × 25 kV CA
  - Media distancia convencional: 3 kV CC
  - Cercanías ancho ibérico: 3 kV CC
  - Media distancia ancho métrico: 1,5 kV CC
  - Cercanías ancho métrico: 1,5 kV CC
- **Tracción diésel (vías no electrificadas)**
  - Larga distancia convencional
  - Media distancia convencional
  - Cercanías ancho ibérico
  - Media distancia ancho métrico
  - Cercanías ancho métrico

Para los **servicios comerciales de mercancías**, la actividad se introduce diferenciando entre:

- **Tracción eléctrica (vías electrificadas)**
  - Automóviles. Composición simple. 1 × 25 kV CA, 2 × 25 kV CA o 3 kV CC
  - Vagón convencional. Composición simple o doble. 1 × 25 kV CA, 2 × 25 kV CA o 3 kV CC

- Contenedores y cajas móviles. Composición simple o doble. 1 × 25 kV CA, 2 × 25 kV CA o 3 kV CC
- Autopistas ferroviarias. Composición simple o doble. 1 × 25 kV CA, 2 × 25 kV CA o 3 kV CC

- **Tracción diésel (vías no electrificadas)**
  - Automóviles. Composición simple
  - Vagón convencional. Composición simple o doble
  - Contenedores y cajas móviles. Composición simple o doble
  - Autopistas ferroviarias. Composición simple o doble

En el caso del **transporte de mercancías**, HEAT-FERROVIARIO permite además diferenciar la actividad en función del **perfil orográfico de la línea**, distinguiendo entre **perfil suave** (rampa característica con pendiente inferior al 1,5 %) y **perfil montañoso** (rampa característica con pendiente superior al 2 %).

Adicionalmente, para los tráficos de viajeros y mercancías con **tracción eléctrica**, la herramienta permite diferenciar si el suministro energético procede de la **red general** o de una **subestación de origen renovable**. Esta funcionalidad facilita la integración de proyectos de instalaciones de generación renovable vinculados[10] a la infraestructura ferroviaria y permite cuantificar los ahorros de emisiones asociados a estas.

[10] Las compañías ferroviarias podrán instalar plantas de energía renovable para suministrar energía a sus trenes | CNMC

Unidades transportadas medido en viajeros.km			Año inicio 2025		Año horizonte 2055	
			viajeros.km		viajeros.km	
Tracción	Servicio comercial	Tensión de catenaria	Subestación red general	Subestación renovable	Subestación red general	Subestación renovable
Eléctrica	Larga distancia alta velocidad	1 x 25 kV CA	5.744.000.000		6.892.800.000	
		2 x 25 kV CA	5.744.000.000		6.892.800.000	
	Larga distancia convencional	3 kV CC LD	3.020.800.000		3.624.960.000	
	Media distancia alta velocidad	1 x 25 kV CA	536.000.000		643.200.000	
		2 x 25 kV CA	536.000.000		643.200.000	
	Media distancia convencional	3 kV CC MD	2.068.800.000		2.482.560.000	
	Cercanías ancho ibérico	3 kV CC Cerc.	6.689.000.000		8.026.800.000	
	Media distancia ancho métrico	1,5 kV MD	10.160.000		12.192.000	
	Cercanías ancho métrico	1,5 kV CC	67.440.000		65.754.000	

Unidades transportadas medido en viajeros.km		Año inicio 2025	Año horizonte 2055
		viajeros.km	viajeros.km
Tracción	Servicio comercial		
Diésel	Larga distancia convencional	755.200.000	906.240.000
	Media distancia convencional	517.200.000	620.640.000
	Cercanías ancho ibérico	300.000.000	360.000.000
	Media distancia ancho métrico	2.540.000	3.048.000
	Cercanías ancho métrico	16.860.000	35.406.000

Figura 52. Tabla para la caracterización de la actividad del estudio en el transporte de viajeros

Unidades transportadas medido en tonelada.km neta				Año inicio 2025				Año horizonte 2055			
				toneladas.km netas				toneladas.km netas			
				Perfil suave		Perfil montañoso		Perfil suave		Perfil montañoso	
Tracción	Tipo se servicio	Composición	Tensión de catenaria	Subestación red general	Subestación renovable	Subestación red general	Subestación renovable	Subestación red general	Subestación renovable	Subestación red general	Subestación renovable
Eléctrica	Automóviles	Simple	1 x 25 kV CA	857.500.000				1.029.000.000			
			2 x 25 kV CA								
			3 kV CC	857.500.000				1.029.000.000			
	Vagón convencional	Simple	1 x 25 kV CA	857.500.000				1.029.000.000			
			2 x 25 kV CA								
			3 kV CC	857.500.000				1.029.000.000			
		Doble	1 x 25 kV CA								
			2 x 25 kV CA								
			3 kV CC								
	Contenedores y cajas móviles	Simple	1 x 25 kV CA	857.500.000				1.029.000.000			
			2 x 25 kV CA								
			3 kV CC	857.500.000				1.029.000.000			
		Doble	1 x 25 kV CA								
			2 x 25 kV CA								
			3 kV CC								
	Autopista ferroviaria	Simple	1 x 25 kV CA	857.500.000				1.029.000.000			
			2 x 25 kV CA								
			3 kV CC	857.500.000				1.029.000.000			
		Doble	1 x 25 kV CA								
			2 x 25 kV CA								
			3 kV CC								

Unidades transportadas medido en tonelada.km neta			Año inicio 2025		Año horizonte 2055	
			toneladas.km netas		toneladas.km netas	
			Perfil suave	Perfil montañoso	Perfil suave	Perfil montañoso
Tracción	Tipo de servicio	Composición				
Diésel	Automóviles	Simple	922.000.000		1.106.400.000	
	Vagón convencional	Simple	922.000.000		1.106.400.000	
		Doble				
	Contenedores y cajas móviles	Simple	922.000.000		1.106.400.000	
		Doble				
	Autopista ferroviaria	Simple	922.000.000		1.106.400.000	
		Doble				

Figura 53. Tabla para la caracterización de la actividad del estudio en el transporte de mercancías

3.3.2.2.2 Pestaña Factor de ocupación

Una vez introducidos los datos de actividad, HEAT-FERROVIARIO mostrará al usuario la pestaña **Factor de ocupación**, en la que se presenta una tabla (Véase las Figura 54 y Figura 55) que recoge para los distintos años, los valores de **capacidad** —plazas ofertadas por tren en los servicios de viajeros y capacidad de carga en los de mercancías— junto con los **factores de aprovechamiento medio** asociados a la **composición más representativa** de cada tipología de servicio.

Debe tenerse en cuenta que HEAT-FERROVIARIO realiza internamente todos los cálculos en términos de **operaciones**. Por este motivo, cuando el usuario introduce la actividad en **unidades transportadas** (viajeros.km o toneladas.km netas), la herramienta convierte dicha información en **trenes.km y TBR.km** respectivamente, aplicando los valores de **capacidad** y los **factores de aprovechamiento medio**. Este cálculo intermedio no se muestra, salvo que el usuario haya activado la opción de **visualización de cálculos intermedios**.

En esta pestaña, el usuario deberá revisar y, en su caso, validar o modificar el cuadro en el que se recogen dichos valores de **capacidad** y **factores de aprovechamiento medio**.

Los datos correspondientes al **año base** se muestran sombreados en gris, al tratarse de valores de referencia **no editables**, que se emplean como punto de partida para la estimación de los parámetros en los años posteriores.

Los valores de capacidad y aprovechamiento del año base incorporados en HEAT-FERROVIARIO se han definido a partir de fuentes estadísticas y técnicas de referencia a escala nacional, con el objetivo de garantizar su representatividad media para los distintos servicios ferroviarios de viajeros y de mercancías considerados en la herramienta. En el caso de los servicios de viajeros, los valores se han obtenido a partir de la información disponible en los informes sectoriales de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC) y del Observatorio del Ferrocarril en España (OFE). Para los servicios de mercancías, los factores de carga se han adoptado conforme a los valores de referencia definidos en el Modelo Nacional de Transportes[11].

Los valores propuestos por HEAT-FERROVIARIO para los años 2030, 2040 y 2050 han sido definidos a partir de las previsiones de renovación del material móvil y tomando como referencia el año base.

A partir de estos valores, la herramienta calcula automáticamente, mediante interpolación o extrapolación lineal, los valores correspondientes al año de inicio y al año horizonte del análisis.

Tanto los de los **años intermedios** como los del **año de inicio y el año horizonte pueden ser modificados** por el usuario cuando disponga de información más específica o actualizada para su ámbito de estudio.

[11] Versión 1.0

Una vez validada esta pestaña y avanzando a la siguiente, el flujo de trabajo continúa de forma análoga al seguido cuando se selecciona la opción de introducción de la actividad mediante **operaciones**. En consecuencia, a partir de este punto deberá continuarse el manual conforme a lo descrito en el apartado 3.3.2.1.3 correspondiente a la pestaña **Área urbana.**

Capacidad y aprovechamiento medio de los servicios ferroviarios de mercancías			Año base 2022			Año inicio 2025			Año horizonte 2065			2030			2040			2050		
Tracción	Tipo de servicio	Composición representativa del año base	$Carga_{max}$/TBR	t_{neta}/$Carga_{max}$	Retorno	$Carga_{max}$/TBR	t_{neta}/$Carga_{max}$	Retorno	$Carga_{max}$/TBR	t_{neta}/$Carga_{max}$	Retorno	$Carga_{max}$/TBR	t_{neta}/$Carga_{max}$	Retorno	$Carga_{max}$/TBR	t_{neta}/$Carga_{max}$	Retorno	$Carga_{max}$/TBR	t_{neta}/$Carga_{max}$	Retorno
Eléctrica	Automóviles	Locomotora Serie 253 + Vagones MA7	45%	65%	10%	45%	65%	10%	45%	65%	10%	45%	65%	10%	45%	65%	10%	45%	65%	10%
	Vagón convencional	Locomotora Serie 253 + Vagones JJ92	70%	82%	15%	70%	82%	15%	70%	82%	15%	70%	82%	15%	70%	82%	15%	70%	82%	15%
	Contenedores y cajas móviles	Locomotora Serie 253 + Vagones MMC3/MMC2	75%	51%	65%	75%	51%	65%	75%	51%	65%	75%	51%	65%	75%	51%	65%	75%	51%	65%
	Autopista ferroviaria	Locomotora Stadler 6000 + Vagones Pocket T4000	75%	43%	65%	75%	43%	65%	75%	43%	65%	75%	43%	65%	75%	43%	65%	75%	43%	65%
Diésel	Automóviles	Locomotora Serie 335 + Vagones MA7	45%	65%	10%	45%	65%	10%	45%	65%	10%	45%	65%	10%	45%	65%	10%	45%	65%	10%
	Vagón convencional	Locomotora Serie 335 + Vagones JJ92	70%	82%	15%	70%	82%	15%	70%	82%	15%	70%	82%	15%	70%	82%	15%	70%	82%	15%
	Contenedores y cajas móviles	Locomotora Serie 335 + Vagones MMC3/MMC2	75%	51%	65%	75%	51%	65%	75%	51%	65%	75%	51%	65%	75%	51%	65%	75%	51%	65%
	Autopista ferroviaria	Locomotora Serie 335 + Vagones Pocket T4000	75%	43%	65%	75%	43%	65%	75%	43%	65%	75%	43%	65%	75%	43%	65%	75%	43%	65%

Figura 54. Modelo de tabla para el cálculo de la capacidad y aprovechamiento medio de los servicios de mercancías

Capacidad y aprovechamiento medio de los servicios comerciales de viajeros	Anclar		Año base 2022		Año inicio 2025		Año horizonte 2065		2030		2040		2050	
Tracción	Servicio comercial	Composición representativa del año base	Plazas	Aprovecha.	Plazas	Aprovecha.	Plazas	Aprovecha.	Plazas	Aprovecha.	Plazas	Aprovecha.	Plazas	Aprovecha.
Eléctrica	Larga distancia alta velocidad	AVE Serie 102 M-12R-M	334	76,1%	353	76,1%	507	90,0%	386	76,1%	507	76,1%	507	90,0%
	Larga distancia convencional	Alvia Serie 130 M-11R-M (o Locomotora Serie 252 BB)	299	66,6%	310	66,6%	374	66,6%	329	66,6%	359	66,6%	374	66,6%
	Media distancia alta velocidad	Avant Serie 104 M-M-M-M (o Avant Serie 121 M-M-M-M)	237	52,2%	244	52,2%	284	52,2%	256	52,2%	273	52,2%	284	52,2%
	Media distancia convencional	Electrotrén Serie 449 M-R-M-R-R	261	34,0%	269	34,0%	313	34,0%	282	34,0%	300	34,0%	313	34,0%
	Cercanías ancho ibérico	Civia 465 M-R-R-R-M	277	31,2%	282	31,2%	319	31,2%	291	31,2%	305	31,2%	319	31,2%
	Media distancia ancho métrico	Serie UTE-3600 M-M	99	34,0%	99	34,0%	99	34,0%	99	34,0%	99	34,0%	99	34,0%
	Cercanías ancho métrico	Serie UTE-3600 M-M	99	31,2%	99	31,2%	99	31,2%	99	31,2%	99	31,2%	99	31,2%
Diésel	Larga distancia convencional	Locomotora Serie 334 BB + 9 coches Talgo VI	216	66,6%	224	66,6%	270	66,6%	238	66,6%	259	66,6%	270	66,6%
	Media distancia convencional	Automotor Serie 599 M-R-M	185	34,0%	191	34,0%	222	34,0%	200	34,0%	213	34,0%	222	34,0%
	Cercanías ancho ibérico	Automotor Serie 592 M-R-M	200	31,2%	204	31,2%	230	31,2%	210	31,2%	220	31,2%	230	31,2%
	Media distancia ancho métrico	Automotor Serie UTDH-2700 M-M	90	34,0%	90	34,0%	90	34,0%	90	34,0%	90	34,0%	90	34,0%
	Cencanías ancho métrico	Automotor Serie UTDH-2700 M-M	90	31,2%	90	31,2%	90	31,2%	90	31,2%	90	31,2%	90	31,2%

Figura 55. Modelo de tabla para el cálculo de la capacidad y aprovechamiento medio de los servicios de viajeros

3.4 HEAT - Transporte aéreo

En este apartado se describe el funcionamiento del **módulo de transporte aéreo**, explicando de forma ordenada cómo proceder en cada una de las pestañas que lo componen.

Cada subapartado se corresponde con una pestaña de la herramienta y detalla los datos que deben introducirse y las opciones disponibles en cada una de ellas.

3.4.1 Pestaña Información general

Una vez definidos el **nombre del estudio** y **los años de inicio y horizonte** del análisis (Véase apartado 3.1.3), el usuario deberá marcar según sus preferencias, las casillas **Visualizar pestañas ocultas** y **Visualizar cálculos intermedios**, de acuerdo con lo descrito en el apartado 3.1.3, con el fin de adaptar el nivel de detalle mostrado en la herramienta.

Posteriormente, el usuario deberá indicar el tipo de análisis que desea realizar, especificando si el estudio se refiere a **un aeropuerto concreto** (Véase apartado 3.4.2) o a **una ruta específica** (Véase apartado 3.4.3). Esta elección determina el enfoque del cálculo y condiciona los parámetros y resultados que se mostrarán en las pestañas posteriores de la herramienta.

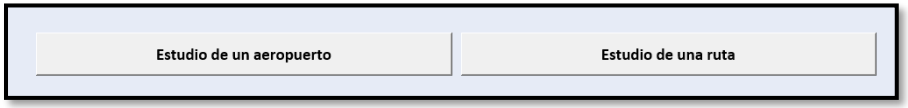


Figura 56. Opciones de estudios a realizar que aparecen en la pestaña de información general

Asimismo, el usuario deberá marcar según sus preferencias, las casillas **Visualizar pestañas ocultas** y **Visualizar cálculos intermedios**, de acuerdo con lo descrito en el apartado 3.1.3, con el fin de adaptar el nivel de detalle mostrado en la herramienta.

3.4.2 Estudio de un aeropuerto

En los apartados siguientes se detalla el contenido y funcionamiento de cada una de las pestañas que conforman el **estudio de un aeropuerto**, así como las opciones disponibles para su configuración y análisis.

3.4.2.1 Pestaña AA_Datos generales

Cuando el usuario selecciona la opción **Estudio de aeropuerto**, la herramienta HEAT muestra la pestaña **AA_Datos generales**, destinada a la **definición de los parámetros básicos** que permitirán caracterizar la actividad aeroportuaria en las pestañas posteriores del estudio.

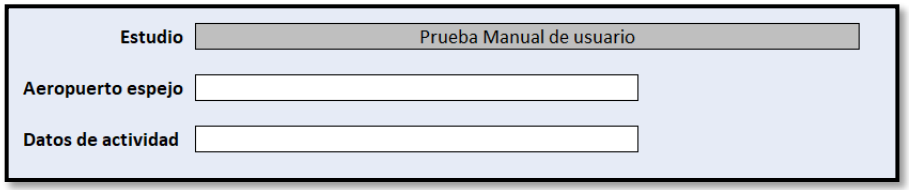
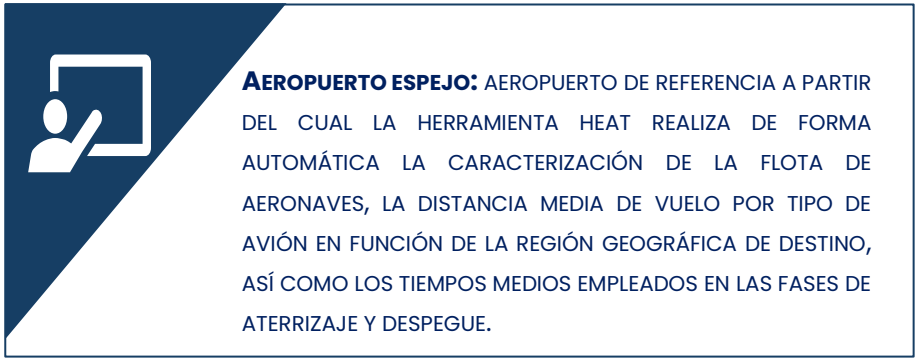


Figura 57. Celdas a rellenar en la pantalla "Datos Generales"

En primer lugar, el usuario deberá **seleccionar el aeropuerto espejo**.



AEROPUERTO ESPEJO: AEROPUERTO DE REFERENCIA A PARTIR DEL CUAL LA HERRAMIENTA HEAT REALIZA DE FORMA AUTOMÁTICA LA CARACTERIZACIÓN DE LA FLOTA DE AERONAVES, LA DISTANCIA MEDIA DE VUELO POR TIPO DE AVIÓN EN FUNCIÓN DE LA REGIÓN GEOGRÁFICA DE DESTINO, ASÍ COMO LOS TIEMPOS MEDIOS EMPLEADOS EN LAS FASES DE ATERRIZAJE Y DESPEGUE.

El usuario puede elegir entre **49 aeropuertos espejo nacionales**, incluida la opción **Sistema Aeroportuario de Interés General (SAIG)**, que representa un comportamiento medio del sistema aeroportuario español. Se excluyen aquellos aeropuertos en los que únicamente operan helicópteros. A continuación, se indican los aeropuertos considerados en HEAT-AÉREO.

Tabla 2. Aeropuertos espejo nacionales

Código	Denominación
LCG	A Coruña
ABC	Albacete
ALC	Alicante-Elche
LEI	Almería
OVD	Asturias
BJZ	Badajoz
BCN	Josep Tarradellas Barcelona-El Prat
BIO	Bilbao
RGS	Burgos
CDT	Castellón
CQM	Ciudad Real
ODB	Córdoba
VDE	El Hierro
FUE	Fuerteventura
GRO	Girona-Costa Brava
LPA	Gran Canaria
GRX	F. G. L. Granada-Jaén
HSK	Huesca-Pirineos
IBZ	Ibiza
XRY	Jerez
QGZ	La Gomera
SPC	La Palma
ACE	César Manrique-Lanzarote
LEN	León
RJL	Logroño-Agoncillo
MAD	Adolfo Suárez Madrid-Barajas
MCV	Madrid – Cuatro Vientos
AGP	Málaga-Costa del Sol
MLN	Melilla
MAH	Menorca
RMU	Internacional Región de Murcia
PMI	Palma de Mallorca
PNA	Pamplona
REU	Reus
QSA	Sabadell
SLM	Salamanca
EAS	San Sebastián
SDR	Seve Ballesteros-Santander

SCQ	Santiago
SVQ	Sevilla
TFN	Tenerife Norte
TFS	Tenerife Sur
VLC	Valencia
VLL	Valladolid
VGO	Vigo
VIT	Vitoria
ZAZ	Zaragoza
SAIG	Sistema Aeroportuario de Interés General

En segundo lugar, el usuario deberá **definir la forma de introducción del dato de actividad**, pudiendo optar entre:

- **Número de operaciones** (Véase apartado 3.4.2.1.1).
- **Unidades transportadas** (Véase apartado 3.4.2.1.2).

La **opción de Unidades transportadas** está **disponible únicamente para el transporte de pasajeros**.

La elección entre una u otra opción dependerá de la información disponible para el estudio y condiciona la metodología de cálculo aplicada por la herramienta, que se describe en los apartados indicados.

3.4.2.1.1 Operaciones

3.4.2.1.1.1 Pestaña AA_Operaciones

Al seleccionar **Operaciones** como dato de actividad, la herramienta HEAT-AÉREO muestra la pestaña **AA_Operaciones**, destinada a la introducción de la actividad del aeropuerto de estudio en términos de **número de operaciones**.

Nº Operaciones / año	Año inicio 2025	Año horizonte 2055
Pasajeros		
Mercancías		
TOTAL	0	0

Figura 58. *Extracto tabla del número de operaciones por año*

En esta pestaña, el usuario deberá introducir el **número total de operaciones** realizadas en el aeropuerto de estudio para el **año de inicio** y el **año horizonte**, diferenciando entre **operaciones de aviones de pasajeros** y **operaciones de aviones de mercancías**. A efectos de la herramienta, se entiende como **número de operaciones** a la **suma de aterrizajes y despegues** en el aeropuerto de estudio.

OPERACIÓN AEROPORTUARIA: A EFECTOS DE HEAT-AÉREO, CADA OPERACIÓN SE DEFINE COMO LA SUMA DE LAS FASES DE VUELO ASOCIADAS A UN MOVIMIENTO DE SALIDA Y A UN MOVIMIENTO DE LLEGADA EN EL AEROPUERTO DE ESTUDIO. EN CONCRETO, COMPRENDE LA FASE DE DESPEGUE EN EL AEROPUERTO DE ESTUDIO Y LA FASE DE CRUCERO POSTERIOR CORRESPONDIENTE AL VUELO DE SALIDA, ASÍ COMO LA FASE DE CRUCERO PREVIA Y LA FASE DE ATERRIZAJE EN EL AEROPUERTO DE ESTUDIO CORRESPONDIENTES AL VUELO DE LLEGADA.



Figura 59 . Operación Aeroportuaria considerada en HEAT

El dato de operaciones se refiere exclusivamente a **aviones de tráfico civil comercial** que operan bajo **reglas de vuelo por instrumentos (IFR)**, excluyéndose expresamente los **servicios de ambulancia y ferry**. Quedan fuera del alcance de HEAT-AÉREO, por tanto, la **aviación general** y el **tráfico con reglas de vuelo visual (VFR)**, los **helicópteros** y la **aviación militar**.

En relación con los servicios de pasajeros y mercancías considerados en HEAT-AÉREO, se incluyen los siguientes tipos de operaciones:

Pasajeros

- Pasajeros regulares
- Pasajeros adicionales regulares
- Pasajeros chárter
- Chárter con handling especial
- Puente aéreo
- Aerotaxi

Mercancías

- Carguero regular
- Carguero adicional regular
- Carguero chárter
- Correo

La herramienta no considera el empleo de **aviones mixtos**, dado que su presencia en el sistema aeroportuario español es actualmente muy reducida. Asimismo, no se han incluido de forma directa los **servicios de posicionamiento** ni las **escalas técnicas**,

al no poder ser clasificados de manera inequívoca como operaciones de pasajeros o de mercancías. No obstante, HEAT-AÉREO ofrece la posibilidad de **considerar su efecto mediante la mayoración de las operaciones introducidas por el usuario** (Véase apartado 3.4.2.1.1.4).

Para los **años intermedios** (2030, 2040 y 2050), HEAT-AÉREO realiza una **interpolación lineal** a partir de los valores introducidos para el año de inicio y el año horizonte. En el caso de que alguno de estos años intermedios sea **anterior al año de inicio** o **posterior al año horizonte**, la herramienta no efectúa el cálculo correspondiente.

A continuación, el usuario deberá **revisar y, en su caso, validar o modificar el cuadro de índices de ocupación** similar al mostrado en la Figura 60**,** en el que se recogen los **valores de ocupación media** asociados a las operaciones del **aeropuerto espejo seleccionado**, diferenciados por **año** y por **región de vuelo**[12]. Este dato de ocupación es utilizado para la obtención del **consumo energético y las emisiones por viajero**.

Índice de ocupación medio en viajeros (pax/asientos)	Nacional	UE	Resto internacional
Año base 2022	79,5%	84,3%	83,8%
Año inicio 2025	79,5%	84,3%	83,8%
Año horizonte 2055	79,5%	84,3%	83,8%
Año 2030	79,5%	84,3%	83,8%
Año 2040	79,5%	84,3%	83,8%
Año 2050	79,5%	84,3%	83,8%

Figura 60. Cuadro de Índices de ocupación

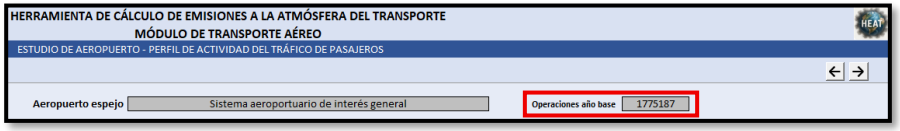


Figura 61. *Botón "operaciones año base"*

HEAT-AÉREO **propone valores de ocupación por defecto** para el **año de inicio** y el **año horizonte**, los cuales se muestran **sombreados en verde oscuro** y coinciden con los valores del **año base**, al asumirse, por defecto, que estos parámetros **no varían en el tiempo**. No obstante, el usuario podrá **modificar dichos valores** cuando disponga de información más precisa o actualizada, o cuando desee incorporar supuestos que impliquen cambios en los niveles de ocupación.

Los **valores de ocupación correspondientes a los años intermedios** 2030, 2040 y 2050, se calculan mediante **interpolación lineal** a partir de los valores definidos para el año de inicio y el año horizonte. Estos valores se muestran **sombreados en verde claro** y, si procede, también pueden ser **modificados por el usuario**. En este caso, se debe **verificar la coherencia** de los valores introducidos para los años intermedios con los definidos para el año de inicio y el año horizonte.

3.4.2.1.1.2 Pestaña AA_Actividad pasajeros

La pestaña **AA_Actividad pasajeros** muestra la **caracterización de la flota de aeronaves de pasajeros** asociada al aeropuerto de

[12] A efectos de HEAT-AÉREO, la región Nacional incluye todos los vuelos internos dentro del territorio español. La región Unión Europea (UE) comprende los vuelos con origen o destino en países de la UE-Schengen, UE-no Schengen y Europa no UE-Schengen. Por su parte, la región Resto internacional agrupa los vuelos correspondientes a Asia y Pacífico, América Latina y Caribe, América del Norte, África, Oriente Medio y Europa no UE-no Schengen.

estudio. Toda la información aquí incluida se ha obtenido a partir de la explotación de la base de datos **"Consulta".**

Emisiones_MITMA_2022», proporcionada por la **Dirección General de Aviación Civil del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible**, en la que se registran todas las operaciones realizadas en los aeropuertos del sistema aeroportuario de interés general durante el año 2022.

