



**Congreso Nacional del Medio Ambiente**  
Cumbre del Desarrollo Sostenible

**COMUNICACIÓN TÉCNICA**

# Estudio ambiental del transporte de mercancías en el corredor FERRMED (eje Algeciras-Cerbère)

Autor: Jose Miguel Muñoz Veiga

Institución: xàrcia de municipis valencians cap a la sostenibilitat  
E-mail: miguel.munoz@dival.es



## **RESUMEN:**

El panel contendrá un resumen de la comunicación técnica escrita sobre el "Estudio ambiental del transporte de mercancías en el corredor FERRMED (Eje Algeciras-Cerbère)". Se expondrá la finalidad del Estudio, las entidades participantes en su elaboración, la metodología empleada y las conclusiones finales.



## 1. INTRODUCCIÓN

Este Estudio ha sido financiado por la **Xàrcia de Municipis Valencians cap a la Sostenibilitat**, asociación integrada por 200 entidades locales de la provincia de Valencia adheridas a la Carta de Xàtiva, entre las que se encuentra la **Diputació de València** como socio extraordinario, bajo la dirección de D. Jose Miguel Muñoz Veiga, Jefe de la Sección de Difusión Ambiental de la Diputació de València, y elaborado por la **Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid**, bajo la dirección de D. José Manuel Burón Caballero, Profesor Titular de Máquinas y Motores Térmicos y el siguiente equipo investigador: Eugenio Álvarez Cadarso, Óscar Izquierdo Gómez y David Miranda Carreño.

FERRMED es una asociación sin ánimo de lucro constituida en Bruselas bajo la ley belga, por iniciativa de la sociedad civil, particularmente del mundo empresarial, para promover el Eje ferroviario de mercancías Escandinavia-Rin-Ródano-Mediterráneo Occidental.

El tronco principal del Eje se inicia en Estocolmo, recorre buena parte de los valles del Rin y del Ródano y discurre por toda la costa Mediterránea más occidental hasta llegar a Algeciras.

En el estudio que se ha realizado y que se muestra a través del presente documento, se analiza la parte de este corredor que discurre desde la ciudad de Algeciras hasta la localidad de Cerbère. Ciudades como Murcia, Valencia y Barcelona constituyen núcleos industriales y de actividad empresarial por los que discurre este eje de transporte de mercancías.

El análisis del eje se ha dividido en dos partes fundamentales. En la primera de ellas se estudia el eje de transporte constituido por las ciudades de Algeciras y Cerbère considerando el modo ferrocarril. En la segunda se considera como protagonista a la carretera como modo de transporte.

En ambos trabajos se analiza el eje de transporte desde el punto de vista medioambiental con el objetivo de evaluar el impacto del desarrollo del eje FERRMED. Así, el objetivo es el de estimar las emisiones generadas por el transporte de mercancías a lo largo del eje para el año 2020.

Para poder alcanzar este objetivo se ha partido de los datos de los tráficos de mercancías entre las ciudades de Algeciras y Cerbère en dos situaciones distintas. Se definen de esta manera dos escenarios de cálculo distintos en los que se tiene una misma demanda de tráficos de mercancías pero con un reparto modal entre carretera y ferrocarril distinto.

De este modo, se hablará a lo largo de este trabajo del 'Escenario FERRMED' y del 'Escenario Sin FERRMED'. Como se ha comentado, en ambos la demanda de tráficos de mercancías es la misma. Sin embargo, en el primero de ellos se considera una mayor participación del modo ferrocarril mientras que en el segundo de los escenarios el ferrocarril absorbe una menor cantidad de toneladas.

Evaluando en estos dos escenarios de cálculo al modo ferrocarril y al modo carretera desde el punto de vista medioambiental, se podrá estudiar las ventajas e inconvenientes del desarrollo del eje FERRMED en su tramo comprendido entre Algeciras y Cerbère.

En el presente informe se analiza en primer lugar el modo ferrocarril y a continuación el modo carretera. En cada uno de los dos apartados donde se describe cada uno de los modos en el eje FERRMED se plantean las hipótesis y ecuaciones que permiten evaluar las emisiones asociadas a cada modo durante el transporte de mercancías.



El estudio realizado finaliza mostrando los resultados obtenidos en cada uno de los modos con el fin de estimar las ventajas que tiene el desarrollo del eje.

Por último, se ha realizado un apartado de conclusiones, en donde se analizan y comentan los resultados obtenidos en virtud de las hipótesis de cálculo planteadas y los datos de partida.

## **2. TRANSPORTE POR FERROCARRIL**

### **2.1. INTRODUCCIÓN**

El estudio que a continuación se muestra está centrado en la parte de este eje que se desarrolla desde la ciudad Algeciras (España) hasta la localidad de Cerbère (Francia), analizando el transporte de mercancías por ferrocarril entre ambas ciudades desde el punto de vista medioambiental.

El objetivo de esta parte del trabajo es, por tanto, realizar una estimación de las emisiones contaminantes vinculadas al transporte de mercancías por ferrocarril en esta parte del corredor FERRMED para el año 2020. Para poder realizar esta estimación se tendrán en cuenta los datos de tráfico de mercancías esperados en este eje.

Se tiene así que el principal dato de entrada para poder realizar la estimación de contaminación asociada al ferrocarril es la previsión de movilidad de mercancías a lo largo del eje. Esta previsión se comparará con una estimación futura de movilidad en la que el eje FERRMED no aparece como alternativa de transporte de mercancías.

De este modo, los cálculos desarrollados en el presente documento para el año 2020, van a estar referidos a dos previsiones distintas de movilidad. Por tanto, se definirán dos escenarios distintos y se estimará en cada uno de ellos las emisiones generadas en el transporte de mercancías.

No obstante, para poder conseguir el objetivo planteado también es necesaria otro tipo de información. Durante la explicación que se va a realizar para mostrar la metodología de cálculo empleada, se indicará qué nuevos datos son los que se precisan así como su tratamiento para poder ser empleados. Se trata de datos relacionados con los tipos de tracción ferroviaria, factores de emisión según la sustancia emitida a la atmósfera y consumos energéticos.

Resaltar que el desarrollo del corredor FERRMED potencia el modo ferrocarril frente al modo carretera con el fin de conseguir un menor consumo energético en el transporte de mercancías y una menor cantidad de emisiones atmosféricas.

Por tanto, se tiene que el fin último al que se quiere llegar con la realización de estos cálculos, es el de analizar la viabilidad de este eje de transporte desde el punto de vista medioambiental. De este modo, se debe comentar que el presente trabajo se complementa, como ya se ha comentado, con un estudio de similares características asociado al modo carretera. El análisis de las emisiones generadas en el transporte de mercancías en ambos modos tiene como finalidad el de estimar qué cantidad de éstas se podrían evitar en el año 2020, como consecuencia del desarrollo del eje FERRMED en el tramo Algeciras-Cerbère.