En esta pestaña el usuario debe **revisar y, en su caso, validar o modificar** los datos propuestos por HEAT-AÉREO. Se presenta la **flota característica de pasajeros** correspondiente al **año de inicio** y al **año horizonte**, diferenciada por **región de vuelo** (nacional, Unión Europea y resto internacional). Para cada tipo de aeronave se muestra el **porcentaje de operaciones** que representa dentro del conjunto de la flota de pasajeros, así como el **número de operaciones equivalente** a dicho porcentaje. El reparto porcentual se define de manera que la **suma de los porcentajes de todas las aeronaves y regiones de vuelo sea igual al 100 % del total de operaciones de pasajeros** del aeropuerto de estudio.

A este respecto, en la **parte superior de la pestaña**, a la **derecha del campo "Aeropuerto espejo"**, se muestra el **número de operaciones del año base** (véase Figura 62) correspondiente a dicho aeropuerto. Este dato permite al usuario **valorar el grado de representatividad de la flota característica mostrada**, ya que, en aeropuertos con un volumen elevado de operaciones, la composición de la flota tiende a ser más estable y, por tanto, más representativa. Por el contrario, en aeropuertos con un número reducido de operaciones, la flota puede presentar **mayores variaciones de un año a otro**, lo que debe tenerse en cuenta en la interpretación y, en su caso, en la adaptación de los datos propuestos por HEAT-AÉREO.

Asimismo, se muestra la **distancia media recorrida** por cada tipo de aeronave en cada región de vuelo, así como el **total de asientos ofertados**, calculado a partir del número de asientos por vuelo de cada aeronave y del número de operaciones asociadas. Las distancias medias recorridas por las aeronaves de pasajeros son específicas para cada tipo de avión y región de vuelo y se calculan teniendo en cuenta el conjunto de operaciones realizadas con origen o destino en el aeropuerto espejo. Estas distancias se obtienen mediante la **fórmula de Haversine**, que permite calcular la distancia ortodrómica entre dos puntos de la superficie terrestre a partir de sus coordenadas de latitud y longitud.

Los **porcentajes de operaciones** y las **distancias medias de vuelo** correspondientes al **año de inicio** y al **año horizonte** se presentan **sombreados en verde claro**, lo que indica que **pueden ser modificados por el usuario**. De este modo, el usuario puede adaptar la flota característica, el reparto de aeronaves y las distancias medias a la realidad específica de su estudio. En caso de realizar modificaciones, deberá comprobar que los **pesos asignados a las distintas aeronaves completan el 100 % del total de operaciones**.

Los datos correspondientes a los **años intermedios (2030, 2040 y 2050)** se obtienen mediante **interpolación lineal** a partir de los valores definidos para el año de inicio y el año horizonte y **no pueden ser modificados**.

El usuario tiene la opción de **modificar la flota** incorporando **nuevas aeronaves no incluidas en la flota propuesta por defecto** mediante el botón **«Añadir aeronave»**. Al hacerlo, se habilita una **nueva fila** en la que deberán introducirse los datos correspondientes a cada aeronave añadida.

Si el usuario desea incorporar una **aeronave ya incluida en la base de datos de HEAT-AÉREO**, pero que no forma parte de la flota característica del aeropuerto espejo, podrá **seleccionarla desde la lista desplegable** que aparece al pulsar el botón **«Añadir aeronave»**, ubicada en una **celda sombreada en verde** (véase Figura 62). En este caso, el usuario deberá completar posteriormente las **celdas blancas de la nueva fila**, correspondientes al **número de asientos ofertados**, el **porcentaje de operaciones**, y la **distancia media de vuelo** para el **año de inicio** y el **año horizonte**, diferenciada por región de vuelo.

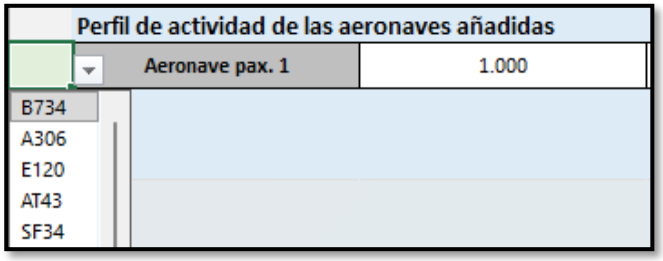


Figura 62. Botón "Añadir aeronave"

CICLO LTO (LANDING AND TAKE-OFF = ATERRIZAJE Y DESPEGUE): ETAPA DE UN VUELO QUE COMPRENDE LAS SIGUIENTES FASES, TODAS ELLAS POR DEBAJO DE 3.000 PIES:

- TAXI-OUT: MOVIMIENTO DE LA AERONAVE EN TIERRA DESDE LA ZONA DE ESTACIONAMIENTO HASTA EL PUNTO DE LA PISTA DONDE SE INICIA EL DESPEGUE.
- TAKE-OFF: FASE EN LA QUE LA AERONAVE PASA DE LA PISTA A ESTAR EN EL AIRE.
- CLIMB-OUT: FASE INICIAL DE ASCENSO TRAS EL DESPEGUE, POR DEBAJO DE 3.000 PIES.
- FINAL APPROACH: TRAMO FINAL DEL DESCENSO, POR DEBAJO DE 3.000 PIES.
- LANDING: FASE EN LA QUE LA AERONAVE TOMA CONTACTO CON LA PISTA HASTA EL INICIO DEL RODAJE.
- TAXI-IN: MOVIMIENTO DE LA AERONAVE EN TIERRA DESDE LA SALIDA DE LA PISTA DE ATERRIZAJE HASTA EL ESTACIONAMIENTO Y APAGADO DE MOTORES.

En caso de que la aeronave a introducir **no esté incluida en la base de datos de HEAT-AÉREO**, el usuario deberá **dejar la celda verde sin seleccionar** y completar manualmente **todas las celdas blancas de la nueva fila** con la información correspondiente.

Cuando se añaden aeronaves adicionales, el usuario debe **completar toda la información asociada a dichas aeronaves**, no sólo en esta pestaña, sino también en las **pestañas específicas que se generan automáticamente** para su correcta definición.

FASE CCD (CLIMB–CRUISE–DESCENT = ASCENSO – CRUCERO – DESCENSO): ETAPA DE TRAMO DE UN VUELO QUE COMPRENDE LAS SIGUIENTES FASES

- CLIMB: FASE DEL VUELO POR ENCIMA DE 3.000 PIES DURANTE LA CUAL LA AERONAVE COMPLETA SU ASCENSO HASTA LA ALTITUD DE CRUCERO.
- CRUISE: FASE DEL VUELO COMPRENDIDA ENTRE EL FINAL DEL ASCENSO Y EL INICIO DEL DESCENSO, DESARROLLADA A ALTITUD DE CRUCERO.
- DESCENT: FASE DEL VUELO EN LA QUE LA AERONAVE DESCIENDE DESDE LA ALTITUD DE CRUCERO HASTA ALCANZAR LOS 3.000 PIES, PREPARÁNDOSE PARA EL ATERRIZAJE.

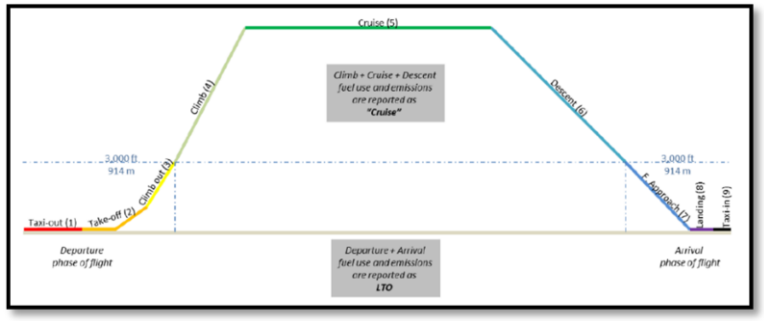


Figura 63. Fase CCD

Además de los datos solicitados en esta pestaña, deberán completarse, entre otros, los **factores de consumo de combustible y de emisiones** correspondientes a la **fase LTO** y a la **fase CCD.** En el caso de aeronaves que **ya están incluidas en HEAT-AÉREO** pero que no aparecen en la flota característica del aeropuerto espejo, HEAT **completará estos datos de forma automática**.

La **denominación de las aeronaves** empleada en HEAT-AÉREO sigue las directrices del documento de la **OACI sobre designadores de tipos de aeronaves (2009)**, utilizado también por la **Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA)** en sus guías de cálculo de emisiones. HEAT-AÉREO agrupa determinadas aeronaves con **características técnicas y comportamientos de consumo y emisión similares**. Por este motivo, la denominación mostrada en la **primera columna** de la **Tabla *3*** incluye también las operaciones de las aeronaves indicadas en la segunda, al considerarse equivalentes a efectos del cálculo. Este criterio se aplica a los siguientes grupos:

Tabla 3. Aeronaves consideradas en HEAT-Aéreo

Denominación HEAT-Aéreo	Incluye
733W	733W, B733
735W	735W, B735
737W	737W, B737
738W	738W, B738
752W	752W, B752
763W	763W, B763
A320	A320, A32A
A321	A321, A32B

HEAT-AÉREO incluye dentro de los **servicios de pasajeros** las operaciones identificadas como **aerotaxis**, que representan aproximadamente el **4 % de las operaciones nacionales** en el año

2022. Dada la gran diversidad de aeronaves empleadas en este tipo de servicios y sus características similares en términos de tamaño y consumo, HEAT-AÉREO agrupa las aeronaves de aerotaxi en **cuatro categorías** (véase *Tabla 4*), de modo que las aeronaves incluidas en cada una de ellas presentan **consumos y factores de emisión similares** en las fases de LTO y CCD. Esta agrupación permite representar de forma adecuada el comportamiento energético y ambiental de los servicios de aerotaxi, manteniendo la **coherencia y la trazabilidad de los resultados**.

Tabla 4. Categorías de aerotaxi

Aerotaxi Cat. 1	Aerotaxi Cat. 2	Aerotaxi Cat. 3	Aerotaxi Cat.4
GLEX	C68A	C56X	C510
GLF6	E35L	E55P	PC12
GLF5	CL60	C25A	E50P
GL5T	C680	C25B	
FA7X	E550	C525	
	GALX	PC24	
	CL35	BE40	
	F2TH	C25C	
		H25B	
		C550	
		C650	
		C25M	
		C560	
		F900	
		LJ45	

3.4.2.1.1.3 Pestaña AA_Actividad mercancías

La pestaña **AA_Actividad mercancías** recoge la **caracterización de la flota de aeronaves de mercancías** asociada al aeropuerto de estudio. El **procedimiento de revisión, validación y, en su caso, modificación de la información es exactamente el mismo que el descrito para la pestaña** AA_Actividad pasajeros, aplicándose los mismos criterios metodológicos y de funcionamiento de la herramienta.

En esta pestaña, el usuario deberá **revisar los datos propuestos por HEAT-AÉREO** relativos a la flota característica de aeronaves de mercancías, correspondientes al **año de inicio** y al **año horizonte**, diferenciados por **región de vuelo** (nacional, Unión Europea y resto internacional). Asimismo, podrá **modificar el reparto de la flota**, las **distancias medias de vuelo** y, en su caso, **incorporar nuevas aeronaves**, siempre respetando que la **suma de los porcentajes de operaciones sea igual al 100 % del total de operaciones de mercancías** del aeropuerto de estudio.

Del mismo modo que en la pestaña de pasajeros, los **datos de los años intermedios** se obtienen mediante **interpolación lineal** y no son modificables, y la **adición de aeronaves** requiere completar la información asociada en esta y en las **pestañas específicas que se generan automáticamente** para la definición de los factores de consumo y emisiones en las fases **LTO** y **CCD**.

3.4.2.1.1.4 Pestaña AA_Datos de aeropuerto

La **pestaña AA_Datos de aeropuerto** recoge la información necesaria para caracterizar determinados **parámetros operativos del aeropuerto de estudio**, que resultan esenciales para el cálculo de los consumos energéticos y las emisiones asociadas a la actividad aérea. En este apartado, el usuario debe **comprobar la coherencia de los valores propuestos por la herramienta y, en su caso, ajustarlos**, cuando disponga de información más específica o desee introducir supuestos alternativos.

En esta pestaña se deben validar **cuatro bloques de datos**, siendo el primero de ellos la **tabla relativa a los tiempos empleados en cada una de las fases del ciclo LTO**, expresados en **segundos** (véase el Anejo 1.3: Glosario del Transporte Aéreo para una mejor comprensión de estas fases).

Los **tiempos LTO correspondientes al año base** se muestran **sombreados en gris**, al tratarse de un **valor de referencia no editable** que sirve de base para el resto de los años analizados. A continuación, se presentan los **tiempos LTO para el año de inicio y el año horizonte**, identificados con **fondo verde oscuro**. Estos valores, propuestos por defecto por HEAT-AÉREO y tomados directamente del año base, **pueden ser modificados por el usuario** únicamente cuando disponga de información más precisa o actualizada, o cuando desee considerar **mejoras operativas en el aeropuerto de estudio** que impliquen una reducción de los tiempos LTO.

Los **tiempos LTO correspondientes a los años intermedios** (2030, 2040 y 2050) se obtienen mediante **interpolación lineal** entre los valores definidos para el año de inicio y el año horizonte. Estos valores aparecen **sombreados en gris**, ya que se trata de **datos calculados automáticamente y no modificables**.

Los **datos de tiempos de la fase LTO** utilizados en HEAT-AÉREO proceden del **Anexo X «LTO emissions calculator – 2023 v1.1» de la Guía EMEP/EEA 2023**. Debe tenerse en cuenta que los tiempos propuestos representan **valores medios** y que, especialmente en el caso de **aeropuertos de menor tamaño**, donde el número de operaciones es reducido, la información disponible puede ser menos precisa que en aeropuertos con un mayor volumen de actividad.

En esta misma tabla se indican, bajo cada una de las fases del ciclo LTO, los **factores de potencia de los motores**, expresados en porcentaje y coherentes con los considerados en la **Guía EMEP/EEA 2023**. Los valores empleados son:

- Taxi out: 7 %
- Take-off: 100 %
- Climb out: 85 %
- Final approach + landing: 30 %
- Taxi in: 7 %

Estos factores de potencia influyen directamente en la **obtención de los factores de consumo de combustible y de emisiones en la fase LTO**, que dependen de la **duración de cada fase**, el **número de motores** y la **potencia aplicada en cada una de ellas**. Los porcentajes de potencia se incluyen con **carácter informativo** y **no son modificables por el usuario**.

El **segundo bloque** recoge el **coeficiente de mayoración por posicionamiento de aeronaves y escalas técnicas**. Este tipo de operaciones no se incluye de forma directa en el perfil de actividad de la herramienta, ya que no puede clasificarse inequívocamente como transporte de pasajeros o de mercancías.

No obstante, HEAT-AÉREO permite **tener en cuenta su efecto de manera indirecta** mediante la aplicación de un **coeficiente de mayoración** sobre las operaciones consideradas en el estudio. El **valor de referencia propuesto**, fijado en el **1,6 %**, se ha obtenido a partir de la explotación de la base de datos «Consulta Emisiones_MITMA_2022» para el conjunto del Sistema Aeroportuario de Interés General, proporcionada por la Dirección General de Aviación Civil. Este valor se muestra **sombreado en verde oscuro**, al tratarse de un **valor recomendado**, y **solo debe ser modificado por el usuario** cuando disponga de información específica para el aeropuerto analizado.

El coeficiente de mayoración se aplica **de forma uniforme a las tres regiones de vuelo** (nacional, Unión Europea y resto internacional) y se **mantiene constante durante todo el periodo de estudio**.

El **tercer bloque** permite **introducir una corrección de la distancia correspondiente a la fase CCD**. En este apartado, el usuario puede **aceptar los valores propuestos por defecto o modificarlos**, para una o varias **regiones de vuelo**, cuando disponga de información más específica.

Para el cálculo de los **consumos de combustible y emisiones durante la fase CCD**, HEAT-AÉREO utiliza los **factores definidos en el Anexo 1 «Master emissions calculator – 2023» de la Guía EMEP/EEA 2023**. Dichos factores se expresan en función de la **CCD stage length**, entendida como la **distancia recorrida a lo largo de un arco de círculo paralelo a la superficie terrestre a una altitud de 3.000 pies (aproximadamente 914 m)**, comprendida entre el final de un ciclo LTO y el inicio del siguiente, tal y como se ilustra en la Figura 64.

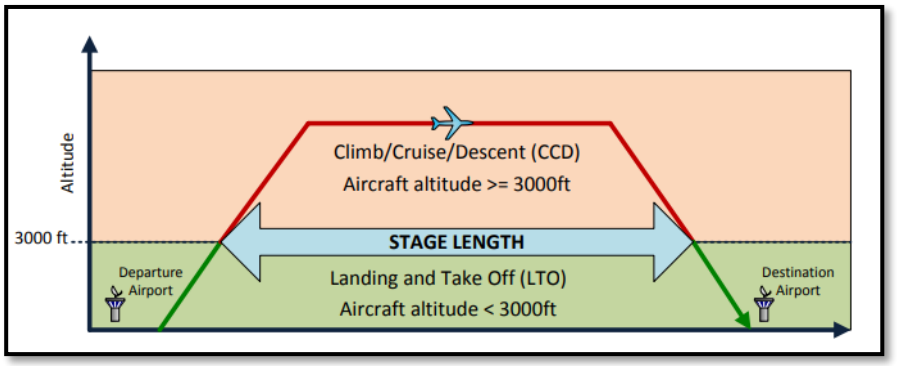


Figura 64. Fase CCD Stage Length

HEAT-AÉREO asume que la **distancia media de vuelo (D_{media})** indicada en la pestaña de actividad se corresponde con la **distancia ortodrómica (GCD, Great Circle Distance)** entre aeropuertos. Para obtener la **CCD stage length** a partir de dicha distancia, es necesario **descontar la proyección horizontal del recorrido asociado al ciclo LTO (D_{LTO})**.

En la **tabla de corrección de la distancia CCD** se proponen valores de referencia para la **proyección horizontal del recorrido LTO en el despegue ($D_{LTO\ despegue}$)** y en el **aterrizaje ($D_{LTO\ aterrizaje}$)**, que pueden diferir según la región de vuelo. De forma orientativa, $D_{LTO\ despegue}$

suele situarse entre **3 y 11 km**, mientras que **$D_{LTO\ aterrizaje}$** suele variar entre **10 y 26 km**.

Adicionalmente, la tabla incluye **factores de mayoración CCD/GCD**, diferenciados por región de vuelo y por año (año base, 2030, 2040 y 2050), con el fin de reflejar que la **distancia real de vuelo entre dos aeropuertos** no suele coincidir exactamente con la distancia ortodrómica, sino que generalmente es **mayor**. Estas diferencias se deben, entre otros factores, a la optimización de rutas por **condiciones meteorológicas** (vientos, tormentas), a la **evitación de determinadas áreas** o a la existencia de **esperas para la asignación de pista**.

HEAT-AÉREO proporciona **valores por defecto** para el **cociente CCD/GCD de 1,08** para todas las tipologías de vuelo (nacional, UE y resto internacional) y para los **años de referencia** definidos en la herramienta (año base, 2030, 2040 y 2050), cuyos valores pueden ser modificados por el usuario. A partir de estos años de referencia, la herramienta calcula automáticamente los valores correspondientes al **año de inicio** y al **año horizonte** mediante **interpolación o extrapolación lineal**.

Con todo ello, en HEAT-AÉREO la **CCD stage length** se calcula a partir de la distancia media de vuelo (D_{media}), según la siguiente expresión:

$$\textbf{CCD stage length (km)} = (D_{media}\ (km) - D_{LTO\ despegue}\ (km) - D_{LTO\ aterrizaje}\ (km)) \times \left(\frac{CCD}{GCD}\right)$$

El **último bloque** está dedicado a la **revisión del Índice de Forzamiento Radiativo (IFR)**. Se propone un **valor de referencia**, que el usuario puede **aceptar o modificar** en función de los supuestos que desee considerar en su análisis.

De acuerdo con el **Informe especial del IPCC «La aviación y la atmósfera global»**, las aeronaves emiten gases y partículas directamente en la **troposfera superior** y en la **estratosfera inferior**, donde estas emisiones tienen un **impacto adicional sobre la composición de la atmósfera**, al modificar la concentración de los gases de efecto invernadero y contribuir al cambio climático. Esta mayor afectación relativa de las emisiones de la aviación, en comparación con otros modos de transporte, se recoge mediante el **Índice de Forzamiento Radiativo (IFR)**.

HEAT-AÉREO permite **tener en cuenta este efecto** mediante la aplicación de un **coeficiente de mayoración** sobre las **emisiones de GEI en el tramo TtW correspondientes a la fase CCD**. Por coherencia con el citado informe del IPCC, la herramienta **sólo aplica este ajuste a los vuelos cuya distancia media (D_{media}) supera los 450 km**, al considerarse que, a partir de dicha distancia, las aeronaves alcanzan **altitudes superiores a 9 km**, en las que este fenómeno resulta relevante.

3.4.2.1.1.5 Pestaña AA_Factores LTO pasajeros y Pestaña AA_Factores LTO mercancías

Las pestañas **AA_Factores LTO pasajeros** y **AA_Factores LTO mercancías** se habilitan **únicamente cuando el usuario ha añadido aeronaves adicionales** a las propuestas por defecto por HEAT-AÉREO en las pestañas de actividad de pasajeros o mercancías, respectivamente. Estas pestañas permiten completar la información necesaria para el **cálculo de consumos de combustible y emisiones durante la fase LTO** de dichas aeronaves.

PASAJEROS Aeronaves añadidas		Consumo de combustible (kg/s/motor)			
OACI	Nº Motores	7%	30%	85%	100%
Aeronave pax. 1	2	0,113	0,338	0,999	1221,000

Figura 65. Extracto tabla para el cálculo de consumos de combustible y emisiones durante la fase LTO

En primer lugar, el usuario deberá **indicar el número de motores** correspondiente a cada una de las aeronaves añadidas.

A continuación, deberán introducirse los **factores de consumo de combustible y de emisiones**, que se expresan en **kg/s por motor**. Estos factores deberán diferenciarse para **cada nivel de potencia del motor**, definido como porcentaje respecto de la **potencia máxima**, y que en HEAT-AÉREO corresponden a los valores **7%, 30%, 85% y 100%**.

En el caso de aeronaves que **ya están incluidas en HEAT-AÉREO** pero que no aparecen en la flota característica del aeropuerto espejo, HEAT **completará estos datos de forma automática**.

3.4.2.1.1.6 Pestaña AA_Factores LTO despegue y Pestaña AA_Factores LTO aterrizaje

Las pestañas **AA_Factores LTO despegue** y **AA_Factores LTO aterrizaje** muestran, tanto para **aeronaves de pasajeros como de mercancías**, los **consumos de combustible y las emisiones correspondientes a las fases de despegue y aterrizaje**, respectivamente.

En estas pestañas se presentan los valores calculados para **cada aeronave**, diferenciados por **año de inicio**, **año horizonte** y **años intermedios** (2030, 2040 y 2050). Los consumos y emisiones reflejados **ya incorporan el efecto del número de motores de cada aeronave**, así como los **tiempos asociados a cada una de las subfases del ciclo LTO** correspondientes al **despegue** y al **aterrizaje**.

Los valores de **consumo y emisiones** se muestran **sombreados en gris**, lo que indica que se trata de **resultados calculados automáticamente por la herramienta** y que **no son editables por el usuario**. En consecuencia, estas pestañas tienen un **carácter informativo**, permitiendo al usuario **consultar los resultados obtenidos** y continuar con el proceso de configuración y análisis en las pestañas posteriores.

3.4.2.1.1.7 Pestaña AA_Factores (EC/NO_X/HC/$PM_{2,5}$/CO2) CCD pasajeros y Pestaña AA_Factores (EC/NO_X/HC/$PM_{2,5}$/CO2) CCD mercancías

Las pestañas **AA_Factores (EC/NOX/HC/PM2,5/CO_2) CCD pasajeros** y **AA_Factores (EC/NOX/HC/PM2,5/CO_2) CCD mercancías** recogen el **consumo de combustible y emisiones correspondientes a la fase CCD**, cuyo valor **depende de manera no lineal de la distancia CCD stage length**, expresada en **millas náuticas**.

Existe **una pestaña específica para cada contaminante** (NOx, HC, PM2,5 y CO_2) **y para el consumo de combustible** (EC), tanto para **aeronaves de pasajeros** como de **mercancías**.

Estas pestañas se **habilitan únicamente cuando el usuario ha añadido aeronaves adicionales** a las incluidas en la **flota**

característica del aeropuerto, ya sea en el análisis de pasajeros o de mercancías, respectivamente.

En estas pestañas, el usuario deberá **completar la información correspondiente a las aeronaves añadidas que no estén incluidas en la base de datos de HEAT-AÉREO**. En el caso de aeronaves que **sí están incluidas en HEAT-AÉREO**, pero que no aparecen en la flota característica del aeropuerto espejo, la herramienta **completa automáticamente estos valores**, por lo que no será necesaria la introducción manual de datos.

3.4.2.1.1.8 Pestaña AA_Factores CCD

La pestaña **AA_Factores CCD** presenta el **consumo de combustible (EC)** y las **emisiones de NOx, HC, PM2,5 y CO_2** correspondientes a la **fase CCD**, **por operación y para cada aeronave**, diferenciando entre **aeronaves de pasajeros** y **aeronaves de mercancías**.

Los valores mostrados en esta pestaña se obtienen a partir de los **factores de consumo y emisión definidos en las pestañas anteriores**, aplicados sobre la **distancia media corregida de cada aeronave**, calculada específicamente para cada región de vuelo. De este modo, los resultados reflejan el comportamiento real de las aeronaves en la fase CCD, teniendo en cuenta las particularidades de su perfil de vuelo y la corrección de distancia incorporada en el modelo.

Los valores de **consumo y emisiones** se muestran **sombreados en gris**, lo que indica que se trata de **resultados calculados automáticamente por la herramienta** y que **no son editables por el usuario**. En consecuencia, estas pestañas tienen un **carácter informativo**, permitiendo al usuario **consultar los resultados obtenidos** y continuar con el proceso de configuración y análisis en las pestañas posteriores.

3.4.2.1.1.9 Pestaña Combustibles TtW&WtT

La pestaña **Combustibles TtW&WtT** presenta al usuario las **propiedades de los distintos tipos de combustibles considerados en HEAT-AÉREO**, junto con los **factores de emisión asociados a las etapas WtT y TtW**.

Los **combustibles considerados en HEAT-AÉREO** son los siguientes:

- Queroseno de aviación.
- Biocarburante HEFA a partir de aceite de palma.
- Biocarburante HEFA a partir de aceite de cocina usado.
- Biocarburante avanzado a partir de material celulósico.
- Carburante sintético renovable.

Aunque la tabla incorpora **filas específicas** para el **biocarburante avanzado a partir de material celulósico** y para el **carburante sintético renovable**, estas **no están operativas en la herramienta**, debido a la **falta de información suficientemente contrastada** sobre las propiedades y factores de emisión de ambos tipos de combustible.

Todos los valores mostrados en esta pestaña aparecen **sombreados en gris**, lo que indica que se trata de **valores no editables por el usuario** y que tienen un **carácter exclusivamente informativo**.

3.4.2.1.1.10 Pestaña Biocombustibles

En la pestaña **Biocombustibles**, el usuario puede **analizar y, en su caso, ajustar** los valores propuestos por la herramienta relativos a la **penetración de combustibles de aviación sostenibles (CAS)** en el mix de combustible utilizado.

Porcentaje de uso de biocombustibles	Año base 2022		Año inicio		Año horizonte	
	Nacional / UE	Resto internacional	Nacional / UE	Resto internacional	Nacional / UE	Resto internacional
Biocarburante / Biocarburante avanzado	2%	1,8%	3,5%	3,2%	0,7%	0,6%
Del cual HEFA - aceite de palma	100%	100%	62,5%	64,5%	0,0%	99,3%
Del cual HEFA - aceite de cocina usado	0%	0%	0,0%	2,0%	88,8%	0,0%
TOTAL	100%	100%	63%	67%	89%	99%

Figura 66. Extracto de la tabla de porcentajes de uso de los biocombustibles

En la primera fila de la tabla, HEAT-AÉREO propone el **porcentaje total de CAS (en volumen)** para el **año base** y para los **años 2030, 2040 y 2050**. A partir de estos valores, los **porcentajes correspondientes al año de inicio y al año horizonte del análisis** se calculan de forma **automática mediante interpolación lineal**, sin intervención del usuario.

El **porcentaje total de CAS** puede diferenciarse en función de la **región de vuelo**, distinguiéndose entre las regiones **Nacional y Unión Europea** —para las que se aplica el mismo valor— y la región de **Resto internacional**.

En la **segunda y tercera filas de la tabla** se recoge el **reparto del porcentaje total de CAS** por tipo de biocarburante, también diferenciado por **año y región de vuelo**, según se trate de un **biocarburante HEFA obtenido a partir de aceite de palma** o de un **biocarburante HEFA obtenido a partir de aceite de cocina usado**.

En todos los casos, la **suma de ambos porcentajes debe ser igual al 100 %**, garantizando la coherencia del reparto del total de CAS definido.

Para una descripción más detallada de los biocombustibles considerados en el transporte aéreo y de las hipótesis adoptadas para el cálculo de consumos y emisiones, se remite al Anejo 5, apartado 5.3.3 del presente manual.

3.4.2.1.1.11 Pestaña Potencial de calentamiento GEI

En esta pestaña, HEAT-AÉREO solicita al usuario que revise y confirme los **valores de los potenciales de calentamiento global (PC)**, en los términos descritos en el apartado 1.2.1, que se emplean para el **cálculo del factor de emisión de dióxido de carbono equivalente (CO_2 eq)**.

El cálculo del factor de emisión de CO_2 equivalente se realiza a partir de los factores de emisión individuales de **CO_2, CH_4 y N_2O**, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Fe\ CO_2\ eq = Fe\ CO_2 \times PC\ CO_2 + Fe\ CH_4 \times PC\ CH_4 + Fe\ N_2O \times PC\ N_2O$$

La herramienta HEAT evalúa las emisiones de **CO_2, CH_4 y N_2O,** ponderándolas mediante los **potenciales de calentamiento global (GWP)** a 100 años establecidos en el 6º Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2021), que asigna valores de **29,8 para el metano (CH_4)** y **273 para el óxido nitroso (N_2O)** en relación con el CO_2. No obstante, estos valores pueden ser **actualizados por el usuario** en caso de que se desee aplicar otros factores de referencia, manteniendo en todo caso la coherencia metodológica del cálculo.

Por defecto, **HEAT calcula las emisiones en términos de CO_2 equivalente**. Sin embargo, si para un determinado estudio se desea obtener **exclusivamente las emisiones de CO_2**, será suficiente con **asignar el valor 0 a los potenciales de calentamiento global del CH_4 y del N_2O** en esta pestaña. De este modo, el cálculo excluirá la contribución de estos gases.

En este caso, debe tenerse en cuenta que, al consultar la pestaña de Resultados, el valor mostrado como **CO_2 equivalente corresponderá en realidad únicamente a las emisiones de CO_2**.

3.4.2.1.1.12 Pestaña Mejoras

La pestaña **Mejoras** permite al usuario **realizar proyecciones a futuro** incorporando el efecto de **posibles mejoras tecnológicas y operacionales** en el sector de la aviación. En este apartado se recogen los porcentajes de reducción (o, en su caso, de aumento) aplicables, con respecto al año base, a los siguientes parámetros:

- **Reducción anual del consumo de energía y de las emisiones** derivada de las **mejoras tecnológicas en las aeronaves** y de la **renovación de la flota**.
- **Reducción anual del consumo de energía** asociada a **mejoras en los sistemas de gestión en tierra**, como, por ejemplo, la disminución del consumo y de las emisiones procedentes del uso de **APU**. Estas mejoras **no incluyen** las reducciones de los **tiempos LTO** de cada aeropuerto, que pueden considerarse de forma específica en la pestaña de **datos del aeropuerto**.
- **Reducción anual del consumo de energía** derivada de **mejoras en la gestión del tráfico aéreo**.
- **Reducción del contenido de azufre** en el **queroseno de aviación**.

HEAT-AÉREO propone **valores por defecto** para los **años 2030, 2040 y 2050**, que **pueden ser modificados por el usuario**. A partir de estos valores, los **porcentajes de mejora correspondientes al año de inicio y al año horizonte** se calculan de forma **automática mediante interpolación lineal**, sin posibilidad de modificación directa por parte del usuario.

Los **valores por defecto** incorporados en la herramienta se han obtenido del documento **«Long-Term Aspirational Goal (LTAG). ICAO – Report on the feasibility of a long-term aspirational goal for international civil aviation CO_2 emission reductions (2022). Technology perspective (Scenario ATW – Advanced Tube and Wing)»**, garantizando la coherencia de los supuestos empleados con los escenarios tecnológicos de referencia a largo plazo en la aviación civil internacional.

3.4.2.1.1.13 Pestaña AA_Factores LTO despegue evo., Pestaña AA_Factores LTO aterrizaje evo. y Pestaña AA_Factores CCD evolución

Las pestañas **AA_Factores LTO despegue evo.**, **AA_Factores LTO aterrizaje evo.** y **AA_Factores CCD evolución** muestran los **consumos de combustible y las emisiones resultantes** una vez **aplicados los efectos de las mejoras tecnológicas y operacionales** definidas en la pestaña Mejoras.

Los datos mostrados tienen **carácter informativo** y **no son editables por el usuario**, ya que se obtienen de forma automática a partir de los factores base y de los porcentajes de mejora definidos previamente, garantizando la coherencia metodológica de los resultados finales del análisis.

3.4.2.1.1.14 Pestaña AA_Resultados

Una vez definidos todos los parámetros del estudio, **HEAT-AÉREO procede al procesamiento de los resultados**. Durante esta fase de cálculo, la herramienta muestra en pantalla la Figura 68 , que informa al usuario de que el proceso de generación de resultados se encuentra en curso.



Figura 67. Proceso de generación de resultados en curso

Finalizado dicho proceso, se accede a la pestaña **Resultados**, que constituye la **hoja final de HEAT-AÉREO** y presenta los **resultados globales de consumo de energía y emisiones a la atmósfera** correspondientes al escenario definido por el usuario.

La primera sección de esta pestaña muestra una **tabla de resultados globales** que recoge la **energía total consumida y las emisiones totales** asociadas al transporte aéreo considerado en el estudio (Figura 68).

Los resultados se presentan organizados en dos bloques de columnas, en función del tipo de indicador mostrado:

- **Totales absolutos**, correspondientes al conjunto del sistema de transporte analizado.
- **Resultados normalizados por aeronave y por pasajero**.

Para cada uno de estos bloques, los resultados se desglosan temporalmente en las siguientes columnas:

- El **año de inicio** del análisis.
- El **año horizonte**.
- Los **años intermedios de referencia: 2030, 2040 y 2050**.
- El **conjunto del periodo de estudio,** que integra el total acumulado del horizonte analizado.

Energía total consumida y emisiones totales a la atmósfera Visor global				Total (GJ o t)						Total (GJ/aeronave o kg/aeronave) Total (MJ/pasajero o g/pasajero)					
				Año inicio 2025	Año horizonte 2055	2030	2040	2050	Periodo de estudio	Año inicio 2025	Año horizonte 2055	2030	2040	2050	Periodo de estudio promedio
Emisión(es)	Energía		TtW	1.442.120,7	3.663.748,8	1.828.645,1	2.576.642,0	3.299.417,9	68.871.378,6	477,7 1.392,5	483,6 1.415,1	483,4 1.412,6	486,3 1.421,8	484,1 1.416,0	484,1 1.415,0
	Energía		WtT	1.588.950,5	4.264.697,5	1.913.024,8	1.364.111,6	3.840.642,7	61.806.117,1	526,3 1.534,3	562,9 1.647,2	505,7 1.477,8	257,4 752,7	563,5 1.648,3	443,9 1.297,6
	Energía		WtW	3.031.071,2	7.928.446,4	3.741.669,9	3.940.753,6	7.140.060,6	130.128.582,4	1.004,0 2.926,9	1.046,5 3.062,4	989,1 2.890,4	743,7 2.174,4	1.047,6 3.064,3	927,9 2.712,6
	CO_{2eq}	CO_{2eq}	TtW	102.884,3	268.552,1	127.264,2	129.277,3	241.846,8	4.371.904,5	34.080,0 99.347,5	35.447,8 103.728,1	33.641,7 98.311,5	24.396,8 71.333,3	35.482,5 103.792,5	31.207,3 91.226,7
	CO_{2eq}	$CO_{2eq\ (inc\ out\ of\ scope)}$	TtW	105.026,5	270.100,2	127.264,6	129.308,5	243.416,1	4.390.481,1	34.789,6 101.416,0	35.652,2 104.326,0	33.641,8 98.311,8	24.402,7 71.350,5	35.712,7 104.465,9	31.343,0 91.623,1
	CO_{2eq}	CO_{2eq}	WtT	21.075,3	56.413,9	25.303,5	18.043,1	50.805,1	817.797,8	6.981,1 20.350,8	7.446,4 21.789,8	6.688,9 19.547,0	3.405,0 9.955,9	7.453,9 21.803,8	5.873,0 17.168,0
	CO_{2eq}	$CO_{2eq\ (crédito\ biogénico)}$	WtT	189,2	20,1	0,0	0,0	21,0	1.156,6	62,7 182,7	2,7 7,8	0,0 0,0	0,0 0,0	3,1 9,0	6,2 18,1
	CO_{2eq}	CO_{2eq}	WtW	123.960,9	324.967,0	152.568,1	147.351,6	292.652,8	5.187.985,9	41.061,6 119.699,6	42.894,4 125.518,3	40.330,6 117.858,7	27.807,7 81.306,4	42.936,5 125.596,7	37.082,3 108.400,8
	SO_2		TtW	55,4	142,5	67,4	90,3	128,3	2.539,7	18,4 53,5	18,8 55,0	17,8 52,1	17,0 49,8	18,8 55,1	17,9 52,4
	NO_x		TtW	507,9	1.300,7	615,1	819,6	1.171,6	23.141,0	168,2 490,4	171,7 502,4	162,6 475,1	154,7 452,3	171,9 502,8	163,5 478,0
	$PM_{2,5}$		TtW	6,5	17,0	6,7	8,3	15,3	264,1	2,2 6,3	2,2 6,6	1,8 5,2	1,6 4,6	2,2 6,6	1,9 5,5
	COVNM		TtW	6,1	15,3	7,2	10,1	13,7	276,7	2,0 5,9	2,0 5,9	1,9 5,5	1,9 5,6	2,0 5,9	2,0 5,7
Operación(es)	FASE(s) [Subfase] {Región}			LTO [Despegue, Aterrizaje], CCD {Nacional, UE, Resto internacional}											
Aeronave(s)	SERVICIO(s)			Pasajeros, Mercancías											

Figura 68. Detalle de la tabla de resultados

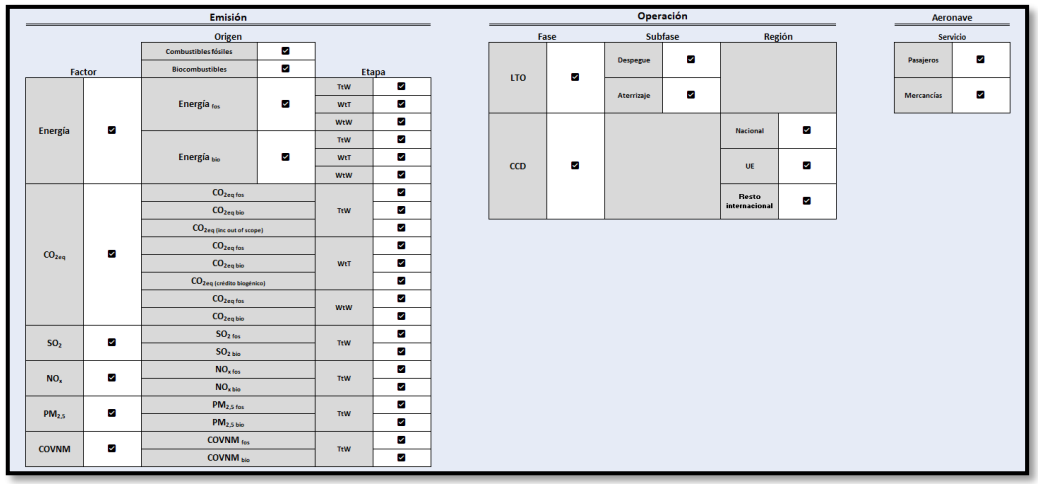


Figura 69. Detalle de los filtros disponibles

Asimismo, la tabla se organiza en distintos bloques de filas, que agrupan la información por tipo de magnitud:

- **Energía:** consumo energético total del transporte aéreo considerado en el estudio **diferenciado por fase**, distinguiéndose los resultados **WtT, TtW y WtW**.

- **Emisiones de gases de efecto invernadero**, con el siguiente nivel de desagregación:

    - CO_{2eq} (TtW): Emisiones de CO_2 equivalente asociadas **exclusivamente a la fase de uso del avión**, derivadas de la combustión del combustible. Este indicador **no incluye** las emisiones directas de CO_2 de los biocombustibles, al ser compensadas por el origen renovable del carbono.
    - $CO_{2eq\ (inc\ out\ of\ scope)}$ (TtW): emisiones directas de CO_2 generadas durante la combustión, tanto para los combustibles fósiles como para los de origen no fósil. Este valor se obtiene como la **suma de**:
        - $CO_{2eq\ (crédito\ biogénico)}$ (WtT), y
        - CO_{2eq} (TtW)
    - CO_2eq (WtT): Emisiones de CO_2 equivalente asociadas a las **etapas previas al uso del avión**, correspondientes a la producción, transformación y suministro del combustible o de la energía hasta su llegada al vehículo, excluyendo la fase de combustión.
    - $CO_{2eq\ (crédito\ biogénico)}$ (WtT): cantidad de CO_2 fijado durante el **crecimiento de la fracción biodegradable** de los productos, residuos y desechos de origen vegetal utilizados en la producción de biocombustibles. Este valor se expresa como un crédito que compensa las emisiones directas de CO_2 en la fase de combustión.
    - CO_{2eq} (WtW): Emisiones totales de CO_2 equivalente del **ciclo completo**, que integran todas las fases desde la producción de la energía hasta su uso final en el avión. Este indicador se obtiene como la **suma de**:
        - CO_2eq (WtT), y
        - CO_2eq (TtW).

- **Contaminantes atmosféricos**, correspondientes a emisiones en fase de uso (TtW) de:
    - Dióxido de azufre (SO_2).
    - Óxidos de nitrógeno (NO_x).
    - Partículas finas ($PM_{2,5}$).
    - Compuestos orgánicos volátiles no metánicos (COVNM).

En la **siguiente sección** de la pestaña "Resultados", tal y como puede observarse en la Figura 69, el usuario dispone de un conjunto de **opciones de filtrado** que permiten personalizar el contenido de los resultados mostrados.

En primer lugar, el usuario puede **seleccionar uno o varios factores a visualizar**, pudiendo elegir entre:

- **Energía**, en sus distintos desgloses.
- **Gases de efecto invernadero**, incluyendo los diferentes componentes de CO_2 equivalente.
- **Contaminantes atmosféricos**, con su correspondiente desagregación.

Asimismo, es posible **seleccionar una o varias fases y subfases** —correspondientes al **ciclo LTO** (despegue y aterrizaje) o a la **fase CCD**— y **delimitar el análisis por regiones de vuelo**, diferenciando entre:

- Nacional
- UE
- Resto internacional

La herramienta permite también filtrar los resultados en función del **tipo de servicio**, pudiendo seleccionar:

- **Viajeros** y/o
- **Mercancías**.

Para que se generen las tablas de resultados filtradas, el usuario debe, **una vez seleccionados los criterios de filtrado**, pinchar en el botón **Generar tabla**, situado en el **encabezado de la pestaña Resultados** (véase Figura 70). Al hacerlo, la herramienta crea una nueva tabla que refleja exactamente las opciones seleccionadas. **Este proceso puede repetirse tantas veces como se desee**, permitiendo generar múltiples tablas con distintos criterios de selección.

Si el usuario desea **eliminar alguna de las tablas generadas**, deberá marcar el **cuadro situado a la izquierda de la tabla** correspondiente y, a continuación, pinchar en el botón **Eliminar tablas**, también ubicado en el encabezado de la pestaña (véase Figura 70).



Figura 70. Localización de botones "Generar/Eliminar tablas"

Asimismo, en caso de que el usuario desee **descargar las tablas generadas**, deberá marcar el **cuadro situado a la izquierda de cada tabla** que quiera exportar y pinchar en el botón **Exportar tablas** (véase Figura 70).



Figura 71. Mensaje de archivo descargado correctamente

Tras esta acción, la herramienta mostrará el mensaje indicado en Figura 71 , informando de que el archivo se ha descargado correctamente en la **carpeta de descargas** del equipo.

El fichero generado se guarda con el nombre **HEAT_AÉREO_Resultados_Aeropuerto_TablaFiltrada**.

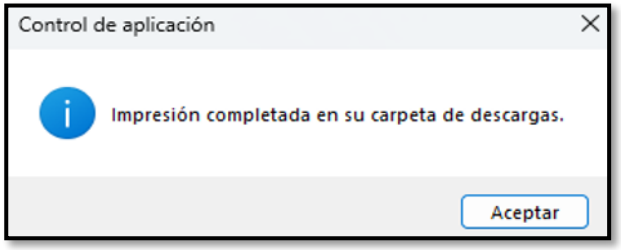


Figura 72. **Mensaje de aviso de la correcta generación del archivo**

De forma análoga, el usuario dispone del botón **Imprimir**, que permite **exportar la información seleccionada a un documento en formato PDF**. Para ello, deberá marcar previamente el cuadro situado a la izquierda de cada tabla que desee incluir en el documento y, a continuación, pulsar el botón **Imprimir** (véase *Figura 70*). La herramienta genera automáticamente el archivo PDF correspondiente en la carpeta de descargas del equipo del usuario, guardándolo con el nombre **HEAT_AÉREO_Resultados_Aeropuerto**. Tras la descarga, se muestra un **mensaje de aviso en pantalla** (véase Figura 72) en el que se informa de la correcta generación del archivo.



Figura 73. Botón "imprimir"

La **última sección** de la pestaña **Resultados** corresponde a las **tablas dinámicas preestablecidas**, que permiten al usuario obtener de forma rápida vistas agregadas de los resultados sin necesidad de definir filtros manuales.

En esta sección se ofrece la posibilidad de generar **tres tipos de tablas dinámicas**. Para ello, en la **columna Q del encabezado de esta pestaña** (véase Figura *74*) se dispone de una **lista desplegable** en la que puede elegirse entre las siguientes opciones:

- **Aeronave.**
- **Factor**.
- **Operación**.

Una vez seleccionada la opción deseada en la lista desplegable, se debe pinchar en el botón **Tabla dinámica**, situado a la izquierda de dicha lista. La herramienta generará automáticamente la tabla dinámica correspondiente, con los resultados agregados según el criterio seleccionado.

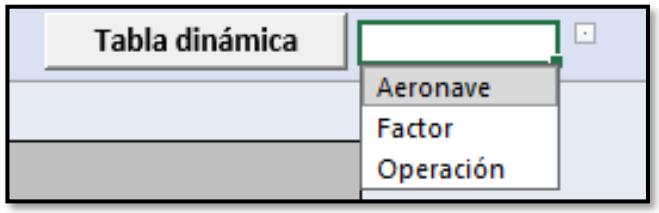


Figura 74. Lista desplegable de generación de Tabla dinámica

Por último, en caso de que las tablas de resultados globales, las tablas filtradas y las tablas dinámicas preestablecidas **no resulten suficientes para el análisis requerido**, la pestaña **Resultados** ofrece la opción de **descargar todos los datos** generados por HEAT-AÉREO. Para ello, se debe pinchar en el botón **Descarga de microdatos**, situado en la parte derecha del encabezado de la pestaña. Tras esta acción, aparecerá el mensaje indicado en la

Figura 75 y se descargará en la **carpeta de descargas** del equipo el archivo denominado **HEAT_AÉREO_Resultados_Aeropuerto_Datos_origen**, que contiene el conjunto completo de datos utilizados para la generación de los resultados.

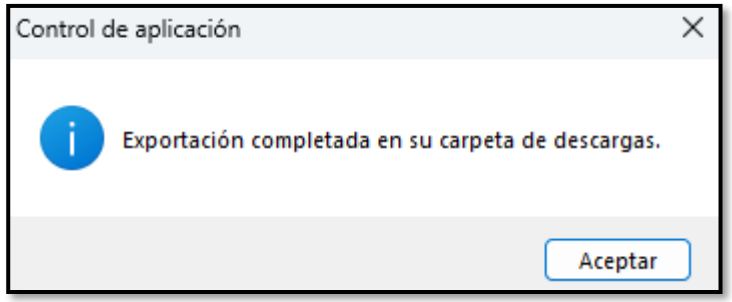


Figura 75. Mensaje de aviso de la correcta descarga del archivo

3.4.2.1.2 Unidades transportadas

3.4.2.1.2.1 Pestaña AA_Unidades transportadas

Al optar por **Unidades transportadas** como dato de actividad, HEAT-AÉREO habilita la pestaña **AA_Unidades transportadas**, en la que se define la actividad del aeropuerto de estudio en términos de **número de pasajeros** para el **año de inicio** y el **año horizonte**.

A partir de estos valores, la herramienta **calcula automáticamente los datos correspondientes a los años intermedios** (2030, 2040 y 2050) mediante **interpolación lineal**. Cuando alguno de estos años intermedios queda **fuera del intervalo temporal** delimitado por el año de inicio y el año horizonte, el valor correspondiente **no se calcula**.

Debe tenerse en cuenta que **HEAT-AÉREO realiza internamente todos los cálculos en términos de operaciones**. Por este motivo, cuando el usuario introduce la actividad en **unidades transportadas**, la herramienta convierte el número de pasajeros en número de operaciones, aplicando los parámetros de ocupación y asientos ofertados correspondientes. Este cálculo intermedio **no se muestra por defecto**, salvo que el usuario haya activado la opción de **visualización de cálculos intermedios**.

A continuación, el usuario deberá **revisar y, en su caso, validar o modificar el cuadro de índices de ocupación** similar al mostrado en la Figura 76 , en el que se recogen los **valores de ocupación media** asociados a las operaciones del **aeropuerto espejo seleccionado**, diferenciados por **año** y por **región de vuelo**[13]. Este dato de ocupación es utilizado para la obtención del **consumo energético y las emisiones por viajero**.

Índice de ocupación medio en viajeros (pax/asientos)	Nacional	UE	Resto internacional
Año base 2022	79,5%	84,3%	83,8%
Año inicio 2025	79,5%	84,3%	83,8%
Año horizonte 2055	79,5%	84,3%	83,8%
Año 2030	79,5%	84,3%	83,8%
Año 2040	79,5%	84,3%	83,8%
Año 2050	79,5%	84,3%	83,8%

Figura 76. Cuadro de Índices de ocupación

[13] A efectos de HEAT-AÉREO, la región Nacional incluye todos los vuelos internos dentro del territorio español. La región Unión Europea (UE) comprende los vuelos con origen o destino en países de la UE-Schengen, UE-no Schengen y Europa no UE-Schengen. Por su parte, la región Resto internacional agrupa los vuelos correspondientes a Asia y Pacífico, América Latina y Caribe, América del Norte, África, Oriente Medio y Europa no UE-no Schengen.

HEAT-AÉREO **propone valores de ocupación por defecto** para el **año de inicio** y el **año horizonte**, los cuales se muestran **sombreados en verde oscuro** y coinciden con los valores del **año base**, al asumirse, por defecto, que estos parámetros **no varían en el tiempo**. No obstante, el usuario podrá **modificar dichos valores** cuando disponga de información más precisa o actualizada, o cuando desee incorporar supuestos que impliquen cambios en los niveles de ocupación.

Los **valores de ocupación correspondientes a los años intermedios** 2030, 2040 y 2050, se calculan mediante **interpolación lineal** a partir de los valores definidos para el año de inicio y el año horizonte. Estos valores se muestran **sombreados en verde claro** y, si procede, también pueden ser **modificados por el usuario**. En este caso, se debe **verificar la coherencia** de los valores introducidos para los años intermedios con los definidos para el año de inicio y el año horizonte.

Una vez validada esta pestaña y avanzando a la siguiente, el **flujo de trabajo a seguir es común** al que se aplica cuando se selecciona la opción **Número de operaciones** en la pestaña **AA_Operaciones**. En consecuencia, a partir de este punto el procedimiento **continúa de forma idéntica**, por lo que deberá seguirse el manual según lo descrito en el apartado 3.4.2.1.1.2 correspondiente a la pestaña **AA_Actividad pasajeros**.

3.4.3 Estudio de una ruta

En los apartados siguientes se describe el contenido y la funcionalidad de cada una de las pestañas que conforman el **estudio de una ruta**, detallando los datos de entrada, los supuestos de cálculo y la forma en que se presentan los resultados.

3.4.3.1 Pestaña AR_Datos generales

Si el usuario ha seleccionado la opción **Estudio de ruta**, la herramienta HEAT-AÉREO habilita la pestaña **AR_Datos generales**.

En primer lugar, el usuario deberá **seleccionar la ruta espejo**, lo que permitirá que la herramienta cargue de manera automática la información necesaria para el análisis, incluida la flota característica asociada a la ruta elegida y los parámetros operativos correspondientes.



HEAT-AÉREO dispone de **24 rutas espejo predefinidas**, de las cuales **17 son nacionales** y **7 internacionales**, estas últimas correspondientes a conexiones con **Francia y Portugal**. Cada una de estas rutas cuenta con una **flota característica específica**, definida a partir de su patrón de operación. Las rutas incluidas han sido seleccionadas en función de su **relevancia dentro del sistema de transporte** y de su **grado de competencia modal con otros modos**, especialmente con el **ferrocarril**.

3.4.3.2 *Pestaña AR_Operaciones*

Al seleccionar la ruta espejo, la herramienta HEAT-AÉREO habilita la pestaña **AR_Operaciones**.

En el caso del estudio de una ruta, la introducción del dato de actividad **sólo puede realizarse mediante el número de operaciones** y **exclusivamente para el transporte de viajeros**.

En esta pestaña, el usuario deberá **completar o revisar dos grupos de datos**.

El primer grupo de datos corresponde a la **definición de la actividad de la ruta**. En este bloque se presenta una tabla en la que el usuario deberá introducir el **número total de operaciones** que se llevan a cabo en la ruta de estudio para el **año de inicio** y el **año horizonte**. A efectos de la herramienta, se entiende por operación aeroportuaria a:

OPERACIÓN AEROPORTUARIA: CONJUNTO DE MOVIMIENTOS ASOCIADOS A UNA RUTA AÉREA ENTRE DOS AEROPUERTOS, COMPUESTO POR LA FASE LTO DE DESPEGUE EN EL AEROPUERTO DE ORIGEN, LA FASE DE CRUCERO (CCD) HASTA EL AEROPUERTO DE DESTINO Y LA FASE LTO DE ATERRIZAJE EN DICHO AEROPUERTO. EL NÚMERO DE OPERACIONES INTRODUCIDO POR EL USUARIO DEBERÁ CORRESPONDER AL TOTAL DE OPERACIONES REALIZADAS EN AMBOS SENTIDOS DE LA RUTA CONSIDERADA.