En la parte final del presente capítulo se incluye un apartado de conclusiones en el que se analizan los resultados de las estimaciones realizadas. Dado que el eje FERRMED supone una potenciación del modo ferrocarril, y por tanto, un aumento de la cantidad de mercancías



transportadas a través de este modo, cabe esperar un aumento de sus emisiones como consecuencia del desarrollo esperado para el año 2020.

Ahora bien, se debe comentar que esta evolución del ferrocarril se realiza a expensas del modo carretera. Dado que el primero se caracteriza por generar menos emisiones, es de esperar una reducción en la cantidad total de emisiones al analizar el eje FERRMED de forma global, considerando tanto el modo carretera como el modo ferrocarril.

## 2.2. OBJETIVOS

Los objetivos de la presente parte del estudio se muestran a continuación:

- Definición de escenarios de movilidad que permitan evaluar desde el punto de vista medioambiental el desarrollo del eje FERRMED en el tramo estudiado, Algeciras-Cerbère.
- Cálculo del consumo de electricidad debido al transporte de mercancías en el tramo Algeciras-Cerbère, como consecuencia del uso de tracción eléctrica.
- Cálculo del consumo de toneladas de gasóleo debido al transporte de mercancías en el tramo Algeciras- Cerbère, como consecuencia del uso de tracción Diesel.
- Cálculo de las emisiones asociadas al transporte de mercancías por ferrocarril en el tramo Algeciras-Cerbère para los siguientes tipos de sustancias: CO<sub>2</sub>, partículas (PM), SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>.
- Determinación del aumento o reducción de las emisiones atmosféricas asociadas al transporte por ferrocarril de mercancías como consecuencia de la implantación del eje FERRMED.

## 2.3. DEFINICIÓN DE ESCENARIOS Y MOVILIDAD

El corredor FERRMED se encuentra definido bajo las siguientes premisas:

1) Aumento del tráfico de mercancías a lo largo del eje a partir del desarrollo de infraestructuras y del desarrollo económico de las zonas geográficas que se ven afectadas por el corredor.

2) Aumento de la participación del modo ferrocarril a la hora de absorber el aumento de la demanda de tráficos como consecuencia del fomento de la intermodalidad entre los distintos modos de transporte.

El análisis que se va a realizar desde el punto de vista medioambiental del eje Algeciras-Cerbère, va a considerar el citado aumento de los tráficos de mercancías y que la asociación FERRMED ha estimado.

Así mismo, también se va a considerar la cuota de participación esperada para el modo ferrocarril en estas circunstancias. Ahora bien, indicar que también se va a realizar una estimación considerando las demandas de tráficos previstas pero sin considerar la participación del ferrocarril esperada, lo que equivale a decir que el ferrocarril no va a desarrollarse según lo esperado, considerándose unas cuotas de participación inferiores a las previstas.

De este modo, se tiene que hablar a partir de este momento de escenarios de cálculo, los cuales se van caracterizar por tener igual demanda total de tráficos de mercancías pero diferentes cuotas de participación del modo ferrocarril a la hora de absorber esta demanda.



De esta manera, quedan definidos los dos escenarios que van a permitir analizar el eje Algeciras-Cerbère para el año 2020:

- Escenario FERRMED,
- Escenario SIN FERRMED

El primero de ellos se caracteriza por tener una mayor participación del modo ferrocarril en el transporte de mercancías, mientras que el segundo presenta una demanda de tráfico igual al primero pero con una menor importancia del modo ferrocarril en el transporte.

Con la definición de estos dos escenarios de cálculo partiendo de las estimaciones de movilidad esperada para el eje Algeciras-Cerbère, se va a realizar una comparativa entre ellos desde el punto de vista de las emisiones generadas durante el transporte. Para tener completamente definidos los dos escenarios se deben establecer las cuotas de participación del ferrocarril en cada uno de ellos, característica diferenciadora entre ambos.

### 2.3.1. ESCENARIO FERRMED

Uno de los principales datos de entrada para poder realizar el estudio es la movilidad asociada al transporte de mercancías por ferrocarril para el tramo analizado.

Los datos de movilidad que se han analizado han sido facilitados por FERRMED, que como se ha indicado es una asociación sin ánimo de lucro constituida en Bruselas, por iniciativa de la sociedad civil, particularmente del mundo empresarial, para promover el Eje ferroviario de mercancías Escandinavia-Rin-Ródano-Mediterráneo Occidental

De la información analizada se han tomado los siguientes datos como referencia:

**Tabla.-1. Tráficos de mercancías Eje FERRMED. Año 2020**

<b>Horizonte 2020 (Mt)</b>	<b>Carretera</b>	<b>Ferrocarril</b>	<b>Total</b>
<b>Cerbère-Valencia (Tramo 1)</b>	84,3	32,0	116,3
<b>Valencia-Algeciras (Tramo 2)</b>	73,0	12,9	85,9

Resaltar que en esta última estimación de tráfico, el eje Algeciras- Cerbère se ha dividido en dos tramos. El primero de ellos considera el trayecto entre Cerbère y Valencia (Tramo 1), mientras que el segundo tiene en cuenta esta última ciudad y la localidad de Algeciras (Tramo 2). A partir de ahora y a lo largo del resto del documento se mantendrá esta división en tramos del eje de transporte constituido por Algeciras y Cerbère.

El Escenario FERRMED se caracteriza por tener una demanda de tráfico de mercancías en el tramo 1 (Valencia-Cerbère) de 116,3 Mt para el año 2020. Para el tramo 2 (Algeciras-Valencia), la demanda esperada en ese mismo año es de 85,9 Mt.

Respecto a los porcentajes de participación, para el tramo 1 se tiene que el ferrocarril absorbe un total de 32,0 Mt del tráfico, lo que supone una cuota de participación del 27,5% aproximadamente.

Para el tramo 2, las toneladas transportadas por el ferrocarril del total de la demanda son de 12,9 Mt, lo que supone un porcentaje de participación del 15% aproximadamente.

En la siguiente tabla se muestra un resumen con la cuota porcentual de cada modo de transporte, carretera y ferrocarril, esperada para el año 2020, que definen el Escenario FERRMED.

**Tabla.-2. Cuota Modal FERRMED. Año 2020**

Horizonte 2020 (Cuota)	Carretera	Ferrocarril	Total
<b>Cerbère-Valencia</b>	72,48%	27,52%	100,00%
<b>Valencia-Algeciras</b>	84,98%	15,02%	100,00%

### 2.3.2. ESCENARIO SIN FERRMED

El escenario SIN FERRMED tiene una demanda de tráficos de mercancías igual con el escenario FERRMED: 116,3 Mt para el tramo 1 y 85,9 Mt para el tramo 2.

Como ya se ha comentado, la diferencia entre ambos escenarios se encuentra en que disponen de distintas cuotas de participación para los modos ferrocarril y carretera.