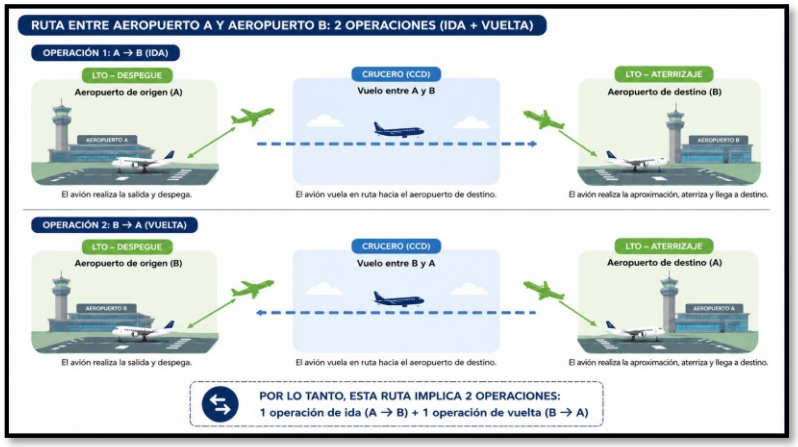


Figura 77. Operación Aeroportuaria considerada en HEAT

El dato de operaciones se refiere exclusivamente a **aviones de tráfico civil comercial** que operan bajo **reglas de vuelo por instrumentos (IFR)**, excluyéndose expresamente los **servicios de ambulancia y ferry**. Quedan fuera del alcance de HEAT-AÉREO, por tanto, la **aviación general** y el **tráfico con reglas de vuelo visual (VFR)**, los **helicópteros** y la **aviación militar**.

En relación con los servicios de pasajeros considerados en HEAT-AÉREO, se incluyen los siguientes tipos de operaciones:

Pasajeros

- Pasajeros regulares
- Pasajeros adicionales regulares
- Pasajeros chárter
- Chárter con handling especial
- Puente aéreo
- Aerotaxi

No se han incluido de forma directa los **servicios de posicionamiento** ni las **escalas técnicas**, al no poder ser clasificados de manera inequívoca como operaciones de pasajeros o de mercancías. No obstante, HEAT-AÉREO ofrece la posibilidad de **considerar su efecto mediante la mayoración de las operaciones introducidas por el usuario** (Véase el apartado 3.4.3.4).

Para los **años intermedios** (2030, 2040 y 2050), HEAT-AÉREO realiza una **interpolación lineal** a partir de los valores introducidos para el año de inicio y el año horizonte. En el caso de que alguno de estos años intermedios sea **anterior al año de inicio** o **posterior al año horizonte**, la herramienta no efectúa el cálculo correspondiente.

Vuelos de viajeros			
Nº operaciones		GCD (km)	Ámbito
Año inicio 2025	Año horizonte 2055		
		483	Nacional

Figura 78. Extracto tabla del número total de operaciones

A partir de los valores introducidos, HEAT-AÉREO calcula automáticamente los datos correspondientes a los años intermedios (2030, 2040 y 2050) mediante interpolación lineal. En el caso de que alguno de estos años intermedios sea anterior al año de inicio o posterior al año horizonte, el valor correspondiente no se calcula.

En este mismo bloque, HEAT-AÉREO propone la **distancia GCD** (en ingés, Great Circle Distance) asociada a la ruta espejo seleccionada, calculada mediante la **fórmula de Haversine**, que determina la distancia ortodrómica entre dos puntos de la superficie terrestre a partir de sus coordenadas de latitud y longitud. Este valor se muestra **sombreado en verde**, lo que indica que **puede ser modificado por el usuario** en caso de disponer de información más específica. Asimismo, se indica **sombreada en gris la región de vuelo**[14] correspondiente a la ruta (nacional, Unión Europea o resto internacional), tratándose de un dato **informativo no editable**.

El segundo grupo de datos corresponde al **cuadro de ocupaciones,** en el que se recogen los **valores de ocupación media** asociados a las operaciones de la ruta espejo seleccionada, diferenciados por año y que se utilizan para la obtención de los **resultados de consumo energético y emisiones por pasajero**.

[14] A efectos de HEAT-AÉREO, la región Nacional incluye todos los vuelos internos dentro del territorio español. La región Unión Europea (UE) comprende los vuelos con origen o destino en países de la UE-Schengen, UE-no Schengen y Europa no UE-Schengen. Por su parte, la región Resto internacional agrupa los vuelos correspondientes a Asia y Pacífico, América Latina y Caribe, América del Norte, África, Oriente Medio y Europa no UE-no Schengen.

Índice de ocupación medio en viajeros (pax/asientos)	
Año base 2022	78,0%
Año inicio 2025	78,0%
Año horizonte 2055	78,0%
Año 2030	78,0%
Año 2040	78,0%
Año 2050	78,0%

Figura 79. Tabla Índice de ocupación medio en viajeros

3.4.3.3 Pestaña AR_Actividad pasajeros

Una vez completada la introducción de los datos generales y de actividad, la herramienta habilita la pestaña **AR_Actividad pasajeros**. Esta pestaña recoge el perfil de actividad de la ruta de estudio, mostrando la **flota característica asociada a la ruta espejo seleccionada**, los **asientos ofertados en el año base** por las aeronaves que componen dicha flota y el **reparto de operaciones de cada aeronave**.

Perfil de actividad del tráfico de pasajeros								
Avión representativo	Año Base 2022	Año incio 2025		Año horizonte 2055		2030	2040	2050
	Asientos ofertados	%	Operaciones	%	Operaciones	Operaciones	Operaciones	Operaciones
Pasajeros	451.376	100%	60	1	100	67	81	94
738W	155736	33%	20	33%	33	22	27	31
A320	151516	34%	20	34%	34	23	27	32
A20N	113274	24%	15	24%	24	16	20	23
A321	1186	0%	0	0%	0	0	0	0
A319	29664	8%	5	8%	8	6	7	8

Figura 80. Extracto tabla del perfil de actividad del tráfico de pasajeros

Los **porcentajes de operaciones por aeronave** correspondientes al **año de inicio** y al **año horizonte** se basan en la flota característica de la ruta espejo en el año base y se muestran con **fondo verde claro**, lo que indica que **pueden ser modificados por el usuario**. De este modo, es posible adaptar tanto la **composición de la flota** como su **reparto de operaciones** a las características específicas del estudio. En caso de modificación, el usuario deberá asegurarse de que la **suma de los pesos de las aeronaves complete el 100 %**; en caso contrario, la herramienta mostrará un aviso indicando que el reparto no es coherente.

Los **datos correspondientes a los años intermedios 2030, 2040 y 2050** se obtienen mediante **interpolación lineal** a partir de los valores definidos para el año de inicio y el año horizonte y **no pueden ser modificados**.

El usuario tiene la posibilidad de **modificar la flota incorporando aeronaves no incluidas en la flota propuesta por defecto** mediante el botón **«Añadir aeronave»**. Al utilizar esta opción, se habilita una **nueva fila** en la que deberán introducirse los datos correspondientes a cada aeronave añadida.

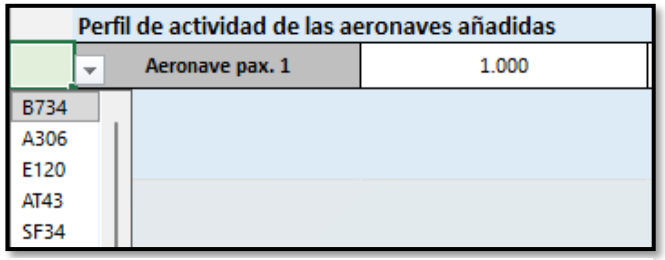


Figura 81. Botón "Añadir aeronave"

Si el usuario desea incorporar una **aeronave ya incluida en la base de datos de HEAT-AÉREO**, pero que no forma parte de la flota característica de la ruta espejo, podrá **seleccionarla desde la lista desplegable** que aparece al pulsar el botón «Añadir aeronave»,

ubicada en una **celda sombreada en verde** (véase Figura *80*). En este caso, deberá completarse la información de las **celdas blancas de la nueva fila**, relativa al **número de asientos ofertados** y el **porcentaje de operaciones** para el año de inicio y el año horizonte.

En el caso de que la aeronave a introducir **no esté incluida en la base de datos de HEAT-AÉREO**, el usuario deberá **dejar la celda verde sin seleccionar** y completar **todas las celdas blancas** de la nueva fila con la información correspondiente.

Cuando se añaden aeronaves adicionales, es necesario **completar toda la información asociada a las mismas**, no solo en esta pestaña, sino también en las **pestañas específicas que se generan automáticamente** para su correcta definición. Además de los datos solicitados aquí, deberán completarse, entre otros, los **factores de consumo de combustible y de emisiones** correspondientes a la **fase LTO** y a la **fase CCD** (véase Anejo 1.3: Glosario del Transporte Aéreo). En el caso de aeronaves que **ya están incluidas en HEAT-AÉREO**, pero que no aparecen en la flota característica de la ruta espejo, estos datos se **completan automáticamente** por la herramienta.

La **denominación de las aeronaves** utilizada en HEAT-AÉREO sigue las directrices del documento de la **OACI sobre designadores de tipos de aeronaves (2009)**, empleado también por la **Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA)** en sus guías de cálculo de emisiones.

HEAT-AÉREO agrupa determinadas aeronaves con **características técnicas y comportamientos de consumo y emisión similares**. Por este motivo, la denominación mostrada en la **primera columna** de la Tabla 5 incluye también las operaciones de las aeronaves indicadas en la segunda, al considerarse equivalentes a efectos del cálculo. Este criterio se aplica a los siguientes grupos:

Tabla 5. Aeronaves consideradas en Heat-Aéreo

Denominación HEAT-Aéreo	Incluye
733W	733W, B733
735W	735W, B735
737W	737W, B737
738W	738W, B738
752W	752W, B752
763W	763W, B763
A320	A320, A32A
A321	A321, A32B

Asimismo, HEAT-AÉREO incluye dentro de los **servicios de pasajeros** las operaciones identificadas como **aerotaxis**, que representan aproximadamente el **4 % de las operaciones nacionales en el año 2022**. Dada la elevada diversidad de aeronaves empleadas en este tipo de servicios y sus características similares en términos de tamaño y consumo, estas aeronaves se agrupan en **cuatro categorías** (véase Tabla 6), de forma que las aeronaves incluidas en cada una de ellas presentan **consumos y factores de emisión similares** en las fases LTO y CCD. Esta agrupación permite representar adecuadamente el comportamiento energético y ambiental de los servicios de aerotaxi, manteniendo la **coherencia y trazabilidad de los resultados**.

Tabla 6. Categorías de aerotaxi

Aerotaxi Cat. 1	Aerotaxi Cat. 2	Aerotaxi Cat. 3	Aerotaxi Cat.4
GLEX	C68A	C56X	C510
GLF6	E35L	E55P	PC12
GLF5	CL60	C25A	E50P
GL5T	C680	C25B	
FA7X	E550	C525	
	GALX	PC24	
	CL35	BE40	
	F2TH	C25C	
		H25B	
		C550	
		C650	
		C25M	
		C560	
		F900	
		LJ45	

En todos los casos, cuando el usuario incorpora nuevas aeronaves, deberá **indicar su porcentaje de peso respecto al conjunto de la flota**, asegurando la coherencia del reparto total de operaciones.

3.4.3.4 Pestaña AR_Datos de ruta

La pestaña **AR_Datos de ruta** recoge la información necesaria para caracterizar determinados **parámetros operativos asociados a la ruta de estudio**, que resultan esenciales para el cálculo de los **consumos energéticos y las emisiones** de la actividad aérea analizada. En este apartado, el usuario debe **comprobar la coherencia de los valores propuestos por la herramienta y, en su caso, ajustarlos** cuando disponga de información más específica o desee introducir supuestos alternativos.

En esta pestaña se deben validar **cuatro bloques de datos**.

El **primer bloque** corresponde a la **tabla de tiempos empleados en cada una de las fases del ciclo LTO**, expresados en **segundos** (véase el Anejo 1.3: Glosario del Transporte Aéreo para una mejor comprensión de estas fases). Se recogen de forma diferenciada los **tiempos LTO de los dos aeropuertos que componen la ruta**, identificados como **Aeropuerto 1** y **Aeropuerto 2**, indicándose en cada caso la denominación del aeropuerto correspondiente.

Los **tiempos LTO del año base** se muestran **sombreados en gris**, al tratarse de valores de referencia **no editables** que sirven de base para el resto de los años analizados. A continuación, se presentan los **tiempos LTO para el año de inicio y el año horizonte**, identificados con **fondo verde oscuro**. Estos valores, propuestos por defecto por HEAT-AÉREO y tomados directamente del año base, **pueden ser modificados por el usuario** cuando disponga de información más precisa o actualizada, o cuando desee considerar **mejoras operativas** en alguno de los aeropuertos de la ruta que impliquen una reducción de los tiempos LTO.

Los **tiempos LTO correspondientes a los años intermedios** (2030, 2040 y 2050) se obtienen mediante **interpolación lineal** entre los valores definidos para el año de inicio y el año horizonte. Estos valores aparecen **sombreados en gris**, al tratarse de **datos calculados automáticamente y no modificables**.

Los **datos de tiempos de la fase LTO** utilizados en HEAT-AÉREO proceden del **Anexo X «LTO emissions calculator – 2023 v1.1» de la**

Guía EMEP/EEA 2023. Debe tenerse en cuenta que los tiempos propuestos representan **valores medios** y que, especialmente en el caso de aeropuertos con un menor volumen de operaciones, la información disponible puede ser **menos precisa** que en aeropuertos con mayor nivel de actividad.

En esta misma tabla se indican, bajo cada una de las fases del ciclo LTO, los **factores de potencia de los motores**, expresados en **porcentaje** y coherentes con los considerados en la **Guía EMEP/EEA 2023**. Los valores empleados son:

- Taxi out: 7 %
- Take-off: 100 %
- Climb out: 85 %
- Final approach + landing: 30 %
- Taxi in: 7 %

Estos factores de potencia influyen directamente en la **obtención de los factores de consumo de combustible y de emisiones en la fase LTO**, que dependen de la **duración de cada fase**, el **número de motores** y la **potencia aplicada** en cada una de ellas. Los porcentajes de potencia se incluyen con **carácter informativo** y **no son modificables por el usuario**.

El **segundo bloque** recoge el **coeficiente de mayoración por posicionamiento de aeronaves y escalas técnicas**. Este tipo de operaciones no se incluye de forma directa en el perfil de actividad de la herramienta, al no poder clasificarse de manera inequívoca como transporte de pasajeros o de mercancías. No obstante, HEAT-AÉREO permite **considerar su efecto de forma indirecta** mediante la aplicación de un **coeficiente de mayoración** sobre las operaciones consideradas en el estudio.

El **valor de referencia propuesto**, fijado en el 1,6 %, se ha obtenido a partir de la explotación de la base de datos «Consulta Emisiones_MITMA_2022» para el conjunto del Sistema Aeroportuario de Interés General, proporcionada por la Dirección General de Aviación Civil. Este valor se muestra **sombreado en verde oscuro**, al tratarse de un **valor recomendado**, y solo debe ser modificado cuando el usuario disponga de **información específica** para la ruta analizada. El coeficiente se **mantiene constante durante todo el periodo de estudio**.
El **tercer bloque** permite introducir una **corrección de la distancia correspondiente a la fase CCD**.

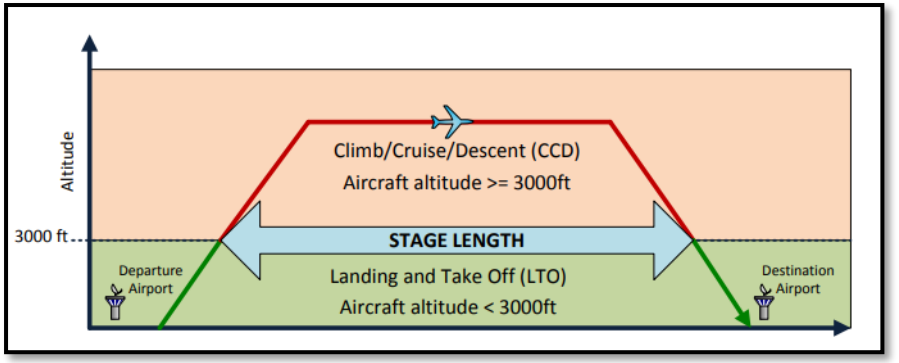


Figura 82. Fase CCD Stage Length

En este apartado, el usuario puede **aceptar los valores propuestos por defecto o modificarlos**, para una o varias regiones de vuelo, cuando disponga de información más específica.
Para el cálculo de los **consumos de combustible y emisiones durante la fase CCD**, HEAT-AÉREO utiliza los factores definidos en el

Anexo 1 «Master emissions calculator – 2023» de la Guía EMEP/EEA 2023, expresados en función de la **CCD stage length**, entendida como la distancia recorrida a una altitud de **3.000 pies** entre el final de un ciclo LTO y el inicio del siguiente, tal y como se ilustra en la Figura 83.

Para obtener la **CCD stage length**, la herramienta emplea la siguiente fórmula, partiendo de la **distancia ortodrómica** o **GCD** (Great Circle Distance), establecida en la pestaña AR_Operaciones:

$$\text{CCD stage length (km)} = (\text{GCD (km)} - D_{\text{LTO despegue (km)}} - D_{\text{LTO aterrizaje (km)}}) \times \left(\frac{\text{CCD}}{\text{GCD}}\right)$$

En la **tabla de corrección de la distancia CCD** se proponen valores de referencia para la **proyección horizontal del recorrido LTO en el despegue ($D_{\text{LTO despegue}}$)** y en el **aterrizaje ($D_{\text{LTO aterrizaje}}$)**, que pueden diferir según la región de vuelo. De forma orientativa, $D_{\text{LTO despegue}}$ suele situarse entre **3 y 11 km**, mientras que $D_{\text{LTO aterrizaje}}$ suele variar entre **10 y 26 km**.

Adicionalmente, la tabla incluye **factores de mayoración CCD/GCD**, diferenciados por región de vuelo y por año (año base, 2030, 2040 y 2050), con el fin de reflejar que la **distancia real de vuelo entre dos aeropuertos** no suele coincidir exactamente con la distancia ortodrómica, sino que generalmente es **mayor**. Estas diferencias se deben, entre otros factores, a la optimización de rutas por **condiciones meteorológicas** (vientos, tormentas), a la **evitación de determinadas áreas** o a la existencia de **esperas para la asignación de pista**.

HEAT-AÉREO proporciona **valores por defecto** para el **cociente CCD/GCD de 1,08** para todas las tipologías de vuelo (nacional, UE y resto internacional) y para los **años de referencia** definidos en la herramienta (año base, 2030, 2040 y 2050), cuyos valores pueden ser modificados por el usuario. A partir de estos años de referencia, la herramienta calcula automáticamente los valores correspondientes al **año de inicio** y al **año horizonte** mediante **interpolación o extrapolación lineal**.

El **último bloque** está dedicado a la **revisión del Índice de Forzamiento Radiativo (IFR)**. Se propone un **valor de referencia**, que el usuario puede aceptar o modificar en función de los supuestos considerados en el análisis.

De acuerdo con el **Informe especial del IPCC «La aviación y la atmósfera global»**, las aeronaves emiten gases y partículas directamente en la **troposfera superior** y en la **estratosfera inferior**, donde estas emisiones tienen un **impacto adicional sobre la composición de la atmósfera**. Esta mayor afectación relativa de las emisiones de la aviación se recoge mediante el **Índice de Forzamiento Radiativo (IFR)**.

HEAT-AÉREO permite considerar este efecto mediante la aplicación de un **coeficiente de mayoración** sobre las **emisiones de GEI en el tramo TtW** correspondientes a la **fase CCD**. Por coherencia con el citado informe del IPCC, la herramienta **sólo aplica este ajuste a los vuelos cuya distancia media (D_{media}) supera los 450 km**, al considerarse que, a partir de dicha distancia, las aeronaves alcanzan **altitudes superiores a 9 km**, en las que este fenómeno resulta relevante.

3.4.3.5 *Pestaña AR_Factores LTO*

La pestaña **AR_Factores LTO** se habilita **únicamente cuando el usuario ha añadido aeronaves adicionales** a las propuestas por defecto por HEAT-AÉREO en las pestañas de actividad. Esta pestaña permite completar la información necesaria para el **cálculo de consumos de combustible y emisiones durante la fase LTO** de dichas aeronaves.

PASAJEROS Aeronaves añadidas		Consumo de combustible (kg/s/motor)			
OACI	Nº Motores	7%	30%	85%	100%
Aeronave pax. 1	2	0,113	0,338	0,999	1221,000

Figura 83. Extracto tabla para el cálculo de consumos de combustible y emisiones durante la fase LTO

En primer lugar, el usuario deberá **indicar el número de motores** correspondiente a cada una de las aeronaves añadidas.

A continuación, deberán introducirse los **factores de consumo de combustible y de emisiones**, que se expresan en **kg/s por motor**. Estos factores deberán diferenciarse para **cada nivel de potencia del motor**, definido como porcentaje respecto de la **potencia máxima**, y que en HEAT-AÉREO corresponden a los valores **7%, 30%, 85% y 100%**.

En el caso de aeronaves que **ya están incluidas en HEAT-AÉREO** pero que no aparecen en la flota característica del aeropuerto espejo, HEAT **completará estos datos de forma automática**.

3.4.3.6 *Pestañas AR_Factores LTO despegue y AR_Factores LTO aterrizaje*

Las pestañas **AR_Factores LTO despegue** y **AR_Factores LTO aterrizaje** muestran los **consumos de combustible y las emisiones** correspondientes a las fases de despegue y aterrizaje, respectivamente.

En estas pestañas se presentan los valores calculados para **cada aeronave**, diferenciados por **año de inicio**, **año horizonte** y **años intermedios** (2030, 2040 y 2050). Los consumos y emisiones reflejados **ya incorporan el efecto del número de motores de cada aeronave**, así como los **tiempos asociados a cada una de las subfases del ciclo LTO** correspondientes al **despegue** y al **aterrizaje de ambos aeropuertos**.

Los valores de **consumo y emisiones** se muestran **sombreados en gris**, lo que indica que se trata de **resultados calculados automáticamente por la herramienta** y que **no son editables por el usuario**. En consecuencia, estas pestañas tienen un **carácter informativo**, permitiendo al usuario **consultar los resultados obtenidos** y continuar con el proceso de configuración y análisis en las pestañas posteriores.

3.4.3.7 *Pestañas AR_Factores (EC/NO_x/HC/$PM_{2,5}$/CO2) CCD*

Las pestañas **AR_Factores (EC/NOX/HC/PM2,5/CO_2) CCD** recogen el **consumo de combustible y emisiones correspondientes a la fase CCD**, cuyo valor **depende de manera no lineal de la distancia CCD stage length**, expresada en **millas náuticas**. Existe **una pestaña específica para cada contaminante** (NOx, HC, PM2,5 y CO_2) **y para el consumo de combustible** (EC).

Estas pestañas se **habilitan únicamente cuando el usuario ha añadido aeronaves adicionales** a las incluidas en la **flota característica del aeropuerto**.

En estas pestañas, el usuario deberá **completar la información correspondiente a las aeronaves añadidas que no estén incluidas en la base de datos de HEAT-AÉREO**. En el caso de aeronaves que **sí están incluidas en HEAT-AÉREO**, pero que no aparecen en la flota característica del aeropuerto espejo, la herramienta **completa automáticamente estos valores**, por lo que no será necesaria la introducción manual de datos.

3.4.3.8 Pestaña AR_ Factores CCD

La pestaña **AR_Factores CCD** presenta el **consumo de combustible (EC)** y las **emisiones de NOx, HC, PM2,5 y CO_2** correspondientes a la **fase CCD**, **por operación y para cada aeronave**.

Los valores mostrados en esta pestaña se obtienen a partir de los **factores de consumo y emisión definidos en las pestañas anteriores**, aplicados sobre la **distancia media corregida**. De este modo, los resultados reflejan el comportamiento real de las aeronaves en la fase CCD, teniendo en cuenta las particularidades de su perfil de vuelo y la corrección de distancia incorporada en el modelo.

Los valores de **consumo y emisiones** se muestran **sombreados en gris**, lo que indica que se trata de **resultados calculados automáticamente por la herramienta** y que **no son editables por el usuario**. En consecuencia, estas pestañas tienen un **carácter informativo**, permitiendo al usuario **consultar los resultados obtenidos** y continuar con el proceso de configuración y análisis en las pestañas posteriores.

3.4.3.9 Pestaña Combustibles TtW&WtT

La pestaña **Combustibles TtW&WtT** presenta al usuario las **propiedades de los distintos tipos de combustibles considerados en HEAT-AÉREO**, junto con los **factores de emisión asociados a las etapas WtT y TtW**.

Los **combustibles considerados en HEAT-AÉREO** son los siguientes:

- Queroseno de aviación.
- Biocarburante HEFA a partir de aceite de palma.
- Biocarburante HEFA a partir de aceite de cocina usado.
- Biocarburante avanzado a partir de material celulósico.
- Carburante sintético renovable.

Aunque la tabla incorpora **filas específicas** para el **biocarburante avanzado a partir de material celulósico** y para el **carburante sintético renovable**, estas **no están operativas en la herramienta**, debido a la **falta de información suficientemente contrastada** sobre las propiedades y factores de emisión de ambos tipos de combustible.

Todos los valores mostrados en esta pestaña aparecen **sombreados en gris**, lo que indica que se trata de **valores no editables por el usuario** y que tienen un **carácter exclusivamente informativo**.

3.4.3.10 Pestaña Biocombustibles

En la pestaña **Biocombustibles**, el usuario puede **analizar y, en su caso, ajustar** los valores propuestos por la herramienta relativos a

la **penetración de combustibles de aviación sostenibles (CAS)** en el mix de combustible utilizado.

Porcentaje de uso de biocombustibles	Año base 2022		Año inicio		Año horizonte	
	Nacional / UE	Resto internacional	Nacional / UE	Resto internacional	Nacional / UE	Resto internacional
Biocarburante / Biocarburante avanzado	2%	1,8%	3,5%	3,2%	0,7%	0,6%
Del cual HEFA - aceite de palma	100%	100%	62,5%	64,5%	0,0%	99,3%
Del cual HEFA - aceite de cocina usado	0%	0%	0,0%	2,0%	88,8%	0,0%
TOTAL	100%	100%	63%	67%	89%	99%

Figura 84. ***Extracto de la tabla de porcentajes de uso de los biocombustibles***

En la primera fila de la tabla, HEAT-AÉREO propone el **porcentaje total de CAS (en volumen)** para el **año base** y para los **años 2030, 2040 y 2050**. A partir de estos valores, los **porcentajes correspondientes al año de inicio y al año horizonte del análisis** se calculan de forma **automática mediante interpolación lineal**, sin intervención del usuario.

El **porcentaje total de CAS** puede diferenciarse en función de la **región de vuelo**, distinguiéndose entre las regiones **Nacional y Unión Europea** —para las que se aplica el mismo valor— y la región de **Resto internacional**.

En la **segunda y tercera filas de la tabla** se recoge el **reparto del porcentaje total de CAS** por tipo de biocarburante, también diferenciado por **año y región de vuelo**, según se trate de un **biocarburante HEFA obtenido a partir de aceite de palma** o de un **biocarburante HEFA obtenido a partir de aceite de cocina usado**. En todos los casos, la **suma de ambos porcentajes debe ser igual al 100 %**, garantizando la coherencia del reparto del total de CAS definido.

Para una descripción más detallada de los biocombustibles considerados en el transporte aéreo y de las hipótesis adoptadas para el cálculo de consumos y emisiones, se remite al Anejo 5, apartado 5.3.3 del presente manual.

3.4.3.11 Pestaña Potencial de calentamiento GEI

En esta pestaña, HEAT-AÉREO solicita al usuario que revise y confirme los **valores de los potenciales de calentamiento global (PC)**, en los términos descritos en el apartado 1.2.1, que se emplean para el **cálculo del factor de emisión de dióxido de carbono equivalente (CO_2 eq)**.

El cálculo del factor de emisión de CO_2 equivalente se realiza a partir de los factores de emisión individuales de **CO_2, CH_4 y N_2O**, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Fe\ CO_2\ eq = Fe\ CO_2 \times PC\ CO_2 + Fe\ CH_4 \times PC\ CH_4 + Fe\ N_2O \times PC\ N_2O$$

La herramienta HEAT evalúa las emisiones de **CO_2, CH_4 y N_2O,** ponderándolas mediante los **potenciales de calentamiento global (GWP)** a 100 años establecidos en el 6º Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2021), que asigna valores de **29,8 para el metano (CH_4)** y **273 para el óxido nitroso (N_2O)** en relación con el CO_2. No obstante, estos valores pueden ser **actualizados por el usuario** en caso de que se desee aplicar otros factores de referencia, manteniendo en todo caso la coherencia metodológica del cálculo.

Por defecto, **HEAT calcula las emisiones en términos de CO_2 equivalente**. Sin embargo, si para un determinado estudio se

desea obtener **exclusivamente las emisiones de CO_2**, será suficiente con **asignar el valor 0 a los potenciales de calentamiento global del CH_4 y del N_2O** en esta pestaña. De este modo, el cálculo excluirá la contribución de estos gases.

En este caso, debe tenerse en cuenta que, al consultar la pestaña de Resultados, el valor mostrado como **CO_2 equivalente corresponderá en realidad únicamente a las emisiones de CO_2**.

3.4.3.12 Pestaña Mejoras

La pestaña **Mejoras** permite al usuario **realizar proyecciones a futuro** incorporando el efecto de **posibles mejoras tecnológicas y operacionales** en el sector de la aviación. En este apartado se recogen los porcentajes de reducción (o, en su caso, de aumento) aplicables, con respecto al año base, a los siguientes parámetros:

- **Reducción anual del consumo de energía y de las emisiones** derivada de las **mejoras tecnológicas en las aeronaves** y de la **renovación de la flota**.
- **Reducción anual del consumo de energía** asociada a **mejoras en los sistemas de gestión en tierra**, como, por ejemplo, la disminución del consumo y de las emisiones procedentes del uso de **APU**. Estas mejoras **no incluyen** las reducciones de los **tiempos LTO** de cada aeropuerto, que pueden considerarse de forma específica en la pestaña de **datos del aeropuerto**.
- **Reducción anual del consumo de energía** derivada de **mejoras en la gestión del tráfico aéreo**.
- **Reducción del contenido de azufre** en el **queroseno de aviación**.

HEAT-AÉREO propone **valores por defecto** para los **años 2030, 2040 y 2050**, que **pueden ser modificados por el usuario**. A partir de estos valores, los **porcentajes de mejora correspondientes al año de inicio y al año horizonte** se calculan de forma **automática mediante interpolación lineal**, sin posibilidad de modificación directa por parte del usuario.

Los **valores por defecto** incorporados en la herramienta se han obtenido del documento **«Long-Term Aspirational Goal (LTAG). ICAO – Report on the feasibility of a long-term aspirational goal for international civil aviation CO_2 emission reductions (2022). Technology perspective (Scenario ATW – Advanced Tube and Wing)»**, garantizando la coherencia de los supuestos empleados con los escenarios tecnológicos de referencia a largo plazo en la aviación civil internacional.

3.4.3.13 Pestaña AR_Factores LTO despegue evo., Pestaña AR_Factores LTO aterrizaje evo. y Pestaña AR_Factores CCD evolución

Las pestañas **AR_Factores LTO despegue evo.**, **AR_Factores LTO aterrizaje evo.** y **AR_Factores CCD evolución** muestran los **consumos de combustible y las emisiones resultantes** una vez **aplicados los efectos de las mejoras tecnológicas y operacionales** definidas en la pestaña Mejoras.

Los datos mostrados tienen **carácter informativo** y **no son editables por el usuario**, ya que se obtienen de forma automática a partir de los factores base y de los porcentajes de mejora

definidos previamente, garantizando la coherencia metodológica de los resultados finales del análisis.

3.4.3.14 Pestaña AR_Resultados

Una vez definidos todos los parámetros del estudio, **HEAT-AÉREO procede al procesamiento de los resultados**. Durante esta fase de cálculo, la herramienta muestra en pantalla la Figura 86, que informa al usuario de que el proceso de generación de resultados se encuentra en curso.



Figura 85. Proceso de generación de resultados en curso

Finalizado dicho proceso, se accede a la pestaña **Resultados**, que constituye la **hoja final de HEAT-AÉREO** y presenta los **resultados globales de consumo de energía y emisiones a la atmósfera** correspondientes al escenario definido por el usuario.

La primera sección de esta pestaña muestra una **tabla de resultados globales** que recoge la **energía total consumida y las emisiones totales** asociadas al transporte aéreo considerado en el estudio (Figura 87**Figura 86**).

Los resultados se presentan organizados en dos bloques de columnas, en función del tipo de indicador mostrado:

- **Totales absolutos**, correspondientes al conjunto del sistema de transporte analizado.
- **Resultados normalizados por aeronave y por pasajero**.

Para cada uno de estos bloques, los resultados se desglosan temporalmente en las siguientes columnas:

- El **año de inicio** del análisis.
- El **año horizonte**.
- Los **años intermedios de referencia: 2030, 2040 y 2050**.
- El **conjunto del periodo de estudio,** que integra el total acumulado del horizonte analizado.

Energía total consumida y emisiones totales a la atmósfera Visor global				Total (GJ o t)						Total (GJ/aeronave o kg/aeronave) Total (MJ/pasajero o g/pasajero)					
				Año inicio 2025	Año horizonte 2055	2030	2040	2050	Periodo de estudio	Año inicio 2025	Año horizonte 2055	2030	2040	2050	Periodo de estudio promedio
Emisión(es)	Energía		TtW	1.442.120,7	3.663.748,8	1.828.645,1	2.576.642,0	3.299.417,9	68.871.378,6	477,7 1.392,5	483,6 1.415,1	483,4 1.412,6	486,3 1.421,8	484,1 1.416,0	484,1 1.415,0
			WtT	1.588.950,5	4.264.697,5	1.913.024,8	1.364.111,6	3.840.642,7	61.806.117,1	526,3 1.534,3	562,9 1.647,2	505,7 1.477,8	257,4 752,7	563,5 1.648,3	443,9 1.297,6
			WtW	3.031.071,2	7.928.446,4	3.741.669,9	3.940.753,6	7.140.060,6	130.128.582,4	1.004,0 2.926,9	1.046,5 3.062,4	989,1 2.890,4	743,7 2.174,4	1.047,6 3.064,3	927,9 2.712,6
	CO_{2eq}	CO_{2eq}	TtW	102.884,3	268.552,1	127.264,2	129.277,3	241.846,8	4.371.904,5	34.080,0 99.347,5	35.447,8 103.728,1	33.641,7 98.311,5	24.396,8 71.333,3	35.482,5 103.792,5	31.207,3 91.226,7
		$CO_{2eq\ (inc\ out\ of\ scope)}$	TtW	105.026,5	270.100,2	127.264,6	129.308,5	243.416,1	4.390.481,1	34.789,6 101.416,0	35.652,2 104.326,0	33.641,8 98.311,8	24.402,7 71.350,5	35.712,7 104.465,9	31.343,0 91.623,1
		CO_{2eq}	WtT	21.075,3	56.413,9	25.303,5	18.043,1	50.805,1	817.797,8	6.981,1 20.350,8	7.446,4 21.789,8	6.688,9 19.547,0	3.405,0 9.955,9	7.453,9 21.803,8	5.873,0 17.168,0
		$CO_{2eq\ (crédito\ biogénico)}$	WtT	189,2	20,1	0,0	0,0	21,0	1.156,6	62,7 182,7	2,7 7,8	0,0 0,0	0,0 0,0	3,1 9,0	6,2 18,1
		CO_{2eq}	WtW	123.960,9	324.967,0	152.568,1	147.351,6	292.652,8	5.187.985,9	41.061,6 119.699,6	42.894,4 125.518,3	40.330,6 117.858,7	27.807,7 81.306,4	42.936,5 125.596,7	37.082,3 108.400,8
	SO_2		TtW	55,4	142,5	67,4	90,3	128,3	2.539,7	18,4 53,5	18,8 55,0	17,8 52,1	17,0 49,8	18,8 55,1	17,9 52,4
	NO_x		TtW	507,9	1.300,7	615,1	819,6	1.171,6	23.141,0	168,2 490,4	171,7 502,4	162,6 475,1	154,7 452,3	171,9 502,8	163,5 478,0
	$PM_{2,5}$		TtW	6,5	17,0	6,7	8,3	15,3	264,1	2,2 6,3	2,2 6,6	1,8 5,2	1,6 4,6	2,2 6,6	1,9 5,5
	COVNM		TtW	6,1	15,3	7,2	10,1	13,7	276,7	2,0 5,9	2,0 5,9	1,9 5,5	1,9 5,6	2,0 5,9	2,0 5,7
Operación(es)	FASE(s) {Subfase} {Región}			LTO {Despegue, Aterrizaje}, CCD {Nacional, UE, Resto internacional}											
Aeronave(s)	SERVICIO(s)			Pasajeros, Mercancías											

Figura 86. Detalle de la tabla de resultados

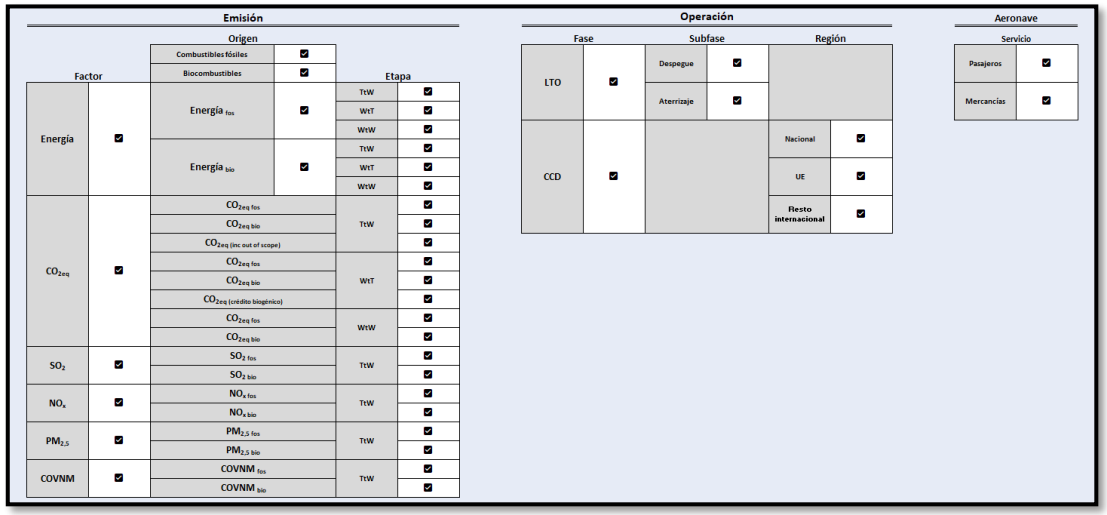


Figura 87. Detalle de los filtros disponibles

Asimismo, la tabla se organiza en distintos bloques de filas, que agrupan la información por tipo de magnitud:

- **Energía:** consumo energético total del transporte aéreo considerado en el estudio **diferenciado por fase**, distinguiéndose los resultados **WtT, TtW y WtW**.

- **Emisiones de gases de efecto invernadero**, con el siguiente nivel de desagregación:

    - CO_{2eq} (TtW): Emisiones de CO_2 equivalente asociadas **exclusivamente a la fase de uso del avión**, derivadas de la combustión del combustible. Este indicador **no incluye** las emisiones directas de CO_2 de los biocombustibles, al ser compensadas por el origen renovable del carbono.
    - $CO_{2eq\ (inc\ out\ of\ scope)}$ (TtW): emisiones directas de CO_2 generadas durante la combustión, tanto para los combustibles fósiles como para los de origen no fósil. Este valor se obtiene como la **suma de**:
        - $CO_{2eq\ (crédito\ biogénico)}$ (WtT), y
        - CO_{2eq} (TtW)
    - CO_2eq (WtT): Emisiones de CO_2 equivalente asociadas a las **etapas previas al uso del avión**, correspondientes a la producción, transformación y suministro del combustible o de la energía hasta su llegada al vehículo, excluyendo la fase de combustión.
    - $CO_{2eq\ (crédito\ biogénico)}$ (WtT): cantidad de CO_2 fijado durante el **crecimiento de la fracción biodegradable** de los productos, residuos y desechos de origen vegetal utilizados en la producción de biocombustibles. Este valor se expresa como un crédito que compensa las emisiones directas de CO_2 en la fase de combustión.
    - CO_{2eq} (WtW): Emisiones totales de CO_2 equivalente del **ciclo completo**, que integran todas las fases desde la producción de la energía hasta su uso final en el avión. Este indicador se obtiene como la **suma de**:
        - CO_2eq (WtT), y
        - CO_2eq (TtW).

- **Contaminantes atmosféricos**, correspondientes a emisiones en fase de uso (TtW) de:
    - Dióxido de azufre (SO_2).
    - Óxidos de nitrógeno (NO_x).
    - Partículas finas ($PM_{2,5}$).
    - Compuestos orgánicos volátiles no metánicos (COVNM).

En la **siguiente sección** de la pestaña "Resultados", tal y como puede observarse en la Figura *87* el usuario dispone de un conjunto de **opciones de filtrado** que permiten personalizar el contenido de los resultados mostrados.

En primer lugar, el usuario puede **seleccionar uno o varios factores a visualizar**, pudiendo elegir entre:

- **Energía**, en sus distintos desgloses.
- **Gases de efecto invernadero**, incluyendo los diferentes componentes de CO_2 equivalente.
- **Contaminantes atmosféricos**, con su correspondiente desagregación.

Asimismo, es posible **seleccionar una o varias fases y subfases** —correspondientes al **ciclo LTO** (despegue y aterrizaje) o a la **fase CCD**— y **delimitar el análisis por regiones de vuelo**, diferenciando entre:

- Nacional
- UE
- Resto internacional

La herramienta permite también filtrar los resultados en función del **tipo de servicio**, pudiendo seleccionar:

- **Viajeros** y/o
- **Mercancías**.

Para que se generen las tablas de resultados filtradas, el usuario debe, **una vez seleccionados los criterios de filtrado**, pinchar en el botón **Generar tabla**, situado en el **encabezado de la pestaña Resultados** (véase Figura *88*). Al hacerlo, la herramienta crea una nueva tabla que refleja exactamente las opciones seleccionadas. **Este proceso puede repetirse tantas veces como se desee**, permitiendo generar múltiples tablas con distintos criterios de selección.

Si el usuario desea **eliminar alguna de las tablas generadas**, deberá marcar el **cuadro situado a la izquierda de la tabla** correspondiente y, a continuación, pinchar en el botón **Eliminar tablas**, también ubicado en el encabezado de la pestaña (véase Figura *88*).



Figura 88. Localización de botones "Generar/Eliminar tablas"

*Asimismo, en caso de que el usuario desee **descargar las tablas generadas**, deberá marcar el **cuadro situado a la izquierda de cada tabla** que quiera exportar y pinchar en el botón **Exportar tablas** (véase Figura 88). Tras esta acción, la herramienta mostrará el mensaje indicado en la Figura 89, informando de que el archivo se ha descargado correctamente en la **carpeta de descargas** del equipo. El fichero generado se guarda con el nombre **HEAT_AÉREO_Resultados_Ruta_TablaFiltrada**.*

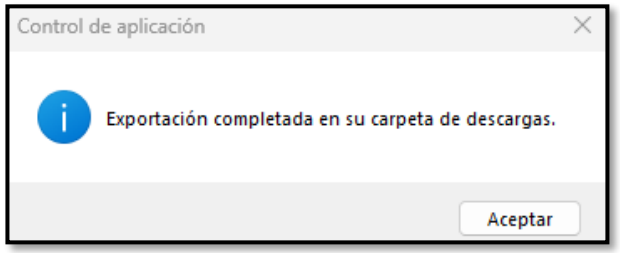


Figura 89. Mensaje de aviso de la correcta descarga del archivo

De forma análoga, el usuario dispone del botón **Imprimir**, que permite **exportar la información seleccionada a un documento en formato PDF**. Para ello, deberá marcar previamente el cuadro situado a la izquierda de cada tabla que desee incluir en el documento y, a continuación, pulsar el botón **Imprimir** (véase Figura 91). La herramienta genera automáticamente el archivo PDF correspondiente en la carpeta de descargas del equipo del

usuario, guardándolo con el nombre **HEAT_AÉREO_Resultados_Ruta**. Tras la descarga, se muestra un **mensaje de aviso en pantalla** (véase *Figura 92*) en el que se informa de la correcta generación del archivo.



Figura 90. Botón "Imprimir"

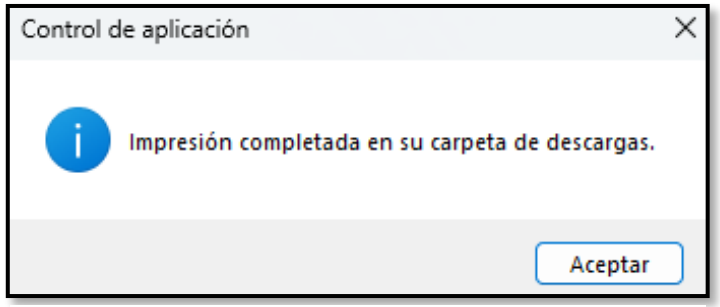


Figura 91. Mensaje de aviso de la correcta generación del archivo

La **última sección** de la pestaña **Resultados** corresponde a las **tablas dinámicas preestablecidas**, que permiten al usuario obtener de forma rápida vistas agregadas de los resultados sin necesidad de definir filtros manuales.

En esta sección se ofrece la posibilidad de generar **tres tipos de tablas dinámicas**. Para ello, en la **columna Q del encabezado de esta pestaña** (véase Figura *92*) se dispone de una **lista desplegable** en la que puede elegirse entre las siguientes opciones:

- **Aeronave.**
- **Factor**.
- **Operación**.

Una vez seleccionada la opción deseada en la lista desplegable, se debe pinchar en el botón **Tabla dinámica**, situado a la izquierda de dicha lista. La herramienta generará automáticamente la tabla dinámica correspondiente, con los resultados agregados según el criterio seleccionado.

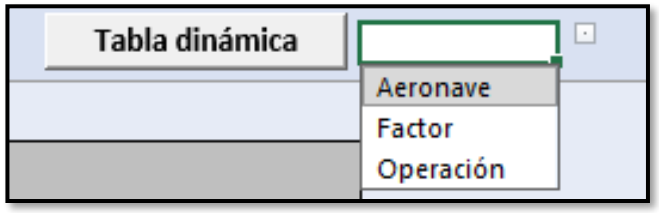


Figura 92. Lista desplegable del Botón "Tabla dinámica"

Por último, en caso de que las tablas de resultados globales, las tablas filtradas y las tablas dinámicas preestablecidas **no resulten suficientes para el análisis requerido**, la pestaña **Resultados** ofrece la opción de **descargar todos los datos** generados por HEAT-AÉREO. Para ello, se debe pinchar en el botón **Descarga de microdatos**, situado en la parte derecha del encabezado de la pestaña. Tras esta acción, aparecerá el mensaje indicado en la Figura *93* y se descargará en la **carpeta de descargas** del equipo el archivo denominado **HEAT_AÉREO_Resultados_Ruta_Datos_origen**, que contiene el conjunto completo de datos utilizados para la generación de los resultados.

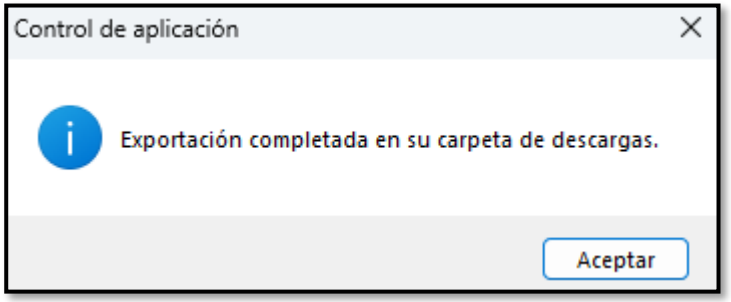


Figura 93. Mensaje de aviso de la correcta descarga del archivo

3.5 HEAT - Transporte marítimo

3.5.1 Pestaña Información general

Una vez definidos el **nombre del estudio**, así como los **años de inicio** y **horizonte** del análisis (véase apartado 3.1.3), el usuario deberá avanzar a la siguiente pestaña.

3.5.2 Pestaña Datos generales

En la pestaña **Datos generales**, el usuario debe seleccionar el **puerto espejo** que se tomará como referencia para la realización del estudio.



PUERTO ESPEJO: PUERTO DE INTERÉS GENERAL DE REFERENCIA A PARTIR DEL CUAL LA HERRAMIENTA HEAT-MARÍTIMO APLICA UNA CARACTERIZACIÓN AUTOMÁTICA, TANTO DE LA FLOTA QUE OPERA EN EL PUERTO OBJETO DE ESTUDIO COMO DE LOS PARÁMETROS OPERATIVOS

La herramienta ofrece **dos opciones principales** para la selección del puerto espejo:

- **Un puerto de interés general específico**, cuando el análisis se centra en un puerto concreto de titularidad estatal.
- **La opción "Sistema portuario de interés general"**, orientada a estudios cuyo ámbito geográfico abarca el conjunto de los puertos de titularidad estatal, sin particularizar ninguno en específico. En este caso, los datos y las características de la flota se determinan como **valores medios representativos del sistema portuario de interés general en su conjunto**.

Al seleccionar el puerto espejo, HEAT-MARÍTIMO aplica la caracterización automática de la flota mercante y de los parámetros operativos necesarios para el cálculo de consumos y emisiones, incluyendo los siguientes aspectos:

- **Tipo y tamaño de los buques** que operan en el puerto (flota característica).
- **Distancias de navegación**, tanto en trayectos de cabotaje como en trayectos exteriores (internacionales).
- **Tiempos** de **atraque**, **maniobra** y **fondeo**.
- **Velocidades de servicio** de los distintos tipos de buques durante la fase de navegación.
- **Potencia instalada** de los motores principales de la flota, desglosada por tipo de motor y categoría de buque.
- **Tipos de motores y combustibles** utilizados.
- **Año de construcción de los buques**, utilizado para calcular las emisiones de ciertos contaminantes

A continuación, se indica que el **dato de actividad** debe introducirse en **"escalas" portuarias**, entendidas como el número de buques que atracan en el puerto durante el periodo de estudio considerado.

En el caso de que el usuario disponga inicialmente de la actividad en términos de **unidades transportadas** (número de pasajeros y/o toneladas netas), deberá realizar previamente la conversión a número de escalas, para lo cual será necesario disponer del factor de transformación correspondiente.

3.5.3 Pestaña Escalas

Para la introducción de los datos de actividad, HEAT-MARÍTIMO habilita la pestaña **Escalas**, en la que el usuario debe especificar el **número de escalas** realizadas por los distintos tipos de buques que atracan en el puerto de estudio. Cada escala corresponde a la operación de **entrada (maniobra de entrada y, en su caso, fondeo), estancia (atraque) y salida de un buque (maniobra de salida)**, asociada a actividades de **carga y descarga de mercancías o pasajeros**, antes de continuar con su ruta planificada.

HEAT-MARÍTIMO asume que **cada escala genera dos trayectos diferenciados**:

- Un trayecto que conecta el **puerto de origen** con el **puerto de escala** (puerto de estudio).
- Un trayecto que enlaza el **puerto de escala** (puerto de estudio) con el **puerto de destino**.

De este modo, aunque el usuario introduce la actividad en términos de **número de escalas**, la herramienta **convierte automáticamente esta información en trayectos**, considerando **dos segmentos de navegación por cada escala** con el fin de reflejar adecuadamente la dinámica real del tráfico marítimo.

Adicionalmente, HEAT-MARÍTIMO clasifica los trayectos en función de su **ámbito geográfico**, distinguiendo entre:

- **Trayectos de cabotaje**: aquellos en los que tanto el puerto de origen como el de origen o destino se encuentran dentro del territorio español.
- **Trayectos de exterior**: aquellos en los que al menos uno de los puertos (origen o destino) se localiza fuera del territorio nacional, correspondiendo a trayectos internacionales.

El usuario debe introducir el **número de escalas** en las celdas habilitadas (celdas blancas), diferenciando por **tipo de buque mercante**, conforme a la **clasificación definida por Puertos del Estado (PdE)**, que distingue entre:

- **Buques de carga**:
  - Tanques.
  - Graneleros.
  - Carga general.
  - Ro-Ro.
  - Portacontenedores.
- **Buques de pasajeros**:
  - Cruceros.
  - Buques de pasaje en régimen de transporte.

Los datos de escalas deben proporcionarse tanto para el **año de inicio** del estudio como para el **año horizonte**. Para los **años intermedios** (2030, 2040 y 2050), HEAT-MARÍTIMO realiza **automáticamente una interpolación lineal** a partir de los valores introducidos para el año de inicio y el año horizonte. En el caso de que alguno de estos años intermedios sea anterior al año de inicio o posterior al año horizonte, la herramienta no efectúa el cálculo correspondiente.

HEAT-MARÍTIMO realiza de forma automática un **reparto de las escalas en trayectos** y desagregando las tipologías de buques

anteriores **en función de su tamaño**, conforme a la **clasificación de la Organización Marítima Internacional (OMI)**, tomando como referencia la **flota característica del puerto espejo,** obtenida mediante la explotación conjunta de la base de datos de escalas de la Dirección General de la Marina Mercante y la base de datos IHS. Este reparto inicial se muestra en celdas con fondo verde claro, indicando que se trata de valores calculados por la herramienta, los cuales pueden ser modificados manualmente por el usuario cuando disponga de información más específica.

Es importante destacar que cualquier modificación de los valores propuestos debe realizarse manteniendo el total de escalas introducido para cada categoría de buque, con el fin de garantizar la coherencia del modelo de actividad definido en el estudio.

3.5.4 Pestaña Distancias

El siguiente paso del proceso consiste en revisar y, en su caso, validar o modificar, **las distancias recorridas por los buques durante la fase de navegación en crucero**.

HEAT-MARÍTIMO muestra, para el **año de inicio** y el **año horizonte**, la **distancia media recorrida por trayecto** para cada tipología de buque, desagregada por **tipo y tamaño**, y diferenciando entre **trayectos de cabotaje** y **trayectos de tráfico exterior**. La distancia asignada a cada trayecto corresponde al recorrido efectuado por el buque **desde el puerto de origen hasta el puerto de escala** o **desde el puerto de escala hasta el puerto de destino**, según corresponda en cada caso.

La herramienta proporciona **valores por defecto** basados en el **puerto espejo seleccionado**. Estos valores se muestran en **celdas con fondo verde oscuro**, lo que indica que se trata de **valores recomendados que pueden ser modificados**. Si el usuario dispone de información más precisa sobre los recorridos reales, puede introducir directamente los nuevos valores en las celdas correspondientes.