Para el escenario SIN FERRMED se han estimado unos porcentajes de participación para el modo ferrocarril a partir de la demanda de tráficos esperados en el eje Algeciras-Cerbère en el año 2020, en la hipótesis en que no se desarrolla el corredor FERRMED.

La cuota porcentual de cada modo de transporte, carretera y ferrocarril, esperada para el año 2020 es la siguiente:

**Tabla.-3. Cuota Modal SIN FERRMED. Año 2020**

Horizonte 2020 (Cuota)	Carretera	Ferrocarril	Total
<b>Cerbère-Barcelona</b>	82,00%	18,00%	100,00%
<b>Barcelona-Valencia</b>	86,00%	14,00%	100,00%
<b>Valencia-Murcia</b>	97,50%	2,50%	100,00%
<b>Murcia-Algeciras</b>	97,01%	2,99%	100,00%

Para el tramo 1, se determinará el porcentaje de participación del modo ferrocarril ponderando las cuotas de participación de este modo en los tramos Cerbère-Barcelona y Barcelona-Valencia, 18% y 14% respectivamente, por medio de la demanda de tráficos totales.

Para determinar el porcentaje del modo ferrocarril en el tramo 2, se procederá de igual forma sólo que aplicando los porcentajes del ferrocarril en los tramos Valencia-Murcia y Murcia-Algeciras. De igual forma que en el tramo 1 también se realizará una ponderación considerando el transporte de mercancías esperado.

Realizando los cálculos se obtienen los siguientes porcentajes de participación del modo ferrocarril para el escenario SIN FERRMED para el año 2020.

**Tabla.-4. Cuota FFCC por tramo. Escenario Sin FERRMED**

E. SIN FERRMED 2020 (Cuota)	Ferrocarril
<b>Cerbère-Valencia (Tramo 1)</b>	15,55%
<b>Valencia-Algeciras (Tramo 2)</b>	2,80%



### 2.3.3. MOVILIDAD

Para concluir esta parte del estudio se debe comentar que las demandas de tráfico estimadas por FERRMED en el eje Algeciras-Cerbère para el año 2020, se han transformado a datos de movilidad expresados en tonelada-kilómetro bruta (TKB) y en tonelada-kilómetro neta (TKN).

Para ello, se ha empleado la distancia media ferroviaria entre los puntos origen destino de cada uno de los dos tramos considerados. El producto entre la demanda de mercancías y la distancia media ferroviaria da la movilidad de mercancías en TKN.

El factor de conversión empleado para pasar de TKN a TKB es de 39,1 según los datos analizados de la compañía RENFE. Las TKB en cada uno de los tramos es el dato que se emplea para evaluar las emisiones en cada uno de los dos escenarios.

Los valores adoptados para realizar el presente estudio son los siguientes.

**Tabla.-5. Estimación de movilidad según escenarios**

<b>Año 2020</b>	<b>E. FERRMED</b>	<b>E. SIN FERRMED</b>
<b>Distancia Tramo 1</b>	518	518
<b>Distancia Tramo 2</b>	940	940
<b>Tramo 1 (TKN en millones)</b>	16.566	9.368
<b>Tramo 1 (TKB en millones)</b>	42.370	23.958
<b>Tramo 2 (TKN en millones)</b>	12.112	2.260
<b>Tramo 2 (TKB en millones)</b>	30.976	5.782

Se debe comentar que se han considerado dos tipos de trenes para poder realizar el transporte de mercancías. El primero de ellos son los trenes que emplean la electricidad para poder realizar el transporte. A partir de este momento se hará mención a ellos como tracción eléctrica.

El otro tipo de trenes que se considera son los que disponen de un motor de combustión interna y que emplean como combustible el gasóleo. Se hará mención a este tipo de trenes a partir de este apartado como tracción Diesel.

Según datos de la compañía RENFE el 85,2% de las TKB transportadas en España se realizan por medio de tracción eléctrica. El resto, es decir, un 14,8% se transportan por medio de trenes de tracción Diesel.

Con estos porcentajes se puede disgregar la movilidad considerada en el apartado anterior para cada tramo en cada uno de estos dos tipos de tracción.

### 2.4. METODOLOGÍA DE CÁLCULO

En el presente apartado se explica el procedimiento de cálculo que se ha decidido aplicar a la hora de estimar las emisiones generadas como consecuencia del transporte de mercancías en el eje Algeciras-Cerbère.

Las expresiones que se han empleado para realizar los cálculos de emisiones contaminantes, presentan una estructura similar tanto para los trenes de tracción eléctrica como para aquellos que usan gasóleo como combustible para poder realizar el transporte.



A continuación se muestran las expresiones consideradas en cada tipo de tracción.

#### 2.4.1. TRACCIÓN ELÉCTRICA

La ecuación utilizada para la propulsión eléctrica es la siguiente:

$$E_{i,e} = C_e \cdot e_{i,e}$$

donde se tiene que:

- $E_{i,e}$  representa la cantidad de contaminante  $i$  expresado en gramos debido a la tracción eléctrica.
- $C_e$  es el consumo de energía expresado en kWh.
- $e_{i,e}$  representa el factor de emisión del contaminante  $i$  expresado en gramos de contaminante emitido por kWh consumido (g/kWh) correspondiente a la tracción eléctrica.

Para poder realizar esta estimación es necesario conocer los siguientes datos:

- Factor de consumo de los trenes que emplean la electricidad expresado en kWh consumido por tonelada kilómetro bruta (kWh/TKB), para poder evaluar el consumo empleando los datos de movilidad obtenidos.
- Factores de emisión para cada contaminante asociados a la tracción eléctrica.

#### 2.4.2. TRACCIÓN DIESEL

En el caso de los trenes que emplean gasóleo, la ecuación planteada es la que se muestra a continuación:

$$E_{i,d} = C_d \cdot e_{i,d}$$

donde se tiene que:

- $E_{i,d}$  representa la cantidad de contaminante  $i$  expresado en gramos debido a la tracción Diesel.
- $C_d$  es el consumo de energía expresado en kg de combustible.
- $e_{i,d}$  representa el factor de emisión del contaminante  $i$  expresado en gramos de contaminante emitido por kilogramo de combustible consumido (g/kg) correspondiente a la tracción Diesel.

Para poder realizar esta estimación es necesario conocer los siguientes datos:

- Factor de consumo asociado a los trenes que emplean como combustible el gasóleo expresado en gramos de combustible por tonelada kilómetro bruta (g/TKB) para poder estimar la cantidad de combustible necesaria para realizar el transporte considerado.
- Factores de emisión para cada contaminante asociados a los dos tipos de tracción considerados.

En los siguientes apartados se comentará el proceso de obtención de estos datos, necesarios para poder realizar el cálculo de las emisiones.



## 2.5. CONSUMO DE ENERGÍA

Como se ha comentado, se debe emplear un factor de consumo para los trenes eléctricos y otro distinto para aquellos que emplean gasóleo.

### 2.5.1. FACTORES DE CONSUMO TRACCIÓN ELÉCTRICA

Teniendo en cuenta la memoria anual de RENFE para el año 2001, se tiene que la cantidad total de energía consumida para poder realizar el transporte de mercancías es de 641,43 GWh.

Por otro lado, las toneladas kilómetro brutas asociadas a los trenes eléctricos para este mismo año fueron de 26.446 millones de TKB.

Haciendo el cociente entre la cantidad de energía consumida y el dato de movilidad total, se obtiene un consumo específico medio. En concreto, el valor obtenido realizando esta operación es de 24,2 Wh/TKB.

Para obtener el consumo de energía eléctrica en cada uno de los ejes de transporte seleccionados, se considerará como factor de consumo el obtenido de esta manera.

Por último, hay que comentar que se han tenido en cuenta las pérdidas que se producen en la red eléctrica como consecuencia del transporte de la electricidad. De este modo, se ha considerado unas pérdidas del 10% por kWh consumido.

$$Ce = 1,10 \cdot ce \cdot TKBe$$

La expresión anterior muestra el método de obtención del consumo energético asociado a los trenes eléctricos. En ella se tiene que:

- Ce representa el consumo de electricidad en kWh.
- ce es el consumo específico expresado en kWh/TKB.
- TKBe es la movilidad asociada a los trenes eléctricos para un eje determinado.

Los valores de consumo de electricidad que se han calculado bajo estas hipótesis para cada tramo y para cada uno de los dos escenarios son los siguientes:

**Tabla.-6. Consumo eléctrico del FFCC según escenarios**

<b>Año 2020 Tracción Eléctrica</b>	<b>E. FERRMED</b>	<b>E. SIN FERRMED</b>
<b>Tramo 1 (MWh)</b>	963.131	544.607
<b>Tramo 2 (MWh)</b>	704.134	131.438

### 2.5.2. FACTORES DE CONSUMO TRACCIÓN DIESEL

Si se tiene en cuenta de nuevo los datos de RENFE para el 2001, se tiene que el ferrocarril consumió un total de 44,14 millones de litros de gasóleo para realizar el transporte nacional de mercancías por medio de este tipo de trenes. Los datos de movilidad para este mismo año muestran que se realizaron 4594 millones de toneladas kilómetro brutas con esta cantidad de combustible.

Realizando el cociente entre la cantidad de combustible empleada y la movilidad obtenida, se obtiene un consumo específico de 9,6 cm<sup>3</sup> de gasóleo por TKB.



Suponiendo que este consumo de combustible se mantiene constante en cada uno de los ejes de transporte estudiados, se puede realizar una estimación de la cantidad de gasóleo empleado en cada uno de los ejes.

De este modo, considerando la movilidad obtenida para los trenes Diesel y el factor de consumo estimado, la expresión a emplear para obtener el consumo de combustible es la siguiente:

$$Cd = d \cdot cd \cdot \text{TKBd}$$

En la fórmula anterior se tiene que:

- Cd representa el consumo de gasóleo en gramos.
- cd es el consumo específico expresado en dm<sup>3</sup>/TKB.
- TKBd es la movilidad asociada a los trenes eléctricos para un eje determinado.
- d es la densidad del gasóleo expresada en gramos por dm<sup>3</sup>. Para realizar los cálculos se ha adoptado el valor de 860 g/dm<sup>3</sup>.

Los valores de consumo de gasóleo estimado para cada tramo en cada uno de los escenarios planteados son los siguientes:

**Tabla.-7. Consumo de gasóleo del FFCC según escenarios**

<b>Año 2020 Tracción Diesel</b>	<b>E. FERRMED</b>	<b>E. SIN FERRMED</b>
<b>Tramo 1 (t)</b>	51.817	29.300
<b>Tramo 2 (t)</b>	37.883	7.071

## **2.6. FACTORES DE EMISIÓN**

Al igual que se ha realizado una distinción entre los factores de consumo de los trenes eléctricos y los trenes que emplean gasóleo, a la hora de hablar de factores de emisión también se ha realizado una separación similar entre ambas tipo de propulsión.

### **2.6.1. FACTORES DE EMISIÓN TRACCIÓN ELÉCTRICA**

Los factores de emisión de los trenes eléctricos van a estar vinculados a los tipos de centrales eléctricas que generan la electricidad que al final van a consumir los trenes durante el transporte.

Para poder determinarlos se han realizado consultas a las empresas productoras de electricidad con respecto a los factores de emisión correspondientes a sus centrales eléctricas. Las empresas consultadas han sido IBERDROLA, ENDESA y UNIÓN FENOSA debido a que son las principales productoras de energía eléctrica en España.

De este modo, la información que se ha obtenido en cuanto a factores de emisión de centrales eléctricas son los siguientes:

**Tabla.-8. Factores de emisión por compañía eléctrica**

SUSTANCIA	U. FENOSA	IBERDROLA	ENDESA
CO <sub>2</sub> (g/kWh)	514	211	469
PM (g/kWh)	0,18	0,04	0,10
SO <sub>2</sub> (g/kWh)	4,61	0,58	5,28
NO <sub>x</sub> (g/kWh)	1,54	0,48	1,71

Los factores de emisión que se han obtenido tienen en cuenta el “mix” de centrales eléctricas de cada una de estas compañías. Están referidos al año 2006.

Por otro lado, también se ha considerado la producción relativa de electricidad de cada una de estas compañías, de tal forma que los factores de emisión que se emplean para la tracción eléctrica resultan de ponderar los factores facilitados por las empresas eléctricas con su producción relativa.

**Tabla.-9. Producción de electricidad por compañía**

COMPAÑÍA	PRODUCCIÓN (GWh)	PORCENTAJE
U. FENOSA	45.842	23,27
IBERDROLA	68.348	34,69
ENDESA	82.842	42,04
<b>TOTAL</b>	<b>197.032</b>	<b>100</b>

Los valores de los factores de emisión que se emplearán para realizar el cálculo de emisiones del transporte de mercancías por ferrocarril a través de trenes con propulsión eléctrica son los siguientes:

**Tabla.-10. Factores de emisión tracción eléctrica**

CONTAMINANTE	F. EMISIÓN
CO <sub>2</sub> (g/kWh)	389,78
PM (g/kWh)	0,10
SO <sub>2</sub> (g/kWh)	3,49
NO <sub>x</sub> (g/kWh)	1,24

Se debe comentar que los factores de emisión que se han tenido en cuenta en el presente estudio están referidos para el año 2006. El objetivo es evaluar las emisiones vinculadas a la tracción eléctrica para el año 2020. Para ello se han aplicado las siguientes hipótesis de cálculo:

- Según la documentación analizada en diversos documentos de prensa, las emisiones de gases de efecto invernadero del año 2006 han aumentado un 48,05% con respecto a las emisiones del año 1990. Se supondrá una evolución similar para las emisiones generadas en la producción de electricidad.
- Existe un compromiso por parte de las empresas productoras de electricidad de conseguir para el año 2020 que las emisiones generadas en la producción de energía eléctrica sean un 20% inferiores a las que se producían en el año 1990.