Para los **años intermedios** (2030, 2040 y 2050), HEAT-MARÍTIMO realiza una **interpolación lineal** entre los valores definidos para el año de inicio y el año horizonte. No obstante, si alguno de estos años intermedios es **anterior al año de inicio** o **posterior al año horizonte**, la herramienta no calcula ningún valor para dicho año.

Adicionalmente, la herramienta permite especificar la distancia recorrida en **zona SECA** (Sulphur Emission Control Areas), con el fin de tener en cuenta en el cálculo de las emisiones, que los **límites permitidos de contenido de azufre en los combustibles dependen del área de navegación**.

ZONAS SECA: SON ÁREAS MARÍTIMAS DESIGNADAS POR LA OMI EN EL MARCO DEL ANEXO VI DEL CONVENIO MARPOL, EN LAS QUE SE APLICAN RESTRICCIONES MÁS ESTRICTAS SOBRE LAS EMISIONES DE ÓXIDOS DE AZUFRE (SO_x). ACTUALMENTE, INCLUYEN EL MAR MEDITERRÁNEO, EL MAR BÁLTICO, EL MAR DEL NORTE, LA ZONA COSTERA DE AMÉRICA DEL NORTE, LA ZONA DEL CARIBE ESTADOUNIDENSE, EL ATLÁNTICO NORESTE Y LAS COSTAS NORUEGAS.

En estas zonas, el **contenido máximo de azufre en los combustibles** está limitado al **0,10 % en masa**, frente al **límite global del 0,50 %** vigente desde 2020. Para cumplir esta normativa, los buques pueden emplear combustibles con bajo contenido de azufre, instalar sistemas de depuración de gases (scrubbers) o utilizar combustibles alternativos, como el gas natural licuado (GNL).

HEAT-MARÍTIMO propone un valor por defecto de **distancia recorrida en zona SECA igual a cero**. Todos estos valores se muestran en **celdas con fondo verde**, indicando que **pueden ser modificados por el usuario** si dispone de información más detallada.

3.5.5 Pestaña Distancia total

En esta pestaña, el usuario no debe introducir ningún valor, ya que se trata de una **pestaña de carácter informativo** en la que la herramienta muestra las **distancias totales recorridas en la fase de navegación de crucero** por cada **tipo y tamaño de buque**.

Las distancias totales se obtienen automáticamente mediante la multiplicación de las distancias medias por trayecto por el número de trayectos realizados por los buques que hacen escala en el puerto espejo seleccionado. Los valores presentados constituyen un resultado intermedio del modelo y se emplean en las etapas posteriores para el cálculo de los consumos energéticos y las emisiones asociadas a la navegación.

La distancia de navegación media (trayectos origen/destino) de los buques que atracan en los puertos del SPIG ha sido obtenida a partir de la explotación de las bases de datos IHS y de escalas de la DGMM.

3.5.6 Pestaña Velocidad

Una vez definidas las distancias recorridas en la fase de navegación de crucero, el siguiente paso consiste en determinar las **velocidades de servicio de los buques** en dicha fase.

VELOCIDAD DE SERVICIO: AQUELLA UTILIZADA POR LOS BUQUES PARA LA NAVEGACIÓN DE CRUCERO Y QUE SE SITÚA, CON CARÁCTER GENERAL, EN TORNO AL 70–80 % DE SU VELOCIDAD MÁXIMA. ESTE INTERVALO PERMITE MANTENER EL EQUILIBRIO ENTRE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y TIEMPOS DE TRÁNSITO COMPETITIVOS.

En la pestaña **Velocidades**, el usuario puede revisar y, en su caso, modificar los valores propuestos por HEAT-MARÍTIMO para cada categoría de buque. Estos valores han sido calculados a partir de la explotación de la base de datos IHS de los buques que hacen escala en el Sistema Portuario de Interés General en el año base.

La herramienta propone **valores no modificables para el año base**. Los valores correspondientes a los **años intermedios** (2030, 2040 y 2050) se han definido a partir del **análisis de escenarios futuros recogido en el *Fourth IMO GHG Study 2020*** y se presentan como **valores recomendados**, identificados con **fondo verde oscuro**, que el usuario puede **validar o ajustar**. A partir de estos valores, HEAT-MARÍTIMO **calcula automáticamente**, mediante **interpolación**

lineal, las velocidades de crucero correspondientes al **año de inicio** y al **año horizonte** del análisis.

3.5.7 Pestaña Tiempo total de crucero

Se trata de una pestaña de carácter informativo, en la que la herramienta muestra los **tiempos de navegación en la fase de crucero** correspondientes a los distintos trayectos considerados en el estudio.

Para el cálculo de estos tiempos, HEAT-MARÍTIMO divide, para cada tipo y tamaño de buque, la **distancia total recorrida** entre la **velocidad media de servicio** definida para dicha categoría de buque. De este modo, se obtiene el **tiempo total de navegación en crucero**, que constituye un **resultado intermedio** del modelo y se emplea posteriormente en el cálculo de los **consumos energéticos y las emisiones asociadas a la navegación**.

3.5.8 Pestaña Tiempo resto fases

Una vez definidos los tiempos de navegación en la fase de crucero, el siguiente paso consiste en revisar **los tiempos asociados a las restantes fases operativas del buque**, en concreto las fases de **atraque, maniobra y fondeo**.

Los valores correspondientes al **año base** se muestran sombreados en gris, al tratarse de valores de referencia no editables. Para el **año de inicio** y el **año horizonte**, la herramienta propone, como recomendación, los mismos valores que los del año base, los cuales se presentan con fondo verde oscuro y pueden ser modificados por el usuario cuando disponga de información más precisa o específica para el puerto o los tipos de buque analizados. Por su parte, los valores de los **años intermedios** se obtienen mediante interpolación lineal a partir de los definidos para el año de inicio y el año horizonte, y se muestran en gris, al tratarse de valores calculados automáticamente y no modificables.

Para esta versión del módulo HEAT-MARÍTIMO, los tiempos de atraque han sido obtenidos de la base de datos de escalas de la DGMM. Para los tiempos de maniobra, se utilizan valores tabulados de la guía EMEP/EEA.

3.5.9 Pestaña Tiempo total resto fases

En esta pestaña, el usuario no debe introducir ningún valor, ya que se trata de una pestaña de carácter informativo. En ella, HEAT-MARÍTIMO muestra el **tiempo total empleado en las fases de atraque, maniobra y fondeo** para los buques que realizan escalas en el puerto de estudio.

El **tiempo total** correspondiente a cada una de estas fases se calcula automáticamente mediante la **multiplicación del tiempo medio unitario** definido para cada fase por el **número de escalas**.

Los valores presentados constituyen un resultado intermedio que se emplea posteriormente en el cálculo de los consumos energéticos y las emisiones asociadas a las operaciones portuarias.

3.5.10 Pestaña Potencia instalada principal

HEAT-MARÍTIMO considera la potencia correspondiente a los **motores principales**, los **motores auxiliares** y la **caldera**, como base para el cálculo de los consumos energéticos y las emisiones asociadas a la operación de los buques en el puerto de estudio, al

ser los equipos que intervienen tanto en la propulsión del buque como en el suministro de energía a los servicios auxiliares a bordo.

En esta pestaña se presentan los valores de la **potencia instalada del motor principal,** obtenida por puerto y tipo de buque mediante la explotación de la base de datos IHS. El consumo de energía de este motor se obtiene, en fases posteriores del cálculo, como el producto de la **potencia efectiva** y el **tiempo de funcionamiento** en cada una de las fases operativas consideradas (navegación en crucero, maniobra, fondeo y atraque). La potencia efectiva utilizada en cada fase se determina a partir de la **potencia máxima instalada**, aplicando los correspondientes **factores de carga del motor**. Por este motivo, la correcta definición de la potencia instalada resulta un elemento esencial del proceso de cálculo.

Los valores de potencia instalada, expresados en kW, se **cargan automáticamente para el año base** en función del **puerto espejo seleccionado**, de acuerdo con la flota característica asociada a dicho puerto. Estos valores del año base se consideran de referencia.

Para los **años intermedios** (2030, 2040 y 2050), HEAT-MARÍTIMO propone por defecto los mismos valores de potencia instalada que los del año base. Estos valores se muestran con **fondo verde oscuro**, lo que indica que pueden ser **modificados por el usuario** si dispone de información más específica o desea introducir hipótesis alternativas sobre la evolución de la potencia instalada de la flota.

Los valores correspondientes al **año de inicio** y al **año horizonte** se **calculan automáticamente mediante interpolación lineal** a partir de los valores definidos para el año base y los años intermedios, y **no son editables**, con el fin de garantizar la coherencia temporal del escenario considerado.

3.5.11 Pestaña Factor de carga del motor

En esta pestaña se recogen los **factores de carga del motor principal**, expresados en **porcentaje (%)**, que utiliza HEAT-MARÍTIMO para determinar la **potencia efectiva** empleada por los buques en cada fase operativa (atraque, fondeo, maniobra y crucero). El factor de carga representa la fracción de la **potencia máxima instalada** que se utiliza realmente durante el funcionamiento del motor principal.

Los **valores correspondientes al año base** se muestran sombreados en **gris**, indicando que se trata de valores de referencia **no editables**. Estos valores se han establecido conforme a los criterios y valores recogidos en la **Guía EMEP/EEA 2023**.

Para los **años intermedios** (2030, 2040 y 2050), HEAT-MARÍTIMO propone, por defecto, **los mismos factores de carga que los del año base**. Estos se presentan con **fondo verde**, lo que indica que pueden ser **modificados por el usuario** si dispone de información más específica.

Los valores correspondientes al **año de inicio** y al **año horizonte** se **calculan automáticamente mediante interpolación lineal** a partir de los valores definidos para el año base y los años intermedios. Estos factores se muestran como valores calculados y **no son**

editables, con el objetivo de garantizar la coherencia temporal del escenario considerado.

3.5.12 Pestaña Potencia instantánea principal

En esta pestaña se presentan los valores de **potencia instantánea del motor principal**, que representan la potencia efectiva utilizada por los buques en las distintas fases operativas consideradas en el estudio.

La potencia instantánea se obtiene como el **producto de la potencia máxima instalada del motor principal y el factor de carga del motor**, de acuerdo con la siguiente relación conceptual:

potencia instantánea = potencia instalada × factor de carga

Los valores correspondientes al **año base** se muestran sombreados en gris y no son modificables, al tratarse de valores de referencia. Para los **años intermedios (2030, 2040 y 2050)**, HEAT-MARÍTIMO propone por defecto valores iguales a los del año base, que se muestran con fondo verde oscuro y pueden ser **modificados por el usuario** si dispone de información más precisa o desea introducir hipótesis específicas de evolución del régimen operativo de los buques.
A partir de los valores definidos para el año base y los años intermedios, la herramienta calcula automáticamente, mediante **interpolación lineal**, los valores correspondientes al **año de inicio y al año horizonte** del análisis. Estos valores se presentan como datos calculados y no son editables, con el fin de garantizar la coherencia temporal del escenario considerado.

3.5.13 Pestaña Potencia instantánea auxiliar

En esta pestaña se caracteriza la **potencia instantánea de los motores auxiliares** para cada fase de navegación (atraque, fondeo, maniobra y crucero). La definición de estos parámetros se ha realizado siguiendo las recomendaciones de la **Guía EMEP/EEA 2023**, que establece la potencia de los motores auxiliares como un porcentaje de la potencia instalada en los motores principales.

Para ello, en esta pestaña el usuario debe revisar la información contenida, al menos, en cuatro columnas fundamentales. En primer lugar, se muestra la **ratio de potencia auxiliar respecto a la potencia principal** correspondiente al año base, que permite obtener la potencia instalada del motor auxiliar a partir de la potencia instalada del motor principal. A continuación, se presentan los **factores de carga del motor auxiliar**, expresados en porcentaje, para cada una de las fases operativas consideradas: atraque/fondeo, maniobra y crucero. Estos valores se muestran con fondo verde, lo que indica que pueden ser modificados por el usuario cuando disponga de información más específica o desee introducir hipótesis particulares.

A partir de la ratio de potencia auxiliar y de los factores de carga definidos para cada fase, HEAT-MARÍTIMO calcula la **potencia instantánea del motor auxiliar correspondiente al año base**.

Para los **años intermedios (2030, 2040 y 2050)**, la herramienta propone por defecto los mismos valores que los del año base. Estos valores pueden ser modificados por el usuario si considera que la evolución tecnológica de la flota o cambios en el régimen de operación justifican una potencia auxiliar diferente.

Los valores correspondientes al **año de inicio y al año horizonte** se calculan automáticamente mediante **interpolación lineal** a partir de los valores definidos para el año base y los años intermedios. Estos resultados no son editables, con el objetivo de mantener la coherencia temporal del escenario analizado.

3.5.14 Pestaña Potencia instantánea caldera

A continuación, se presentan los valores relativos a la **potencia instantánea de las calderas** empleadas por los buques en las distintas fases de navegación (atraque, fondeo, maniobra y crucero).

Los valores correspondientes al **año base** se han definido de acuerdo con lo establecido en el ***4th IMO GHG Study 2020***, estudio basado en datos representativos de la flota mundial en el año 2018, en el que se determina la potencia media de las calderas para los distintos tipos y tamaños de buques. Estos valores aparecen sombreados en gris y no son modificables, ya que constituyen valores de referencia derivados de la caracterización asociada al puerto espejo seleccionado.

Para los **años intermedios (2030, 2040 y 2050)**, HEAT-MARÍTIMO propone por defecto valores iguales a los del año base. Dichos valores se muestran con fondo verde, lo que indica que pueden ser modificados por el usuario si dispone de información más precisa o si desea introducir hipótesis específicas sobre la evolución del régimen operativo de los buques o de sus sistemas térmicos.

A partir de los valores definidos para el año base y los años intermedios, la herramienta calcula automáticamente los valores correspondientes al **año de inicio y al año horizonte** mediante interpolación lineal. Estos resultados se presentan como datos calculados y no son editables, con el objetivo de asegurar la coherencia temporal del escenario de análisis.

3.5.15 Pestaña Tiempo funcionamiento del motor

Se ha de tener en cuenta que **los motores no están operativos durante la totalidad de la duración de cada fase de navegación**. Por este motivo, en esta sección se presenta el **porcentaje del tiempo de cada fase durante el cual los motores se encuentran en funcionamiento efectivo**.

Estos valores se han establecido conforme a las recomendaciones de la **Guía EMEP/EEA 2023**, que proporciona criterios de referencia para la caracterización del uso de los motores principales en los inventarios de emisiones del transporte marítimo.

En el caso de los **motores auxiliares y de la caldera**, y dado que la Guía EMEP/EEA no ofrece recomendaciones específicas sobre su régimen temporal de funcionamiento por fase, HEAT-MARÍTIMO asume por defecto que estos equipos permanecen en funcionamiento durante el **100 % del tiempo de cada fase**.

No obstante, el usuario puede **modificar estos valores** cuando disponga de información más detallada o de fuentes específicas que justifiquen un patrón de funcionamiento distinto.

Los porcentajes de tiempo de funcionamiento definidos se consideran **constantes a lo largo de todo el periodo de estudio**, aplicándose de igual manera al año de inicio, al año horizonte y a los años intermedios.

3.5.16 Pestañas Tipología del motor principal, Tipología del motor auxiliar y Tipología de la caldera

En este apartado se describen las **tres pestañas siguientes,** destinadas a caracterizar la **tipología del motor principal**, **del motor auxiliar** y **de las calderas**. En conjunto, estas pestañas permiten definir la distribución porcentual de los buques según el tipo de motor y el combustible empleado, información esencial para una correcta estimación de los consumos energéticos y de las emisiones asociadas.

En cada una de estas pestañas se muestra el **porcentaje de buques asociado a cada tipología**, de acuerdo con la caracterización de la flota del puerto espejo seleccionado. Los valores correspondientes al **año base** aparecen sombreados en gris oscuro y no son modificables, al tratarse de datos de referencia. Para el **año de inicio y el año horizonte**, HEAT-MARÍTIMO propone por defecto valores iguales a los del año base, que se presentan con fondo verde, indicando que pueden ser ajustados por el usuario si dispone de información más precisa o desea introducir hipótesis alternativas. A partir de estos valores, la herramienta realiza la **interpolación o extrapolación** necesaria para obtener los porcentajes correspondientes a los **años intermedios**, manteniendo la coherencia temporal del escenario analizado.

HEAT-MARÍTIMO considera la siguiente **clasificación de motores y combustibles empleados**, aplicable, según corresponda, a los motores principales, auxiliares y a las calderas:

En primer lugar, se consideran los **motores diésel**, que se agrupan según su velocidad de giro en:

- **SSD (Slow Speed Diesel)**: motores diésel de velocidad lenta.
- **MSD (Medium Speed Diesel)**: motores diésel de velocidad media.
- **HSD (High Speed Diesel)**: motores diésel de velocidad alta.

Cada una de estas categorías de motores diésel se clasifica, a su vez, en función del **combustible utilizado**, distinguiéndose entre:

- **BFO (Bunker Fuel Oil)**: fuelóleo marino, tanto pesado como ligero.
- **MDO/MGO (Marine Diesel Oil / Marine Gas Oil)**: diésel marino.

Adicionalmente, HEAT-MARÍTIMO contempla otras tecnologías de propulsión relevantes en la flota marítima actual:

- **Motores LNG–Otto**, correspondientes a motores de combustión interna que utilizan gas natural licuado (LNG) y operan bajo el ciclo Otto. Estos se clasifican en:
  - **SS (Slow Speed)**: motores de velocidad baja.
  - **MS (Medium Speed)**: motores de velocidad media.
- **Motores de metanol**, que emplean metanol (MeOH) como combustible, y que se consideran dentro de la categoría:
  - **SS (Slow Speed)**: motores de velocidad lenta.
- **Turbinas de gas**, que utilizan **Bunker Fuel Oil (BFO)** como combustible principal.
- **Turbinas de vapor**, que operan utilizando **gas natural licuado (LNG)** como combustible principal.

En el caso de los **motores principales**, HEAT-MARÍTIMO contempla todas las tipologías anteriores, reflejando la diversidad tecnológica de la flota marítima. Por su parte, los **motores auxiliares y las calderas** se restringen a motores de **velocidad media** (MSD o MS), en coherencia con su función de apoyo a los sistemas principales y a los servicios auxiliares del buque.

3.5.17 Pestaña OPS

Mediante la pestaña **OPS (Onshore Power Supply)**, HEAT-MARÍTIMO permite al usuario definir el **porcentaje de buques que se conectan al suministro eléctrico desde tierra** durante su estancia en el puerto. Esta funcionalidad posibilita incorporar en el análisis los efectos de la electrificación portuaria sobre los consumos energéticos y las emisiones asociadas a la fase de atraque.

Con carácter general, la herramienta establece para el **año base** un valor del **0 %**, reflejando la ausencia generalizada de esta tecnología en el periodo de referencia.

Para los **años intermedios (2030, 2040 y 2050)**, HEAT-MARÍTIMO propone valores de conexión OPS acordes con los compromisos normativos y estratégicos vigentes, que se muestran como valores recomendados y pueden ser modificados por el usuario. En particular, HEAT-MARÍTIMO considera que en el **año 2030** el **100 % de los buques de pasajeros y de los portacontenedores** se conectarán al OPS en aquellos puertos que, de acuerdo con la normativa vigente, deban disponer de esta infraestructura[15]. Para el resto de los puertos, se considera que esta tecnología no estará disponible en 2030. Esta hipótesis se basa en el cumplimiento del **Reglamento (UE) 2023/1804**, que establece la obligatoriedad, a partir del 1 de enero de 2030, de que estos tipos de buques utilicen el suministro eléctrico desde tierra para cubrir la totalidad de su demanda eléctrica mientras permanecen atracados en los puertos de escala incluidos en el ámbito de aplicación del artículo 9 del citado Reglamento.

Para el año 2050, la hipótesis es que, de manera generalizada, los sistemas OPS se habrán desplegado en la totalidad de los puertos de interés general. Para el año 2040, la herramienta interpola entre el valor considerado en 2050 y 2030.

Esta suposición es coherente, asimismo, con la previsión de que los **puertos de interés general en España** cuenten con la infraestructura necesaria para garantizar la conexión OPS, en línea con el **Plan OPS Masterplan** y con los compromisos nacionales e internacionales de reducción de emisiones. Del mismo modo, se alinea con las políticas de descarbonización del transporte marítimo promovidas por la **OMI** y por la **Unión Europea**, que identifican la electrificación portuaria como una medida prioritaria para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos en el entorno portuario.

[15] Bilbao, Santander, Gijón-Musel, A Coruña, Santa Cruz de Tenerife, Las Palmas, Bahía de Algeciras, Cartagena, Valencia, Castellón, Tarragona, Barcelona, Palma de Mallorca, Huelva y Sevilla.

A partir de dichos valores, los porcentajes correspondientes al **año de inicio y al año horizonte** se calculan automáticamente mediante interpolación lineal.

A efectos de cálculo, HEAT-MARÍTIMO considera que la conexión OPS **suministra energía eléctrica exclusivamente a los motores auxiliares durante la fase de atraque**. En consecuencia, cuando se activa esta opción, la herramienta sustituye el consumo de combustible asociado a los motores auxiliares en dicha fase por consumo de energía eléctrica.

3.5.18 Pestaña Electricidad

En esta pestaña el usuario debe **definir el origen de la energía eléctrica** empleada en el puerto, asociada al consumo eléctrico de los buques durante la **conexión OPS**. La selección realizada condiciona directamente los **factores de emisión** y los **coeficientes de pérdidas** aplicados por la herramienta en los cálculos de emisiones.

Procedencia del mix energético	
Comercialización genérica nacional	☑
Comercialización genérica peninsular	☐
Electricidad con garantía de orígen (GdO)	☐
Plantas renovables en el puerto	☐

Figura 94. Origen de la energía eléctrica

HEAT-MARÍTIMO ofrece las siguientes **opciones de suministro eléctrico**:

- **Comercialización genérica nacional**: corresponde al mix eléctrico medio a escala nacional.
- **Comercialización genérica peninsular**: representa el mix eléctrico medio del sistema peninsular.
- **Electricidad con garantía de origen (GdO)**: refleja un suministro eléctrico respaldado por certificados de garantía de origen, asociado a un mix de energías renovables y cogeneración conforme al sistema de certificación vigente.
- **Plantas renovables en el puerto**: opción destinada a representar consumos eléctricos cubiertos directamente mediante instalaciones renovables ubicadas en el propio recinto portuario.

En función de la opción seleccionada, la herramienta **muestra automáticamente los factores de emisión y los coeficientes de pérdidas** correspondientes, que se aplican en los cálculos posteriores. HEAT-MARÍTIMO propone **valores de referencia modificables para los años 2030, 2040 y 2050**, que el usuario puede ajustar si dispone de información más específica o desea introducir hipótesis alternativas sobre la evolución del mix eléctrico. A partir de estos valores, la herramienta calcula automáticamente, mediante **interpolación lineal**, los factores correspondientes al **año de inicio y al año horizonte** del análisis, sin intervención directa del usuario.

En el caso de la opción **Electricidad con garantía de origen (GdO)**, HEAT-MARÍTIMO considera un suministro eléctrico asociado a fuentes renovables y cogeneración a escala nacional. Adicionalmente, la herramienta pone a disposición del usuario una **hoja de cálculo aneja**, junto con su manual de uso, que permite

calcular **factores de emisión y coeficientes de pérdidas específicos** para un mix eléctrico con GdO propio del usuario, cuando se disponga de información detallada al respecto.

Para una descripción más detallada de los distintos mixes eléctricos considerados, así como de las **metodologías e hipótesis empleadas** para la obtención de los factores de emisión y de los coeficientes de pérdidas, se remite al **anejo correspondiente del manual de HEAT**.

3.5.19 Pestaña Contenido de azufre

En esta pestaña se definen los parámetros necesarios para el cálculo de las emisiones de óxidos de azufre (SOx) asociadas al consumo de combustibles en el transporte marítimo. Para ello, se consignan, para el **año de inicio, el año horizonte y los años intermedios**, los valores relativos al contenido de azufre de los combustibles y los factores de emisión aplicables.

En primer lugar, se muestran los **factores de emisión TtW del azufre** correspondientes a los distintos tipos de combustibles utilizados por los buques. Asimismo, se recogen los **límites máximos de contenido de azufre permitidos en los combustibles**, diferenciados por tipo de zona de navegación, de acuerdo con lo establecido en el **Convenio MARPOL** y en el **Real Decreto 61/2006**.

Para el cálculo de las emisiones de SOx, HEAT-MARÍTIMO permite al usuario **definir el porcentaje en masa de azufre (% m/m)** en los combustibles para los **años intermedios (2030, 2040 y 2050)**. A partir de estos valores, la herramienta calcula automáticamente el **factor de emisión de SOx**, expresado en g SOx/g fuel, mediante la siguiente expresión:

$$g\ SOx = g\ fuel \times 2 \times 0{,}97753 \times (\%\ de\ azufre\ m/m)$$

Este cálculo se fundamenta en la **estequiometría de la combustión del azufre**, asumiendo que la totalidad del azufre presente en el combustible se transforma en óxidos de azufre durante el proceso de combustión.
Con el fin de garantizar el cumplimiento de la normativa ambiental vigente, HEAT-MARÍTIMO determina el **factor de emisión finalmente aplicable** seleccionando automáticamente el **menor valor** entre:

- El factor calculado a partir del porcentaje de azufre del combustible introducido por el usuario.
- El valor límite establecido por la regulación internacional y nacional para cada ámbito de operación, distinguiendo entre **zonas SECA**, **zonas fuera de SECA** y **áreas portuarias**.

Este procedimiento asegura que los resultados obtenidos respeten los **límites legales de emisiones de SOx** aplicables en cada zona de navegación.

En aquellos casos en los que el contenido de azufre del combustible supere los valores máximos permitidos, se presupone la **obligatoriedad del uso de sistemas de depuración de gases de escape (scrubbers)**. Estos sistemas permiten reducir las emisiones de óxidos de azufre y posibilitan el uso de combustibles con mayor contenido de azufre, garantizando en todo caso el cumplimiento de los requisitos establecidos en la normativa aplicable.

3.5.20 Pestaña Potencial de calentamiento GEI

En esta pestaña, HEAT-MARÍTIMO solicita al usuario que revise y confirme los **valores de los potenciales de calentamiento global (PC)**, en los términos descritos en el apartado 1.2.1, que se emplean para el **cálculo del factor de emisión de dióxido de carbono equivalente (CO_2 eq)**.

El cálculo del factor de emisión de CO_2 equivalente se realiza a partir de los factores de emisión individuales de **CO_2, CH_4 y N_2O**, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Fe\ CO_2\ eq = Fe\ CO_2 \times PC\ CO_2 + Fe\ CH_4 \times PC\ CH_4 + Fe\ N_2O \times PC\ N_2O$$

La herramienta HEAT evalúa las emisiones de **CO_2, CH_4 y N_2O,** ponderándolas mediante los **potenciales de calentamiento global (GWP)** a 100 años establecidos en el 6º Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2021), que asigna valores de **29,8 para el metano (CH_4)** y **273 para el óxido nitroso (N_2O)** en relación con el CO_2. No obstante, estos valores pueden ser **actualizados por el usuario** en caso de que se desee aplicar otros factores de referencia, manteniendo en todo caso la coherencia metodológica del cálculo.

Por defecto, **HEAT calcula las emisiones en términos de CO_2 equivalente**. Sin embargo, si para un determinado estudio se desea obtener **exclusivamente las emisiones de CO_2**, será suficiente con **asignar el valor 0 a los potenciales de calentamiento global del CH_4 y del N_2O** en esta pestaña. De este modo, el cálculo excluirá la contribución de estos gases.

En este caso, debe tenerse en cuenta que, al consultar la pestaña de Resultados, el valor mostrado como **CO_2 equivalente corresponderá en realidad únicamente a las emisiones de CO_2**.