Con estos dos datos se pueden transformar las emisiones calculadas con los factores de emisión del año 2006 y la movilidad del año 2020, en emisiones referidas para al año 2020. Para ello se han empleado las siguientes ecuaciones que son válidas para todos los contaminantes considerados en el estudio:

$$E_{2006} = E_{1990} \cdot (1 + A)$$

En donde se tiene que:

- E2006 son las emisiones expresadas en toneladas de un contaminante determinado calculadas con los factores de emisión referidos al año 2006.
- E1990 son las emisiones de un contaminante determinado referidas al año 1990.
- A es el factor de conversión que permite pasar las emisiones del año 2006 a emisiones del año 1990. En este caso su valor es de 48,05%.

Por otro lado, se tiene la siguiente expresión:

$$E_{2020} = E_{1990} \cdot (1 - B)$$

En donde se tiene que:

- E2020 son las emisiones de un contaminante determinado del año 1990 referidas al año 2020.
- B es el factor de conversión que permite pasar las emisiones del año 1990 a emisiones referidas al año 2020. En este caso su valor es de 20%.

Considerando ambas expresiones se tiene que las emisiones vinculadas a la tracción eléctrica calculadas con los factores de emisión de las compañías eléctricas para el año 2006, se deben corregir según el procedimiento indicado, teniendo en cuenta el aumento de las emisiones y el compromiso de las compañías eléctricas para reducir sus emisiones a la atmósfera.

$$E_{2020} = \{(1 - B) / (1 + A)\} \cdot E_{1990}$$

## 2.6.2. FACTORES DE EMISIÓN DIESEL

Los factores de emisión correspondientes a los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y a las partículas (PM), se han tomado de la Metodología CORINAIR. De este modo, los factores de emisión para estos dos contaminantes que afectan a los motores Diesel que se emplean en los ferrocarriles son:

**Tabla.-11. Factores emisión de PM y NO<sub>x</sub>. Tracción Diesel**

SUSTANCIA	F. EMISIÓN
PM (g/kg gasóleo)	4,58
NO <sub>x</sub> (g/kg gasóleo)	39,6

En la tabla anterior se muestran los gramos de contaminante emitido por cada kilogramo de combustible consumido por el motor del tren.



Para calcular la cantidad de dióxido de carbono emitido a la atmósfera, se ha empleado la siguiente expresión, tomada de la metodología CORINAIR:

$$E_{CO_2} = 44,011 \cdot Cd / (12,011 + 1,008 \cdot r_{H/C})$$

En donde se tiene que:

- $E_{CO_2}$  representa la cantidad de  $CO_2$  emitida expresada en kilogramos.
- Cd representa el consumo de gasóleo en kilogramos.

La relación existente entre los átomos de hidrógeno y de carbono en el combustible está representada por  $r_{H/C}$ . En el caso del gasóleo el valor es de aproximadamente dos.

Para poder estimar la cantidad de dióxido de azufre emitido a la atmósfera durante el transporte de mercancías, se ha empleado la siguiente expresión, tomada también de la metodología CORINAIR:

$$E_{SO_2} = 2 \cdot Ks \cdot Cd$$

En donde se tiene que:

- Ks representa el contenido de azufre en el combustible empleado por los trenes, expresado en kilogramos de azufre por kilogramo de combustible. Para el caso del gasóleo se ha decidido adoptar el valor de 0,05 kg de azufre (Kouridis, C.; Ntziachristos, L. y Samaras, Z. (2.000)) por kilogramo de combustible.
- Cd representa el consumo de gasóleo en kilogramos.

## 2.7. RESULTADOS

En el presente apartado del estudio se muestran los resultados obtenidos al aplicar las hipótesis de movilidad y metodología de cálculo de emisiones detallada, teniendo en cuenta los contaminantes estudiados, sus factores de emisión y los factores de consumo.

A continuación se muestran los resultados del estudio teniendo en cuenta los tramos considerados para el eje Cerbère-Algeciras: Tramo 1 (Cerbère-Valencia) y Tramo 2 (Valencia-Algeciras).

**Tabla.-12. Emisiones esperadas por tramo según escenarios**

<b>Año 2020</b>	<b>E. FERRMED</b>	<b>E. SIN FERRMED</b>	<b>VARIACIÓN</b>
<b>CO<sub>2</sub> Tramo 1 (t)</b>	203.018,94	114.797,98	88.220,96
<b>PM Tramo 1 (t)</b>	289,06	163,45	125,61
<b>SO<sub>2</sub> Tramo 1 (t)</b>	1.823,70	1.031,22	792,48
<b>NOx Tramo 1 (t)</b>	2.699,63	1.526,52	1.173,11
<b>CO<sub>2</sub> Tramo 2 (t)</b>	148.424,87	27.705,98	120.718,89
<b>PM Tramo 2 (t)</b>	211,33	39,45	171,88
<b>SO<sub>2</sub> Tramo 2 (t)</b>	1.333,29	248,88	1.084,41
<b>NOx Tramo 2 (t)</b>	1.973,67	368,42	1.605,25

Los valores mostrados tienen en cuenta los tramos analizados así como los tipos de tracción de ferrocarril empleados. La última columna de la tabla supone la diferencia existente entre las emisiones generadas por el ferrocarril en el escenario FERRMED y las generadas en el escenario SIN FERRMED.

Como se puede observar, el desarrollo del corredor FERRMED en el tramo Algeciras-Cerbère supone un aumento de las emisiones vinculadas al transporte de mercancías por ferrocarril.

Dado que en ambos escenarios se ha supuesto la misma demanda de tráfico de mercancías, esta diferencia se debe a la consideración de distintas cuotas de participación de este modo. Al tener un mayor peso el ferrocarril en el transporte en el escenario FERRMED se produce un aumento de sus emisiones a la atmósfera.

En la siguiente tabla se muestra la estimación de emisiones generadas durante el transporte de mercancías por ferrocarril en el eje Cerbère-Algeciras para el año 2020.

**Tabla.-13. Emisiones esperadas según escenarios**

<b>Año 2020</b>	<b>E. FERRMED</b>	<b>E. SIN FERRMED</b>	<b>VARIACIÓN</b>
<b>CO<sub>2</sub> Eje (t)</b>	351.443,81	142.503,96	208.939,85
<b>PM Eje (t)</b>	500,39	202,90	297,49
<b>SO<sub>2</sub> Eje (t)</b>	3.156,99	1.280,10	1.876,89
<b>NOx Eje (t)</b>	4.673,30	1.894,94	2.778,36

### **3. TRANSPORTE POR CARRETERA**

#### **3.1. INTRODUCCIÓN**

El presente estudio recoge la metodología, el cálculo y los resultados correspondientes a la evaluación de las emisiones contaminantes cesantes debidas al trasvase parcial de mercancías desde la carretera al ferrocarril, tomando siempre como marco de referencia el eje de transporte FERRMED a su paso por España.

Los datos que alimentan el estudio provienen de fuentes diversas. Por un lado se utilizan los proporcionados por la propia Asociación FERRMED, de carácter fundamental, ya que marcan la referencia de los puntos de partida y de destino. Desde el enfoque del transporte por carretera cuantifican las toneladas de mercancías que se trasvasarán a consecuencia de la construcción del eje en el año horizonte 2020. Asimismo proporcionan una clara visión del trazado físico de carreteras que articulan el eje, facilitando la división en tramos y subtramos. Por otro lado se usan datos proporcionados por los Organismos Oficiales del Estado, en concreto se utilizan los suministrados por los Ministerios de Industria, Fomento y Medioambiente. En sus anuarios se recogen datos tanto cuantitativos como cualitativos, fundamentales a la hora del cálculo de emisiones contaminantes, entre ellos podemos encontrar intensidades medias diarias de tráfico de vehículos pesados (I.M.D.P), velocidades



medias puntuales, mercancías transportadas, cartografía de la Red de carreteras del Estado, etc.

A pesar de la gran cantidad de información que engloban las fuentes anteriores, se emplean varias hipótesis de índole interna y externa, apoyándose, algunas de ellas, en documentos científico-técnicos ya desarrollados anteriormente en otros estudios. El uso de estas hipótesis se debe a la elevada complejidad del cálculo de emisiones contaminantes del transporte por carretera, sobre todo en el aspecto de la movilidad del parque de vehículos, más aún cuando se trata de cálculos con horizontes a medio plazo, en los que no se tienen datos precisos, o los que existen son incompletos.

Con el fin de evaluar las emisiones contaminantes que provoca el transporte de mercancías por carretera, se ha desarrollado un modelo que se ciñe a las exigencias del eje FERRMED. Este modelo está basado en la metodología CORINAIR, ampliamente utilizada en la actualidad cuando se trata de estimar emisiones contaminantes de esta naturaleza. Un ejemplo importante de su uso se encuentra en el programa COPERT (*Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport*), que permite el cálculo de las emisiones producidas por parques de vehículos dentro del ámbito europeo.

El modelo calcula un amplio rango de gases y partículas contaminantes generados en el proceso de combustión, permitiendo realizar un análisis pormenorizado en cuanto a tipo de contaminante y cantidad emitida del mismo. En particular se obtienen cantidades emitidas de  $\text{CO}_2$ , óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ),  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ , partículas, etc. Siendo el  $\text{CO}_2$  el principal responsable del efecto invernadero, junto al metano y el vapor de agua. Los óxidos de nitrógeno y otros productos de la combustión no son menos importantes, ya que son los responsables de una parte de las afecciones respiratorias de la población de las grandes ciudades.

La estrategia para determinar las emisiones contaminantes netas cesantes debidas al trasvase parcial de mercancías, es plantear dos escenarios distintos; uno en el que no se habría desarrollado el eje FERRMED, es decir, habría una evolución natural de las infraestructuras a lo largo del corredor, y otro escenario en el que sí se habría desarrollado por completo el eje FERRMED. La diferencia de emisiones entre las dos situaciones representa el ahorro de emisiones que se conseguiría por la construcción del eje.

El estudio se completa con el cálculo final de las emisiones contaminantes *reales*, ya que a las emisiones que dejan de producirse al desaparecer cierta cantidad de tráfico de las carreteras hay que sumar las emisiones contaminantes derivadas del incremento del transporte ferroviario.

### 3.2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este proyecto es evaluar el ahorro de emisiones contaminantes debidas al transporte de mercancías por carretera, en el caso de un trasvase parcial de mercancías de la carretera al ferrocarril, particularizando todos los parámetros al tramo del eje FERRMED que transcurre por España. De tal forma que se puedan estimar las emisiones que dejan de producirse al desaparecer cierta cantidad de tráfico de las carreteras que componen el eje.

El proyecto debe contemplar dos escenarios diferentes, un primer escenario, denominado *escenario sin FERRMED*, que caracterizaría la situación en la que el eje a su paso por España no estuviera construido, en el año 2020. Y un segundo escenario, denominado



*escenario con FERRMED*, que representaría la situación en la que el eje estaría completamente desarrollado, en el año 2020. De la diferencia de emisiones entre los dos escenarios se obtendrán las emisiones cesantes netas que produce el trasvase de mercancías.

En resumen, los objetivos que persigue este proyecto, particularizados para la carretera, son evaluar las emisiones contaminantes que se producirían en los dos escenarios mencionados anteriormente, de forma que:

- Se obtengan las emisiones contaminantes pormenorizadas, tanto cualitativamente como cuantitativamente del *escenario sin FERRMED*.
- Se obtengan las emisiones contaminantes pormenorizadas, tanto cualitativamente como cuantitativamente del *escenario con FERRMED*.
- Se puedan comparar ambos escenarios a fin de calcular el ahorro de emisiones contaminantes resultante del desarrollo del eje FERRMED.

Para alcanzar los objetivos finales será necesario cumplir los siguientes objetivos secundarios:

- Descomposición del eje en tramos y subtramos de la Red de Carreteras del Estado, seleccionando sólo aquellas vías que tienen un peso importante en el trazado del eje.
- Desarrollo de un modelo que caracterice los parámetros de movilidad del tráfico de mercancías en ambos escenarios.
- Desarrollo de un modelo que adapte la metodología CORINAIR al caso del eje FERRMED.
- Programación informática de los modelos, de tal forma que ambos queden unificados en una única herramienta que permita el cálculo directo de las emisiones contaminantes.
- Cálculo final de las emisiones de los distintos contaminantes, de forma que se obtengan las emisiones de los siguientes compuestos:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{VOC}$ ,  $\text{PM}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NMVOC}$  y consumo de combustible

### 3.3. METODOLOGÍA DE CÁLCULO

Para alcanzar los objetivos del proyecto se ha partido de la documentación disponible, extrayendo de ésta los datos necesarios para el desarrollo de los modelos de cálculo. Como ya se ha mencionado anteriormente son tres las fuentes de datos; La Asociación FERRMED, los Organismos Oficiales del Estado y otros documentos bibliográficos de carácter científico-técnico. Asimismo en aquellos puntos del estudio en los que no existen datos se han tomado las hipótesis necesarias para alcanzar los objetivos propuestos. La selección de estas hipótesis se justificará a lo largo del desarrollo de la metodología.