3.5.21 Pestañas Factores del motor principal, Factores del motor auxiliar y Factores de la caldera

Las pestañas Factores del motor principal, Factores del motor auxiliar y Factores de la caldera tienen **carácter informativo** y presentan **valores no modificables**.

En ellas, HEAT-MARÍTIMO establece los **factores de consumo y los factores de emisión correspondientes al año base**, que se emplean en el cálculo de los consumos de combustible y de las emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos a lo largo de las distintas fases de operación del buque.

La información se muestra **diferenciada por tipo de equipo** (motor principal, motor auxiliar y caldera) y, en cada caso, **desagregada por fase operativa** y por **categoría de motor**, atendiendo a la tecnología y al combustible utilizado (Ver apartado 3.5.16).

En estas pestañas se muestran valores para los siguientes parámetros:

- Poder calorífico inferior del combustible (MJ/kg fuel).
- Factor de consumo específico de combustible, SFOC (g fuel/kWh).
- Factor de emisión de dióxido de carbono, CO_2 (kg CO_2/kg fuel) – TtW.
- Factor de emisión de metano, CH_4 (g CH_4/kWh) – TtW.
- Factor de emisión de óxido nitroso, N_2O (g N_2O/kWh) – TtW.

- Factor de emisión de CO_2 equivalente (kg CO_2eq/kg fuel) – TtW.
- Factor de emisión de CO_2 equivalente (kg CO_2eq/kg fuel) – WtT.
- Factor de emisión de compuestos orgánicos no metánicos, NMVOC (g/kWh).
- Factor de emisión de partículas sólidas en suspensión, PM (g/kWh).
- Factor de emisión de óxidos de nitrógeno, NO_x (g NO_x/kWh).

Para el caso específico de los **óxidos de nitrógeno (NO_x)**, debe tenerse en cuenta que, conforme a la **Guía EMEP/EEA 2023**, los factores de emisión dependen del **año de construcción del buque**, ya que la normativa asigna valores diferenciados en función del periodo de fabricación del motor. Por este motivo, el cálculo de las emisiones de NO_x requiere conocer la distribución de la flota por año de construcción (Ver apartado 3.5.22).

3.5.22 Pestaña Año construcción buques

En esta pestaña se recoge la **distribución porcentual de los buques según su año de construcción**, información necesaria para caracterizar la antigüedad de la flota considerada en el estudio y, en particular, para la correcta estimación de las **emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x)**, cuyos factores de emisión dependen del periodo de fabricación del motor conforme a la Guía EMEP/EEA 2023.

Los valores correspondientes al **año base** reflejan la **flota característica actual** asociada al puerto espejo seleccionado y se presentan como valores de referencia no modificables. Estos valores han sido obtenidos de la explotación conjunta de las bases de datos de la DGMM y de IHS.

Para los años futuros (2030, 2040 y 2050), se adopta el supuesto de que la edad media de la flota en el año base se mantiene constante. Es decir, se considera que los procesos de renovación y retirada de buques permiten conservar, para cada tipo de buque, una edad media similar a la de 2022. Esto implica un equilibrio entre desguaces e incorporaciones de nuevos buques.

La hipótesis subyacente es que el sistema marítimo internacional mantendrá una estructura de flota estable en términos de edad, como resultado de políticas de renovación tecnológica, medidas regulatorias y otras condiciones de mercado.

Para los **años intermedios (2030, 2040 y 2050)**, HEAT-MARÍTIMO proporciona valores de referencia que pueden ser **modificados por el usuario** si dispone de información más específica o desea introducir hipótesis alternativas sobre la renovación o envejecimiento de la flota.

A partir de los valores definidos para el año base y los años intermedios, la herramienta calcula automáticamente, mediante **interpolación lineal**, los valores correspondientes al **año de inicio y al año horizonte** del análisis.

3.5.23 Pestaña Mejoras

La pestaña **Mejoras** permite al usuario introducir **hipótesis adicionales de evolución tecnológica y operativa** de la flota marítima que no quedan recogidas de forma implícita en los parámetros básicos del modelo. Estas mejoras se aplican como **factores de ajuste** sobre los consumos energéticos y los factores

de emisión, y permiten analizar escenarios alternativos de descarbonización y reducción de emisiones.

HEAT-MARÍTIMO contempla dos grandes ámbitos de actuación:

- **Mejora de la eficiencia energética**, que agrupa los efectos asociados a avances tecnológicos y operativos, tales como la mejora del rendimiento de los motores, la reducción de la velocidad de crucero, la optimización de la explotación del buque o la disminución del factor de carga de los motores, entre otros. Estas medidas se traducen en una reducción del consumo energético por unidad de actividad.
- **Reducción de los factores de emisión TtW**, vinculada a la implantación de tecnologías avanzadas de combustión, a la incorporación de sistemas de tratamiento de los gases de escape y a las mejoras en el control y la calidad de los combustibles utilizados. Estas actuaciones permiten reducir las emisiones específicas de contaminantes y gases de efecto invernadero para un mismo nivel de consumo energético.

Los valores introducidos en esta pestaña se expresan como **porcentajes de reducción o incremento** y pueden definirse para los **años intermedios (2030, 2040 y 2050)**, que la herramienta propone inicialmente como valores de referencia. A partir de ellos, HEAT-MARÍTIMO calcula automáticamente, mediante interpolación lineal, los factores correspondientes al **año de inicio y al año horizonte**, garantizando la coherencia temporal del escenario de mejora considerado.

3.5.24 Pestaña Resultados

Una vez definidos todos los parámetros del estudio, **HEAT-MARÍTIMO procede al procesamiento de los resultados**. Durante esta fase de cálculo, la herramienta muestra en pantalla *la Figura 96*, que informa al usuario de que el proceso de generación de resultados se encuentra en curso.



Figura 95. Generación de resultados en curso

Finalizado dicho proceso, se accede a la pestaña **Resultados**, que constituye la **hoja final de HEAT- MARÍTIMO** y presenta los **resultados globales de consumo de energía y emisiones a la atmósfera** correspondientes al escenario definido por el usuario.

La primera sección de esta pestaña muestra una **tabla de resultados globales** que recoge la **energía total consumida y las emisiones totales** asociadas al transporte ferroviario considerado en el estudio (*Figura 97*).

Los resultados se presentan organizados en dos bloques de columnas, en función del tipo de indicador mostrado:

- **Totales absolutos**: correspondientes al conjunto del sistema de transporte analizado.
- **Resultados normalizados por operación:** expresados en GJ o toneladas por buque.

Para cada uno de estos bloques, los resultados se desglosan temporalmente en las siguientes columnas:

- El **año de inicio** del análisis.
- El **año horizonte**.
- Los **años intermedios de referencia: 2030, 2040 y 2050**.
- El **conjunto del periodo de estudio,** que integra el total acumulado del horizonte analizado.

Energía total consumida y emisiones totales a la atmósfera Visor global			Total (GJ o t)						Total (GJ/buque o t/buque)					
			Año inicio 2025	Año horizonte 2055	2030	2040	2050	Periodo de estudio	Año inicio 2025	Año horizonte 2055	2030	2040	2050	Periodo de estudio promedio
Emisión(es)	CO_{2eq}	$CO_{2eq, TtW}$	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		$CO_{2eq, WtT}$	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		$CO_{2eq, WtW}$	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	SO_x	$SO_{x, TtW}$	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	NO_x	$NO_{x, TtW}$	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	$PM_{2,5}$	$PM_{2,5, TtW}$	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	COVNM	$COVNM_{, TtW}$	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Operación(es)	FASE(s) [Subfase]		ATRAQUE [OPS, Fuel], FONDEO, MANIOBRA, CRUCERO [Cabotaje, Exterior]											
Buque(s)	SERVICIO(s) [PdE { OMI }]		PASAJEROS [(Cruise, Ferry-pax only)]											

Figura 96. Detalle de la tabla de resultados

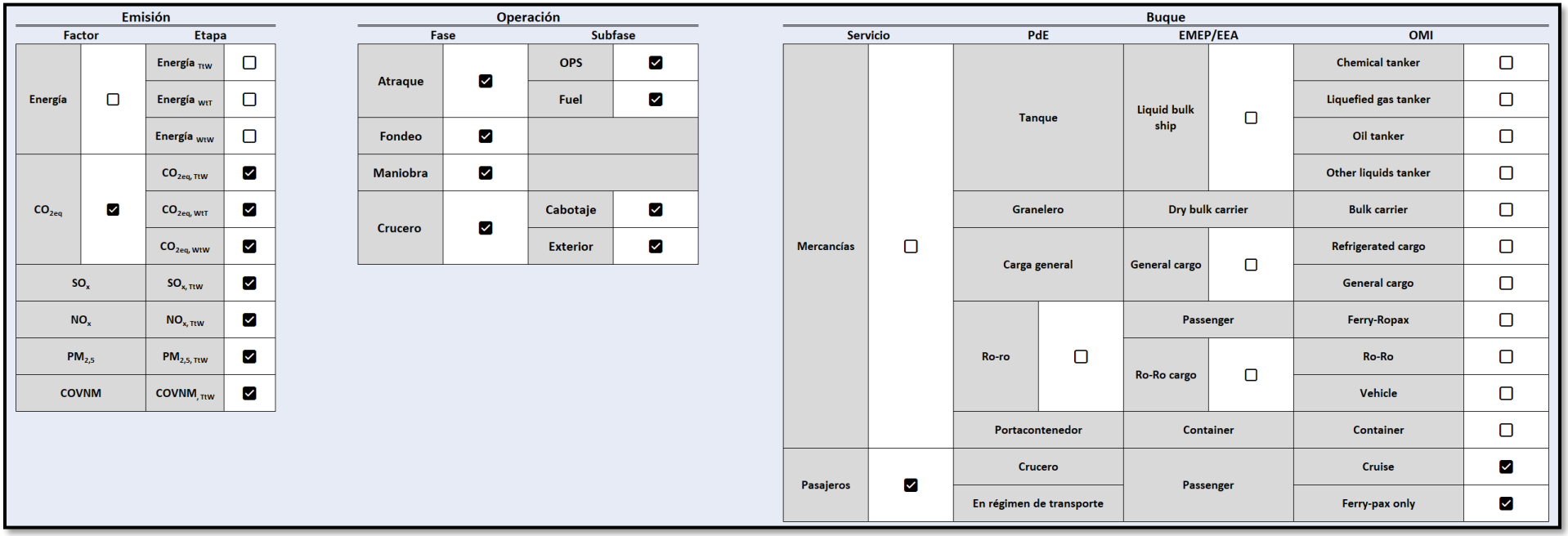


Figura 97. Detalle de los filtros disponibles

Asimismo, la tabla se organiza en distintos bloques de filas, que agrupan la información por tipo de magnitud:

- **Energía:** consumo energético total del transporte ferroviario considerado en el estudio **diferenciado por fase**, distinguiéndose los resultados **WtT, TtW y WtW**.

- **Emisiones de gases de efecto invernadero**, con el siguiente nivel de desagregación:

    - CO_{2eq} (TtW): Emisiones de CO_2 equivalente asociadas **exclusivamente a la fase de uso del vehículo**, derivadas de la combustión del combustible. Este indicador **no incluye** las emisiones directas de CO_2 de los biocombustibles, al ser compensadas por el origen renovable del carbono.
    - CO_2eq (WtT): Emisiones de CO_2 equivalente asociadas a las **etapas previas al uso del vehículo**, correspondientes a la producción, transformación y suministro del combustible o de la energía hasta su llegada al vehículo, excluyendo la fase de combustión.
    - CO_{2eq} (WtW): Emisiones totales de CO_2 equivalente del **ciclo completo**, que integran todas las fases desde la producción de la energía hasta su uso final en el vehículo. Este indicador se obtiene como la **suma de**:
        - CO_2eq (WtT), y
        - CO_2eq (TtW).

- **Contaminantes atmosféricos**, correspondientes a emisiones en fase de uso (TtW) de:
    - Óxidos de azufre (SO_x).
    - Óxidos de nitrógeno (NO_x).
    - Partículas finas ($PM_{2,5}$).
    - Compuestos orgánicos volátiles no metánicos (COVNM).

En la **siguiente sección** de la pestaña "Resultados", tal y como puede observarse en la *Figura 98* el usuario dispone de un conjunto de **opciones de filtrado** que permiten personalizar el contenido de los resultados mostrados.

En primer lugar, el usuario puede **seleccionar uno o varios factores a visualizar**, pudiendo elegir entre:

- **Energía**, en sus distintos desgloses.
- **Gases de efecto invernadero**, incluyendo los diferentes componentes de CO_2 equivalente.
- **Contaminantes atmosféricos**, con su correspondiente desagregación.

A continuación, el usuario puede seleccionar la fase de operación sobre la que desea consultar los resultados. La herramienta distingue entre las cuatro fases consideradas en el modelo: **atraque, fondeo, maniobra y crucero**. Dentro de la **fase de atraque**, el filtro se desagrega adicionalmente en función de la fuente de energía utilizada, permitiendo diferenciar entre buques que emplean suministro eléctrico desde tierra (OPS) y aquellos que mantienen el uso de combustible. En el caso de la **fase de crucero**, el filtrado permite distinguir entre trayectos de cabotaje y trayectos de tráfico exterior

En un tercer nivel, los resultados pueden filtrarse en función del **tipo de servicio**, diferenciando entre **mercancías y pasajeros**.

Finalmente, dentro de cada uno de estos dos grandes grupos —mercancías y pasajeros— el usuario puede seleccionar buques, atendiendo a diferentes sistemas de clasificación. En concreto, HEAT-MARÍTIMO permite filtrar los resultados según las categorías de buques definidas por Puertos del Estado, según las tipologías empleadas en la Guía EMEP/EEA, y según la clasificación de la Organización Marítima Internacional.

Para que se generen las tablas de resultados filtradas, el usuario debe, **una vez seleccionados los criterios de filtrado**, pinchar en el botón **Generar tabla**, situado en el **encabezado de la pestaña Resultados** (véase Figura *98*). Al hacerlo, la herramienta crea una nueva tabla que refleja exactamente las opciones seleccionadas. **Este proceso puede repetirse tantas veces como se desee**, permitiendo generar múltiples tablas con distintos criterios de selección.

Si el usuario desea **eliminar alguna de las tablas generadas**, deberá marcar el **cuadro situado a la izquierda de la tabla** correspondiente y, a continuación, pinchar en el botón **Eliminar tablas**, también ubicado en el encabezado de la pestaña (véase Figura *98*)



Figura 98. Localización de botones "Generar/Eliminar tablas"

Asimismo, si el usuario desea **descargar las tablas generadas en formato .csv**, deberá marcar previamente el cuadro situado a la izquierda de cada tabla que quiera exportar y, a continuación, pulsar el botón **Exportar tablas** (véase Figura *98*). Tras esta acción, la herramienta mostrará el mensaje indicado en la Figura *99*, informando de que el archivo se ha descargado correctamente en la **carpeta de descargas** del equipo. El fichero generado se guarda con el nombre **HEAT_MARÍTIMO_Resultados_TablaFiltrada**.

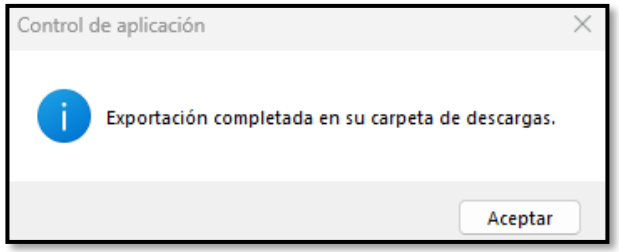


Figura 99. Mensaje de aviso de la correcta descarga del archivo

De forma análoga, el usuario dispone del botón **Imprimir**, que permite **exportar la información seleccionada a un documento en formato PDF**. Para ello, deberá marcar previamente el cuadro situado a la izquierda de cada tabla que desee incluir en el documento y, a continuación, pulsar el botón **Imprimir** (véase Figura *101*). La herramienta genera automáticamente el archivo PDF correspondiente en la carpeta de descargas del equipo del usuario, guardándolo con el nombre **HEAT_MARÍTIMO _Resultados**. Tras la descarga, se muestra un **mensaje de aviso en pantalla** (véase Figura *101*) en el que se informa de la correcta generación del archivo.



Figura 100. Botón "Imprimir"

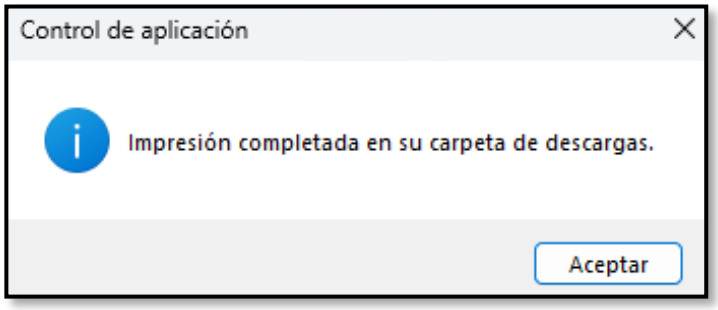


Figura 101. Mensaje de aviso de la correcta generación del archivo

La **última sección** de la pestaña **Resultados** corresponde a las **tablas dinámicas preestablecidas**, que permiten al usuario obtener de forma rápida vistas agregadas de los resultados sin necesidad de definir filtros manuales.

En esta sección se ofrece la posibilidad de generar **tres tipos de tablas dinámicas**. Para ello, en la **columna T del encabezado de esta pestaña** (véase Figura *103*) se dispone de una **lista desplegable** en la que puede elegirse entre las siguientes opciones:

- **Buque**.
- **Factor**.
- **Operación**.

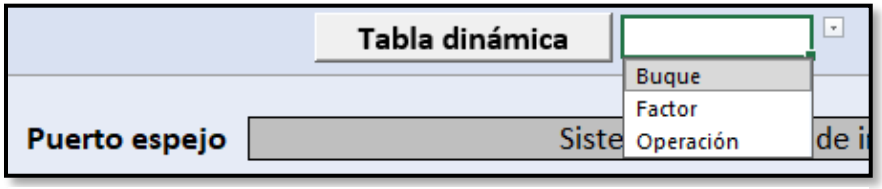


Figura 102. Lista desplegable de generación de Tabla dinámica

Una vez seleccionada la opción deseada en la lista desplegable, se debe pinchar en el botón **Tabla dinámica**, situado a la izquierda de dicha lista. La herramienta generará automáticamente la tabla dinámica correspondiente, con los resultados agregados según el criterio seleccionado.

Por último, en caso de que las tablas de resultados globales, las tablas filtradas y las tablas dinámicas preestablecidas **no resulten suficientes para el análisis requerido**, la pestaña **Resultados** ofrece la opción de **descargar todos los datos** generados por HEAT_MARÍTIMO. Para ello, se debe pinchar en el botón **Descarga de microdatos**, situado en la parte derecha del encabezado de la pestaña. Tras esta acción, aparecerá el mensaje indicado en la Figura *103* y se descargará en la **carpeta de descargas** del equipo el archivo denominado **HEAT_MARÍTIMO_Resultados_Datos_origen**, que contiene el conjunto completo de datos utilizados para la generación de los resultados.

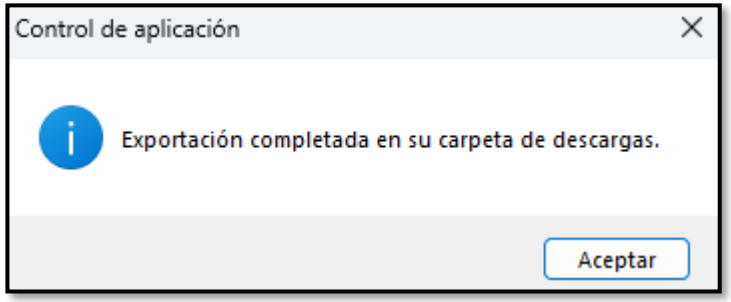


Figura 103. Mensaje de aviso de la correcta descarga del archivo

4 Soporte técnico

4.1 Incidencias comunes y procedimientos de resolución

A continuación, se describen las incidencias más habituales detectadas durante la ejecución de HEAT en entorno Microsoft Office Excel, junto con las posibles soluciones recomendadas:

- **Mensaje de reparación al abrir el archivo (.xlsm)**: Al abrir el archivo, Excel inicia el modo de reparación y muestra el siguiente aviso:

"Parte quitada: Parte /xl/vbaProject.bin. (Visual Basic para Aplicaciones (VBA))"

Este mensaje suele estar relacionado con restricciones de seguridad o con políticas corporativas que impiden la correcta ejecución de archivos con macros. Se recomienda, en primer lugar, revisar las políticas de grupo del dispositivo relativas a la ejecución de archivos con extensión ".xlsm" o, en su defecto, contactar con el servicio de soporte técnico de la organización.

Si el problema persiste y el usuario dispone de Excel 2021, se aconseja comprobar la configuración regional del sistema operativo. Para ello, acceda a través del buscador de Windows a "Panel de control" > "Reloj y región" > "Región", y en la pestaña "Administrativo" seleccione la opción "Cambiar configuración regional del sistema". En este apartado, marque la casilla "Versión beta: Usar UTF-8 Unicode para la compatibilidad de idioma en todo el mundo" y reinicie el equipo.

- **Bloqueo de macros por motivos de seguridad**: Tras abrir el archivo, puede aparecer en la parte superior de Excel el siguiente aviso:

"RIESGO DE SEGURIDAD. Microsoft ha bloqueado la ejecución de macros porque el origen de este archivo no es de confianza"

Para resolver esta incidencia, abra un nuevo libro de Excel y acceda a "Archivo" > "Opciones". En el panel de configuración, seleccione "Centro de confianza" y, a continuación, "Configuración del Centro de confianza". Dentro de este apartado, acceda a "Ubicaciones de confianza" y añada una nueva ubicación de usuario que coincida con la ruta en la que se encuentra almacenado el archivo HEAT. Una vez definido como ubicación de confianza, vuelva a abrir el archivo.

- **Cierre automático del archivo por longitud de la ruta**: En algunos casos, tras abrir el archivo, este se cierra automáticamente mostrando el siguiente mensaje:

"La ubicación para este módulo no es recomendable para su funcionamiento. Escoja otra ubicación cuya longitud de caracteres sea menor."

Esta incidencia se debe a que la ruta del archivo (nombre del directorio y subcarpetas) supera la longitud máxima recomendada para el correcto funcionamiento de los módulos VBA. Para solucionarlo, mueva el archivo a una ubicación con una ruta más corta, ya sea en una carpeta local o en una red con menor número de subdirectorios o con nombres más breves.

- **Aparición de valores nulos inesperados en los resultados**
  Si, tras la carga de resultados en la última hoja, se muestran valores nulos que no se corresponden con los criterios de entrada definidos, verifique la configuración de Excel relativa a las fórmulas en tablas.

  Compruebe que la opción "Rellenar fórmulas en tablas para crear columnas calculadas" esté activada. Para ello, acceda a "Archivo" > "Opciones" > "Revisión" > "Opciones de Autocorrección" > "Autoformato mientras escribe" y, dentro del apartado "Automáticamente mientras trabaja", asegúrese de que la opción correspondiente esté habilitada. Esta configuración es necesaria para garantizar la correcta propagación de las fórmulas en las tablas empleadas por la herramienta.

4.2 Atención al usuario

Para cualquier incidencia adicional no contemplada en el presente manual, así como para la comunicación de sugerencias, consultas técnicas, propuestas de mejora o cualquier otra cuestión relacionada con el funcionamiento de la herramienta HEAT, el usuario puede ponerse en contacto con el equipo de trabajo responsable a través del siguiente correo electrónico:

heat@transportes.gob.es

El equipo atenderá las solicitudes recibidas y proporcionará el soporte necesario en la medida de lo posible, con el objetivo de garantizar un uso adecuado y eficaz de la herramienta.

5 Anejos

5.1 Fuentes de información

El presente anejo recoge las principales fuentes de información empleadas en la definición de los datos de entrada, parámetros de cálculo y factores utilizados por la herramienta HEAT en sus distintos módulos. Estas fuentes incluyen **documentación técnica, guías metodológicas, bases de datos estadísticas y modelos de referencia** a **escala nacional e internacional**, seleccionados con el objetivo de garantizar la coherencia metodológica, la trazabilidad de los resultados y la representatividad de los valores utilizados.

En los apartados siguientes se detallan, de forma diferenciada por modo de transporte, las fuentes específicas empleadas en cada caso.

5.1.1 HEAT-CARREETRAS

Los datos y parámetros empleados en el módulo HEAT-CARRETERAS proceden de las siguientes fuentes de información:

Parque circulante en el año base: El parque circulante correspondiente al año base se ha obtenido a partir de la información proporcionada por el **Sistema Español de Inventario (SEI) del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico**, en el marco de la elaboración anual del Inventario Nacional de emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero y de contaminantes atmosféricos, para el año 2022.

La información facilitada por el SEI se refiere a los kilómetros recorridos por distintas clases de vehículos en la pauta interurbana, excluyéndose expresamente la pauta urbana. Las clases de vehículos consideradas por el SEI presentan un mayor nivel de desagregación que las empleadas en HEAT-CARRETERAS, al diferenciar, entre otros aspectos, la normativa EURO y el segmento del vehículo. Por este motivo, ha sido necesario realizar procesos de agregación para adaptar dicha información a las tipologías de vehículos utilizadas en la herramienta.

En este proceso se han considerado únicamente los vehículos que cumplen las normativas EURO 2/II a EURO 6/VI.

Factores de ocupación y de carga en el año base: Los factores de ocupación y de carga utilizados en el año base se han obtenido a partir de las siguientes fuentes:

- Para vehículos turismos, motocicletas, vehículos de carga ligeros y autobuses, se han empleado los datos recogidos en la **Monografía del CEDEX** *«Herramienta de cálculo de consumo energético y de emisiones contaminantes y de gases de efecto invernadero (GEI) en planes, programas y proyectos de carretera»*.
- Para vehículos de carga pesada, se han utilizado los datos del **Modelo Nacional de Transportes (MNT 1.0 Mercancías),** obtenidos a partir del análisis de la Encuesta Permanente de Transporte de Mercancías por Carretera (EPTMC 2017).

Factores de consumo energético y de emisiones

Los factores de consumo de energía y los factores de emisión correspondientes a las distintas clases de vehículos y tecnologías consideradas en el año base se han obtenido a partir de las curvas propuestas consumo–velocidad en la **Guía EMEP/EEA 2023**. Estas curvas se han aplicado teniendo en cuenta la composición del parque circulante espejo definido a partir de la información del SEI, lo que permite representar de forma coherente el comportamiento medio del parque vehicular en el ámbito interurbano analizado.

5.1.2 HEAT-FERROVIARIO

Los datos y parámetros empleados en el módulo HEAT-FERROVIARIO proceden de las siguientes fuentes de información:

Factores de capacidad y aprovechamiento

Los factores de capacidad y de aprovechamiento utilizados en el año base se han definido a partir de fuentes estadísticas y técnicas de referencia a escala nacional.

En el caso de los servicios ferroviarios de viajeros, los valores de capacidad y aprovechamiento se han obtenido a partir de la información disponible en los informes sectoriales elaborados por la **Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC)**, así como del **Observatorio del Ferrocarril en España**.

Para los servicios de mercancías, los factores de carga empleados corresponden a los valores de referencia definidos en el **Modelo Nacional de Transportes (MNT)**.

Factores de consumo energético y de emisiones

Los factores de consumo de energía de las composiciones más representativas de cada uno de los servicios comerciales de **viajeros** han sido facilitados por **Renfe Operadora**.