#### 3.3.1. DESCOMPOSICIÓN VIARIA DEL EJE

En primer lugar se realiza una descomposición del trazado del eje a su paso por España en tramos y subtramos. Entendiendo por subtramo a la ruta que transcurre por una única carretera, es el mínimo nivel de agregación del modelo. Esta descomposición surge a partir del análisis de los datos viarios de la Asociación FERRMED y del Mapa de tráfico 2005 del



Ministerio de Fomento, siendo éste documento la información más actualizada sobre intensidades medias diarias de tráfico de vehículos pesados (I.M.D.P) y velocidades medias correspondientes a las distintas vías del eje. Asimismo se completa la descomposición del trazado con la información viaria que proporciona la Red de Carreteras del Estado.

Para la elección de los tramos y subtramos del eje se han tenido en cuenta las siguientes directrices:

- Son tres los factores fundamentales considerados en la selección de tramos:
  - **Intensidad media** diaria de vehículos.
  - **Velocidad media** de los vehículos.
  - **Recorridos** razonables para cubrir la distancia entre dos localidades dadas.

Teniendo en cuenta los factores anteriores, se ha obtenido el trazado de las rutas posibles que pueden realizar los camiones, en el corredor de mercancías considerado, entre las distintas localidades. Así, un camión podría ir de un punto a otro utilizando una autopista de peaje, o bien usando una carretera nacional, sin peaje. El estudio considerará ambos casos.

- Se han seleccionado aquellos tramos o subtramos del eje que son representativos, es decir, los que tienen una intensidad media de tráfico de vehículos pesados significativa, despreciándose los tramos en los que dicha intensidad es muy baja. Por otra parte se han escogido aquellos tramos que son coherentes con el trazado del eje, no considerándose las rutas que se alejan de los recorridos razonables de los vehículos pesados que transitan por el eje.
- A fin de evitar tráficos locales en las proximidades de grandes ciudades o en puntos de confluencia de vías se han utilizado los datos de intensidades y velocidades en aquellos puntos de los tramos que están suficientemente alejados de las zonas congestionadas, en los que tanto las velocidades como las intensidades se encuentran estabilizados. De esta manera se consiguen soslayar los tráficos locales que, sin duda, alterarían el resultado final del estudio.
- La selección de las velocidades medias de los vehículos pesados de cada tramo se ha realizado según la siguiente tabla:

**Tabla.-14. Velocidades medias de los vehículos pesados**

Velocidad media turismos < 90 km/h		Velocidad media turismos >= 90 km/h	
Velocidad media vehículos pesados	Velocidad turismos	media	90 km/h

Esta selección viene determinada por el hecho de que en el Mapa de Tráfico encontramos, para vehículos pesados de mercancías, velocidades medias puntuales, mientras que para turismos encontramos velocidades medias por tramos, lo cual es un dato mucho más significativo que el puntual. El hecho de limitar la velocidad máxima de los vehículos pesados a 90 km/h viene impuesto por la normativa de tráfico referente a velocidades máximas, que limita la velocidad máxima de los camiones a 90 km/h en autovía o autopista.



- En coherencia con los datos proporcionados por la Asociación FERRMED, respecto a la cantidad de mercancías transportadas por el ferrocarril y la carretera, referidas a la situación actual y a la futura del año 2020, se ha dividido el eje en dos partes. Una primera parte que va desde Cerbère hasta Valencia, y una segunda desde Valencia hasta Algeciras.

Teniendo en cuenta las directrices anteriores llegamos a la descomposición viaria final del eje a su paso por España, a partir del trazado general del eje FERRMED se ha llegado hasta la descomposición final del mismo, dividido en tramos y subtramos. Cada subtramo del recorrido quedará definido por 4 parámetros:

- **Longitud del subtramo**, expresada en kilómetros (km).
- **Intensidad media diaria de tráfico de vehículos pesados** (I.M.D.P.), expresada en vehículos por día (veh./día).
- **Velocidad media puntual de los vehículos pesados** del subtramo, expresada en kilómetros por hora (km/h).
- **Nombre y tipo de vía** del subtramo.

Finalmente se llega a los dos tramos en que queda dividido el eje:

TRAMO 1: ALGECIRAS-VALENCIA

TRAMO 2: VALENCIA-CERBÈRE

### 3.3.2. CÁLCULO Y DISTRIBUCIÓN DEL PARQUE DE VEHÍCULOS PESADOS

El cálculo del parque de vehículos pesados que recorren el eje se ha realizado a partir de la relación del parque total de camiones que circulan por el eje, las mercancías totales que esos camiones transportan por carretera y el factor de ocupación medio que registran.

Las mercancías transportadas, en el año 2020, son un dato extraído de la documentación de la Asociación FERRMED, y se encuentran en el apartado 2.3.1.

Utilizando la relación fundamental obtenemos el parque total de camiones:

$$(1) \text{ Parque} \cdot \text{FO} = \text{Mercancías} \Rightarrow \text{Parque} = \text{Mercancías} / \text{FO}$$

donde el *factor de ocupación de camiones (FO) (t/veh)* se define como la carga media de los camiones que circulan por el eje para cada una de las categorías de vehículos que contempla la metodología CORINAIR. Este factor ha sido estimado a partir de la Encuesta permanente de transporte de mercancías por carretera del Ministerio de Fomento, de acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla.-15. Factor de ocupación y % categorías**

P.M.A (t)	F.O. (t/veh)	% Categorías
< 3,5	0	0

3,5 – 7,5	0	0
7,5 – 16	9	2
16 – 32	13,5	25
> 32	15,5	73

La tabla anterior también recoge los porcentajes de distribución por categorías de los camiones de mercancías, pudiéndose obtener un factor de ocupación medio ponderado:

$$(2) FO = \sum FO_i \cdot \%_i / 100$$

En donde “i” representa las categorías de camiones según su peso máximo autorizado (3.5-7.5, 7.5-16, 16-32, > 32 t).

Se obtiene así el siguiente resultado:

$$FO = 14,87 \text{ t/veh}$$

Sustituyendo en la ecuación (1) se obtiene el valor del parque total para el año 2020.

Este parque total calculado tiene que desagregarse en función de la movilidad de cada tramo, expresada en tn-km. De esta manera obtenemos un parque ponderado equivalente de cada tramo, dando así más importancia a los tramos largos y de mayor intensidad de tráfico que a los tramos de longitud inferior y menos tráfico, mediante la siguiente ecuación:

$$(3) P_{\text{desagregado}(i,j)} = P_{\text{ijd}} = (L_i \cdot P_T \cdot I_j) / \sum L_j \cdot I_j$$

donde se tiene que:

- $L_i$  la longitud total del tramo i (km).
- $P_T$  el parque total del eje (veh).
- $I_j$  la intensidad media diaria de vehículos pesados (I.M.D.P) del subtramo j (veh/día).
- $L_{si}$  la longitud del subtramo j (km).