Para los trenes de **mercancías**, la metodología empleada para la obtención de los factores de consumo energético se basa en la seguida por la calculadora desarrollada por el equipo de Eco-incentivos Marítimos del **Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible**, la cual, a su vez, se fundamenta en criterios y parámetros procedentes de fuentes nacionales de información de referencia, como **Renfe** y la **Fundación de los Ferrocarriles Españoles**, que proporcionan datos técnicos y operativos representativos del parque ferroviario, los perfiles de explotación y las condiciones reales de operación del transporte ferroviario de mercancías en España.

En el caso de la incorporación de biocombustibles en el transporte ferroviario, los datos necesarios para el cálculo del consumo de energía y de las emisiones de gases de efecto invernadero se han obtenido del documento ***JEC Well-to-Tank report v5*** (2020).

No obstante, este informe no dispone de factores de emisión de los principales contaminantes atmosféricos asociados al uso de biocombustibles. Por este motivo, HEAT-FERROVIARIO aplica, para estas emisiones, factores de emisión equivalentes a los del carburante convencional con el que se mezcla el biocombustible, extraídos de la **Guía EMEP/EEA 2023** (Tier 1).

Se considera que esta aproximación es adecuada para las emisiones de SO_x, razonable para las emisiones de NO_x siempre que el porcentaje de biocombustible en la mezcla sea reducido, y conservadora en el caso de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles no metánicos (COVNM) y de partículas $PM_{2,5}$.

5.1.3 HEAT-AÉREO

Los datos y parámetros empleados en el módulo HEAT-AÉREO proceden de las siguientes fuentes de información:

Caracterización de la flota aérea

Para la caracterización de la flota de aeronaves, tanto a escala del Sistema Aeroportuario de Interés General (SAIG) en su conjunto como para cada uno de los aeropuertos espejo considerados individualmente, se ha empleado la base de datos ***«Consulta_Emisiones_MITMA_2022»***, facilitada por la **Dirección General de Aviación Civil del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible**. Esta base de datos recoge el conjunto de las operaciones realizadas en los aeropuertos del SAIG durante el año 2022 y constituye la referencia principal para la definición de la flota característica, el reparto de operaciones por tipo de aeronave y la actividad asociada a cada aeropuerto espejo.

Índices de ocupación

Para la obtención de los índices de ocupación en el transporte aéreo de pasajeros, HEAT-AÉREO combina dos fuentes de información complementarias. Por un lado, se emplean los datos relativos al número medio de asientos ofertados por cada tipo de aeronave que compone la flota característica del aeropuerto espejo, obtenidos a partir de la explotación de la base de datos ***«Consulta_Emisiones_MITMA_2022»*** facilitada por la Dirección General de Aviación Civil. Esta información se recoge en la pestaña oculta *«Número de asientos medios ofertados por las aeronaves de pasajeros»*.

Por otro lado, se utilizan los datos correspondientes al número de viajeros transportados en el año base en cada aeropuerto espejo, desagregados por región de vuelo (nacional, Unión Europea y resto internacional), obtenidos a partir de la información de tráfico de pasajeros del año 2022 proporcionada por **AENA,** a través del **Sistema de Información HERMES**.

Tiempos de la fase LTO

Los tiempos medios de referencia asociados a las distintas subfases del ciclo de aterrizaje y despegue (LTO) se han obtenido a partir de los valores contenidos en el Anexo X *«LTO emissions calculator – 2023 v1.1»* de la **Guía EMEP/EEA 2023**.

Factores de potencia de los motores en LTO

Los factores de potencia de los motores considerados en cada una de las subfases del ciclo LTO son coherentes con los establecidos en la **Guía EMEP/EEA 2023** y con las recomendaciones de la **Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).**

Factores de consumo y emisiones en la fase CCD

Para el cálculo del consumo de combustible y de las emisiones durante la fase de ascenso, crucero y descenso (CCD), HEAT-

AÉREO emplea los factores definidos en el Anexo 1 «*Master emissions calculator – 2023*» de la Guía **EMEP/EEA 2023**.

5.1.4 HEAT-MARÍTIMO

Los datos y parámetros empleados en el módulo HEAT-MARÍTIMO proceden de las siguientes fuentes de información:

Caracterización de la flota marítima

La caracterización de la flota utilizada en HEAT-MARÍTIMO se ha realizado a partir de la integración de dos fuentes principales: la **base de datos** de la **Dirección General de la Marina Mercante** y la **base de datos de IHS Markit**, esta última facilitada por el **Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX**. La combinación de ambas fuentes da lugar a la denominada **base de datos completa**, que constituye el soporte de referencia para la definición de la flota empleada en el modelo.

HEAT-MARÍTIMO utiliza las 13 categorías de buques definidas por la Organización Marítima Internacional (IMO), integradas con la clasificación operativa de Puertos del Estado, que distingue 7 grandes tipos de buques. Asimismo, se consideran los distintos tamaños dentro de cada categoría, lo que da lugar a un total de 62 tamaños específicos. Este nivel de desagregación permite una representación detallada y consistente de la flota que opera en los puertos de interés general.

Las 13 categorías de la IMO se integran en las 7 categorías de Puertos del Estado conforme al esquema detallado a continuación, incluyendo buques tanque, graneleros, carga general, Ro-Ro, portacontenedores, cruceros y buques de pasaje en régimen de transporte, con sus correspondientes subcategorías y rangos de tamaño.

Tabla 7. Categorías de buques según clasificación de Puertos del Estado y la OMI

Clasificación PdE	Clasificación OMI
Buques tanque	Chemical tanker
	Liquefied gas tanker
	Oil tanker
	Other liquids tanker
Graneleros	Bulk carrier
Carga general	Refrigerated cargo
	General cargo
Ro-Ro	Ferry-Ropax
	Ro-Ro
	Vehicle carrier
Portacontenedores	Container ship
Cruceros	Cruise ship
Buques de pasaje en régimen de transporte	Ferry-pax only

Velocidades de crucero

Los valores de velocidad de crucero propuestos en HEAT-MARÍTIMO para el año base se han obtenido a partir de la explotación de la **base de datos completa**. Estos valores representan la media de las velocidades de servicio efectivamente registradas para cada tipo y tamaño de buque en el conjunto de los puertos de interés general, y constituyen la referencia para el cálculo de los tiempos de navegación y los consumos energéticos en la fase de crucero.

Distancia media de navegación en fase de crucero

La distancia media recorrida por los buques en la fase de navegación de crucero se ha determinado mediante el cálculo previo de las distancias entre todos los puertos de interés general y los principales puertos de origen o destino. Este análisis incluye:

- Puertos españoles de interés general.
- Puertos españoles gestionados por otras administraciones.
- Puertos internacionales.

Una vez identificados los pares origen-destino y construidas las matrices de distancias correspondientes, se ha calculado la distancia media recorrida por cada tipo y tamaño de buque en cada puerto, que se emplea como referencia en el modelo.

Tiempos medios en las fases de atraque, fondeo y maniobra

Los tiempos medios asociados a las fases operativas distintas de la navegación de crucero se han obtenido a partir de diversas fuentes, en función de la fase considerada:

- **Atraque**: a partir de la explotación de la base de datos completa, calculando para cada escala el tiempo ATA (Actual Time of Arrival) y el tiempo ATD (Actual Time of Departure). La diferencia entre ambos valores define el tiempo efectivo de atraque del buque en el muelle.
- **Fondeo**: mediante el análisis de información AIS, procesada por el Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX. El año base considerado para estos datos es 2023.
- **Maniobra**: a partir de los valores de referencia establecidos en la Guía EMEP/EEA 2023.

Potencia instalada de los motores principales

La potencia instalada de los motores principales, diferenciada por tipo y tamaño de buque y por puerto de interés general, se ha calculado mediante la explotación de la **base de datos completa**.

Tiempo de funcionamiento de los motores principales

Los porcentajes de tiempo de funcionamiento de los motores principales en cada fase de operación se han definido conforme a las recomendaciones de la **Guía EMEP/EEA 2023**, que establece valores de referencia ampliamente aceptados para la modelización de consumos y emisiones en el transporte marítimo.

Factores de consumo y de emisión

Los factores de consumo de combustible y de emisión de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos asociados a los motores principales, motores auxiliares y calderas se han obtenido a partir de las siguientes fuentes técnicas y normativas:

- *4th IMO GHG Study 2020*.
- Guía EMEP/EEA 2023.
- *GLEC Framework*, versión 3.
- Reglamento (UE) 2023/1806 (*FuelEU Maritime*).

5.2 Metodología para la obtención de factores de emisión de la energía eléctrica

El presente anejo describe la metodología empleada para la obtención de los **factores de emisión** y de los **coeficientes de pérdidas de la energía eléctrica** incorporados en la herramienta HEAT, así como las principales fuentes de información utilizadas. Su objetivo es documentar las hipótesis adoptadas y los criterios de cálculo aplicados para caracterizar el impacto ambiental asociado al consumo de electricidad en los distintos modos de transporte analizados por la herramienta.

Los factores de emisión y coeficientes de pérdidas se han definido de forma coherente con la estructura del sistema eléctrico español y con los escenarios de evolución previstos a medio y largo plazo, de manera que permitan evaluar tanto la situación del **año base** como la evolución futura hasta los horizontes temporales considerados en HEAT. Para ello, se han empleado fuentes oficiales de carácter nacional y europeo, junto con documentación técnica de referencia en el ámbito energético y del transporte.

En los apartados siguientes se detallan los procedimientos seguidos para la caracterización del mix de generación eléctrica, el cálculo de los factores de emisión asociados a la producción de electricidad y la estimación de las pérdidas energéticas a lo largo de la cadena de suministro, así como las hipótesis utilizadas para su proyección temporal.

Para la caracterización del sistema eléctrico nacional se parte del **balance anual de demanda de energía eléctrica**, diferenciando entre energía generada internamente y energía importada. En el caso de las importaciones, se distingue entre la electricidad procedente de Francia y de Portugal, al tratarse de los principales intercambios internacionales del sistema eléctrico español.

En este proceso se han adoptado las siguientes hipótesis generales:

- Se asume que la totalidad de la energía importada es consumida en el sistema eléctrico nacional.
- La energía importada desde Marruecos se considera nula a efectos del cálculo.

Los datos de demanda, importaciones y exportaciones se obtienen a partir de la información oficial publicada por **Red Eléctrica de España (REE)**, utilizando estadísticas anuales consolidadas del sistema eléctrico.

Para el cálculo de los factores de emisión asociados a la electricidad se consideran cuatro tipologías de mix eléctrico, que permiten adaptar el análisis a distintos contextos de consumo:

- Mix nacional.
- Mix peninsular.
- Mix con Garantía de Origen (GdO).
- Mix residual.

Los mixes nacional y peninsular se construyen a partir de la estructura real de generación eléctrica por tecnologías (renovables, nuclear, combustibles fósiles, cogeneración, etc.), utilizando los datos oficiales de generación publicados por Red Eléctrica de España.

El mix con Garantía de Origen se deriva automáticamente a partir de la información anterior, teniendo en cuenta el sistema de certificación de origen vigente, mientras que el mix residual se obtiene descontando del mix total la electricidad asociada a garantías de origen, conforme a la metodología establecida a nivel europeo.

La **evolución futura del mix de generación** eléctrica se basa en escenarios oficiales de planificación energética. En particular:

- Para los años 2030, 2040 y 2050, se emplea la información contenida en el borrador de actualización del **Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC 2023-2030).**
- Se asume una trayectoria coherente con una penetración creciente de energías renovables, alcanzando un sistema eléctrico prácticamente descarbonizado en 2050.
- El cierre progresivo del parque nuclear se incorpora conforme a la planificación oficial, considerándose nula la generación nuclear a partir de 2040.

En el caso del mix residual, las proporciones actuales se obtienen del informe ***European Residual Mixes*, publicado por la Association of Issuing Bodies (AIB).** Para los años futuros se asume que la proporción relativa de renovables en el mix residual se mantiene constante, dado que el incremento de la generación renovable y el aumento de la electricidad con Garantía de Origen tienen efectos contrapuestos sobre este mix.

Asimismo, se incorporan hipótesis específicas para la evolución del mix eléctrico de Francia y Portugal, basadas en los mismos informes europeos de mixes residuales y en supuestos coherentes con la transición energética de ambos países.

Los **factores de emisión** asociados a la generación de energía eléctrica por tecnología se obtienen a partir de la **metodología oficial empleada por Red Eléctrica de España** para el cálculo de emisiones del sistema eléctrico.

Se asume que estos factores permanecen constantes a lo largo del periodo de análisis, al tratarse de tecnologías maduras cuya intensidad de emisión no presenta variaciones significativas adicionales en el horizonte considerado. No obstante, la metodología permite su actualización en caso de disponerse de información más reciente o específica.

Los **coeficientes de pérdidas** asociados a la producción, transporte y distribución de la electricidad se han definido a partir de fuentes técnicas especializadas en flujos energéticos del sistema eléctrico.

En todos los casos, se asume que los coeficientes de pérdidas permanecen constantes a lo largo del periodo año base-2050, al no esperarse cambios estructurales significativos en las redes de transporte y distribución eléctrica que justifiquen una variación sustancial de estos valores.

5.2.1 Mix con Garantía de Origen (GdO)

Los valores por defecto de los factores de emisión y de los coeficientes de pérdidas de la energía eléctrica asociados **al mix con Garantía de Origen (GdO)** incorporados en HEAT se han

calculado a partir del reparto tecnológico de la generación eléctrica con GdO a escala nacional.

No obstante, algunos usuarios de HEAT pueden disponer de datos específicos asociados a **sus propios certificados de Garantía de Origen**, correspondientes a un mix de generación distinto del promedio nacional. Con el fin de permitir la incorporación de esta información personalizada, se ha desarrollado una hoja de cálculo complementaria a la herramienta HEAT, disponible para su descarga en el mismo dominio desde el que se distribuye la herramienta.

Esta hoja de cálculo permite al usuario definir un mix eléctrico con GdO específico y obtener de forma automática:

- Los factores de emisión de la energía eléctrica asociados a dicho mix.
- Los coeficientes de pérdidas correspondientes a la cadena de suministro eléctrico.

Los valores resultantes deberán incorporarse posteriormente en HEAT, en la pestaña correspondiente al mix eléctrico, sustituyendo a los valores por defecto, de modo que los resultados de consumo energético y emisiones reflejen de forma coherente las características reales del suministro eléctrico con Garantía de Origen considerado en el estudio.

5.3 Combustibles sostenibles

5.3.1 Combustibles sostenibles en HEAT-CARRETERAS

HEAT-CARRETERAS contempla el uso de biocarburantes y combustibles renovables como parte de la caracterización energética y ambiental del transporte por carretera, incorporando tanto las opciones actualmente más extendidas en España como aquellas con potencial de implantación a medio y largo plazo.

Para el año base, la herramienta considera los siguientes biocarburantes, seleccionados por ser los de uso más habitual en el contexto nacional del transporte por carretera:

- **Bioetanol**: se asume un bioetanol producido a partir de maíz procedente de cultivos con bajo riesgo de cambio indirecto del uso de la tierra (ILUC).
- **Biodiésel FAME** (Fatty Acid Methyl Esters): obtenido mediante la transesterificación de aceites vegetales, incorporando tanto su fracción biogénica como la fósil. Para el año base, se considera un biodiésel FAME producido a partir de una mezcla de aceite de FFBs/palma (60 %), soja (30 %) y colza (10 %), todos ellos procedentes de cultivos con bajo riesgo de ILUC.
- **Biodiésel HVO** (Hydrotreated Vegetable Oil): elaborado a partir de aceites vegetales hidrotratados. Para el año base, HEAT-CARRETERA considera un HVO producido a partir de aceite de FFBs, igualmente procedente de cultivos con bajo riesgo de ILUC.

El porcentaje de sustitución del bioetanol en la gasolina convencional se considera tipificado en valores del 5 % (E5) o del 10 % (E10), si bien podría ser superior. En el contexto español, se prevé una progresiva sustitución de la gasolina E5, actualmente mayoritaria, por gasolina E10. Debe tenerse en cuenta que el poder calorífico del bioetanol es inferior al de la gasolina convencional, lo que implica que es necesario consumir una mayor cantidad de mezcla para obtener la misma energía útil.

En el caso del diésel, el porcentaje de sustitución del biodiésel FAME se considera tipificado en el 7 % (B7), no siendo recomendable superar este límite. Por su parte, el biodiésel HVO se considera igualmente en una proporción del 7 % (B7), si bien su uso podría alcanzar porcentajes superiores.

Para los tres biocarburantes considerados, se dispone de los datos necesarios para el cálculo del consumo de energía y de las emisiones de gases de efecto invernadero, tanto en fase Well-to-Tank como Tank-to-Wheel, a partir del informe *JEC Well-to-Tank report v5 (2020)*.

No obstante, no se dispone de factores de emisión Tank-to-Wheel específicos para los principales contaminantes atmosféricos. En estos casos, HEAT-CARRETERA aplica factores de emisión equivalentes a los del carburante fósil con el que se mezcla el biocarburante, extraídos de la Guía EMEP/EEA 2023 (Tier 1). Se asume que esta aproximación es razonable para las emisiones de SO_x y, en el caso de NO_x, siempre que el porcentaje de biocarburante sea reducido, y conservadora para las emisiones de COVNM y $PM_{2,5}$.

De cara a la evolución futura del consumo energético y de las emisiones, HEAT-CARRETERAS incorpora de forma prospectiva otros tipos de combustibles sostenibles, susceptibles de implantarse a medio y largo plazo, entre los que se incluyen:

- **Bioetanol avanzado**, por ejemplo, etanol producido a partir de paja.
- **Biodiésel HVO avanzado**, elaborado a partir de aceite de cocina usado y/o sebo.
- **Carburantes renovables de origen no biológico**, como el **diésel sintético** producido a partir de electricidad renovable y gases de combustión.

En el caso del diésel sintético, y ante la ausencia de factores de emisión TtW específicos para los principales contaminantes atmosféricos, se asume de forma conservadora que dichos factores son, como máximo, equivalentes a los del diésel convencional al que sustituyen.

Todos los valores, hipótesis y porcentajes considerados en HEAT-CARRETERAS en relación con los biocarburantes y combustibles sostenibles son coherentes con la normativa vigente en materia de fomento de biocarburantes, en particular con lo establecido en el Real Decreto 1085/2015, de 4 de diciembre, y Orden TED/728/2024, de 15 de julio.

5.3.2 Combustibles sostenibles en HEAT-FERROVIARIO

HEAT-FERROVIARIO contempla la incorporación progresiva de biocombustibles en los servicios ferroviarios con tracción diésel, como medida para reducir el consumo de energía fósil y las

emisiones asociadas. En particular, la herramienta prevé el uso de **biodiésel en combinación con el gasóleo B**, considerando como biocombustible de referencia el **HVO (*Hydrotreated Vegetable Oil*)**, un biodiésel obtenido a partir de aceites vegetales hidrotratados.

Para el año base, HEAT-FERROVIARIO considera un biodiésel HVO producido a partir de aceite de FFBs, procedente de cultivos con bajo riesgo de cambio indirecto del uso de la tierra. Esta elección es coherente con las orientaciones europeas en materia de sostenibilidad de los biocarburantes y con la disponibilidad actual de este tipo de combustible para aplicaciones ferroviarias.

Los datos necesarios para el cálculo del consumo de energía y de las emisiones de gases de efecto invernadero, tanto en la fase Well-to-Tank como en la fase Tank-to-Wheel, se han obtenido del documento *JEC Well-to-Tank report v5* (2020). No obstante, en el caso de los principales contaminantes atmosféricos no se dispone de factores de emisión específicos en la fase Tank-to-Wheel para el biodiésel HVO. Por este motivo, HEAT-FERROVIARIO aplica factores de emisión equiparables a los del carburante convencional con el que se mezcla el biocombustible, extraídos de la Guía EMEP/EEA 2023 (Tier 1). Se considera que esta aproximación resulta razonable para las emisiones de SO_x y, siempre que el porcentaje de biocombustible sea moderado, también para las emisiones de NO_x, y que es conservadora en el caso de los compuestos orgánicos volátiles no metánicos (COVNM) y las partículas $PM_{2,5}$.

La previsión de uso de biodiésel en HEAT-FERROVIARIO se fundamenta en el marco estratégico nacional y sectorial. La actualización del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC 2023-2030) prioriza la electrificación del ferrocarril como principal vía de descarbonización, sin establecer objetivos cuantitativos específicos de penetración de biocarburantes en este modo de transporte antes de 2030. En consecuencia, y de acuerdo con la planificación sectorial, no se considera una sustitución sistemática del gasóleo fósil por biocombustibles en los servicios ferroviarios diésel en dicho horizonte temporal, más allá de experiencias piloto puntuales.

No obstante, las estrategias a medio y largo plazo —incluyendo la Ley 7/2021 de Cambio Climático, la Estrategia a Largo Plazo 2050 del MITECO y los planes sectoriales del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible— reconocen el papel de los biocarburantes avanzados como solución transitoria en aquellos servicios ferroviarios cuyas vías ferroviarias por las que circulan son de difícil electrificación (bajo retorno socioeconómico o alta complejidad técnica). En este sentido, el Plan Director de Lucha contra el Cambio Climático 2018-2030 desarrollado por Adif y Renfe contempla expresamente la sustitución progresiva del diésel fósil mediante energías bajas en carbono, incluyendo el uso de biocarburantes compatibles con el parque móvil existente.

Hipótesis de mezcla de carburantes en HEAT-FERROVIARIO

A partir de este marco, HEAT-FERROVIARIO adopta las siguientes hipótesis de referencia para la evolución de la mezcla de carburante en los servicios ferroviarios con tracción diésel, tanto de viajeros como de mercancías:

Año 2030:

Se considera una mezcla compuesta íntegramente por gasóleo B (0 % de biodiésel HVO). Esta hipótesis es coherente con el PNIEC 2023-2030, que no prevé aportaciones de biocarburantes al ferrocarril en este horizonte, y con la estrategia nacional centrada en la electrificación de líneas y la mejora de la eficiencia energética.

Año 2040:

Se adopta como referencia una mezcla con un **50 % de biodiésel HVO y un 50 % de gasóleo B** en los servicios ferroviarios no electrificados. Esta hipótesis refleja una fase intermedia de transición, en la que el HVO actúa como combustible puente para reducir significativamente las emisiones de origen fósil sin necesidad de una renovación completa del material rodante diésel, en un contexto de compromisos climáticos cada vez más exigentes.

Año 2050:

En coherencia con el objetivo de neutralidad climática establecido por España y la Unión Europea, HEAT-FERROVIARIO considera que cualquier servicio ferroviario que mantenga tracción térmica deberá operar con **un 100 % de biocombustible de origen sostenible**, eliminando por completo el uso de gasóleo fósil. Esta hipótesis permite compatibilizar la existencia residual de tracción diésel con los objetivos de descarbonización total del sistema ferroviario.

Estas hipótesis se reflejan de forma homogénea para los servicios de viajeros y mercancías en la tabla de porcentajes de mezcla de carburante empleada por HEAT-FERROVIARIO, garantizando la coherencia entre el modelo energético-ambiental y el marco normativo y estratégico vigente.

5.3.3 Combustibles sostenibles en HEAT-AÉREO

HEAT-AÉREO incorpora el uso de **combustibles de aviación sostenibles (CAS)** conforme al marco normativo europeo e internacional vigente. En particular, el Reglamento (UE) 2023/2405, relativo a la garantía de unas condiciones de competencia equitativas para un transporte aéreo sostenible (**ReFuelEU Aviation**), define los CAS como combustibles de aviación de sustitución directa que incluyen: combustibles de aviación sintéticos (renovables de origen no biológico), biocombustibles de aviación —tanto avanzados como aquellos producidos a partir de las materias primas recogidas en el anexo IX de la Directiva (UE) 2018/2001, siempre que cumplan los criterios de sostenibilidad y reducción de emisiones— y combustibles de aviación de carbono reciclado.

Adicionalmente, la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), en el marco del esquema CORSIA, establece criterios propios de sostenibilidad para los CAS y mantiene una relación actualizada de procesos de conversión certificados. Asimismo, introduce el concepto de *Lower Carbon Aviation Fuels* (LCAF), definidos como combustibles fósiles que permiten una reducción mínima del 10 % de las emisiones de GEI respecto a una línea de base de 89 gCO_2eq/MJ.

En este contexto, HEAT-AÉREO considera el uso de determinados biocombustibles de aviación. En concreto, se incluyen combustibles del tipo HEFA (queroseno parafínico sintetizado a partir de ésteres y ácidos grasos hidroprocesados), tanto a partir de aceite de palma —para el consumo de CAS no sujeto a las obligaciones del Reglamento ReFuelEU Aviation— como a partir de aceite de cocina usado. En este último caso, debe tenerse en cuenta que, de acuerdo con los procesos de conversión actualmente aprobados, el porcentaje de mezcla no puede superar el 10 % cuando el HEFA se obtiene por coprocesado, y que la disponibilidad de esta materia prima podría limitar su contribución a medio plazo.

Con el fin de representar la evolución futura del consumo de energía y de las emisiones, HEAT-AÉREO contempla asimismo otros tipos de CAS con horizonte de implantación a medio y largo plazo. Entre ellos se incluyen un biocombustible avanzado producido a partir de materiales celulósicos mediante gasificación y síntesis Fischer-Tropsch, y un combustible de aviación sintético obtenido a partir de hidrógeno producido por electrólisis y su posterior conversión en hidrocarburos. Estos electrocombustibles presentan la ventaja de no depender de recursos de biomasa, si bien su despliegue está condicionado actualmente por elevados costes de producción.

Para la caracterización energética y ambiental de los HEFA considerados, HEAT-AÉREO adopta el poder calorífico inferior y la densidad indicados en la norma ISO 14083:2023, suponiendo una mezcla representativa de materias primas. Los factores de emisión TtW de CO_2 se asimilan a los del queroseno convencional, mientras que los factores TtW de CH_4 y N_2O, así como los factores WtT de CO_2 equivalente, se toman de la citada norma. Las pérdidas de energía en la fase WtT se consideran equivalentes a las del HVO. En cuanto a los principales contaminantes atmosféricos, se asume que los factores de emisión TtW son comparables a los del queroseno convencional con el que se mezclan, lo que constituye una aproximación razonable y conservadora a la vista de la evidencia disponible[16], que apunta a reducciones de partículas, SO_x, CO e hidrocarburos inquemados, y a posibles reducciones de NO_x.

En el caso del biocombustible avanzado y del combustible de aviación sintético, no se dispone aún de información suficiente para el cálculo completo del consumo de energía y de las emisiones, tanto en la fase WtT como TtW, ni de factores de emisión de los principales contaminantes. Por este motivo, HEAT-AÉREO incorpora estos combustibles de forma prospectiva, de modo que puedan ser activados en los cálculos cuando dicha información esté disponible.

La caracterización de las mezclas de combustibles se realiza a partir de los porcentajes de mezcla y de los poderes caloríficos

[16] R. Sundararaj et al. Energy 182,689-705 (2019); First study on in-flight use of pure sustainable aviation fuel in a passenger jet shows early promise, Neste Corporation Press Release, November 2021; J. Yang et al. Fuel 237, 916-936 (2019) https://www.researchgate.net/publication/352494232_Cleaner_burning_aviation_fuels_can_reduce_contrail_cloudiness

inferiores del queroseno convencional y de los CAS considerados, obteniéndose factores de consumo de energía y de emisiones de GEI representativos de cada combinación. Los porcentajes de mezcla aplicados en vuelos domésticos y con origen o destino en la Unión Europea se basan en las obligaciones establecidas en el Reglamento ReFuelEU Aviation. Para el resto de los vuelos internacionales, estos porcentajes se ajustan mediante un factor corrector del 0,9, en coherencia con la exigencia de repostaje mínimo en aeropuertos de la UE. HEAT-AÉREO permite, además, que la contribución relativa de cada tipo de combustible sostenible evolucione en el tiempo en función de su grado de madurez tecnológica y comercial.