**Tabla.-16. Parque de vehículos desagregado por tramo.**

Parque vehículos.Año 2020 (veh)	E. FERRMED	E. SIN FERRMED
<b>Tramo 1 (Algeciras-Valencia)</b>	4.910.222	5.614.983
<b>Tramo 2 (Valencia-Cerbère)</b>	5.670.309	6.604.933

### 3.3.3. ADAPTACIÓN DEL MODELO A LA METODOLOGÍA CORINAIR

Una vez que se ha modelizado el eje dividiéndolo en tramos y calculando el parque de camiones que lo recorre hay que adaptarlo para que sea compatible con la metodología CORINAIR. Esta metodología es capaz de calcular los factores de emisión de los contaminantes considerados, y a partir de estos factores determinar las emisiones contaminantes producidas.



La metodología CORINAIR utiliza algunos de los datos ya modelizados y calculados anteriormente, y otros que hay que adaptar. En concreto, la información necesaria para su aplicación es:

- **Velocidad media de los vehículos pesados:** Dato ya modelizado siguiendo el criterio de las velocidades medias por tramo de los turismos.
- **Longitud del tramo:** Dato ya calculado anteriormente en la descomposición viaria del eje.
- **Factor de ocupación de camiones FO:** Dato ya estimado a partir de los FO de las distintas categorías de camiones.
- **Parque de vehículos pesados:** Dato ya modelizado y calculado en el apartado 3.3.2, adaptado para que sea compatible con la metodología CORINAIR, **clasificándolo según las cuatro categorías** de Peso Máximo Autorizado (P.M.A.) que contempla esta metodología (3.5-7.5, 7.5-16, 16-32, > 32 t). La metodología CORINAIR también necesita **clasificar el parque** de camiones **según las distintas normativas anticontaminación**. Según la fecha de matriculación del vehículo cumplirá una u otra normativa. Para ello se emplean datos procedentes del Anuario del Ministerio de Fomento. Las normativas Euro I y Euro II no se considerarán, ya que se suponen desaparecidas en el año 2020.

**Tabla.-17. Clasificación según normativa anticontaminación**

Normativa	%	Año entrada en vigor
Euro I	0	< 2000
Euro II	0	< 2000
Euro III	15	2000
Euro IV	12	2005
Euro V	73	2008

- **Grado de carga medio:** También llamado *Load factor*, representa el volumen medio de combustible que se va inyectando en la cámara de combustión del motor, respecto al volumen total de la cámara, a lo largo del tramo. Se considerará un grado de carga medio del 50%, para todos los tramos.
- **Pendiente media de la vía:** Se ha adoptado como hipótesis un valor de pendiente media constante e igual a cero. Esta hipótesis se justifica por el hecho de que el corredor FERRMED discurre cerca de la costa mediterránea.
- **Tipo de conducción:** El último dato que es necesario adaptar para el correcto uso de la metodología CORINAIR es el de tipo de conducción. Este parámetro expresa cómo se ha desarrollado el trayecto desde un punto a otro. Así tenemos el tipo de conducción *Autopista ( H )*, caracterizado por el uso de marchas largas y alta velocidad. El tipo de conducción *Rural ( R )*, caracterizado por el uso de marchas medias y velocidad moderada. Y el tipo de conducción *Urbano ( U )*, caracterizado por el uso de marchas cortas y velocidad baja, con paradas intermitentes. Según los datos del Mapa de tráfico 2005 del Ministerio de Fomento, se considerará como tipo de conducción *Autopista* a aquellos tramos en los que la velocidad supere los 70 km/h, y *Rural* para el resto del rango de velocidades.



Una vez que se han adaptado y definido todos los datos que necesita la metodología CORINAIR, se va aplicando ésta según el modelo del eje para cada subtramo.

Llegados a este punto la ecuación general (1) queda descompuesta de la siguiente manera:

$$(1) \text{ Parque} \cdot \text{FO} = \text{Mercancías} \Rightarrow \text{Parque} = \text{Mercancías} / \text{FO}$$

$$(4) \sum \sum P_{ij} \cdot \text{FO}_{ij} = \text{Mercancías} = M$$

donde se tiene que:

- “i” representa las cinco normativas anticontaminación, de la Euro I a la Euro V.
- “j” representa las cuatro categorías de camiones según su peso máximo autorizado ( 3.5–7.5, 7.5–16, 16–32, > 32 t ).
- $P_{ij}$  es entonces la cantidad de camiones que cumple la normativa i y que tienen una categoría de peso máximo autorizado j.

La desagregación del parque, para su adaptación a la metodología CORINAIR, se obtiene, a partir del parque de camiones ( P ) a partir de la siguiente ecuación:

$$(5) P_{ij} = P \cdot \%_i \cdot \%_j$$

donde se tiene que:

- $\%_i$  es el porcentaje de camiones existente de la normativa i.
- $\%_j$  es el porcentaje de camiones existente de la categoría de peso máximo autorizado j.

La metodología CORINAIR proporciona un factor de emisión (g/km) para cada contaminante. Finalmente, a partir de estos factores de emisión y de los valores calculados de movilidad (vehículos-kilómetro) en cada tramo del eje, se puede estimar la cantidad de cada uno de los contaminantes considerados.

Finalmente se obtendría el factor de emisión del contaminante “i” mediante la expresión:

$$(6.1) E_{ijk} = f ( V, p, \% , T, N_j, C_k )$$

En donde se tiene que:

- “i” es el tipo de contaminante.
- “j” es el tipo de normativa anticontaminación.
- “k” es la categoría de vehículo.
- V es la velocidad media del tramo.
- p es la pendiente media del tramo.
- % es el grado de carga medio.
- T es el tipo de conducción (Urbana U, Rural R, Autopista H).
- $N_j$  es la normativa anticontaminación.
- $C_k$  es la categoría de vehículo.

Y el factor de consumo correspondiente a la categoría “k” y normativa “j”.

$$(6.2) Fc_{jk} = f ( V, C_{jk} )$$



La movilidad  $M$ , para cada normativa “i” y categoría de P.M.A. “j” ha sido calculada de la siguiente manera:

$$(7) M_{TOTAL} = L \cdot P$$

donde se tiene que:

- $L$  es la longitud del tramo
- $P$  es la cantidad de camiones

$$(8) M_{ij} = M_{TOTAL} \cdot (\% Norm)_i \cdot (\% Cat)_j / 10000$$

donde se tiene que:

- $(\% Norm)_i$  es el porcentaje de camiones de la normativa “i” y  $(\% Cat)_j$  porcentaje de camiones de la categoría “j”

Finalmente se obtiene la masa de cada contaminante que se emite por cada categoría y normativa de vehículos:

De aplicar (6) y (8) se obtiene la siguiente expresión:

$$(9) (Masa / Veh)_{ij} = M_{ij} \cdot E_{ij}$$

Siendo las emisiones totales la suma de las emisiones particulares de cada categoría y normativa.

Al aplicar la expresión (9) se tiene que:

$$(10) M_{PARQUE-TOTAL} = \sum (Masa / Veh)_{ij} = \sum M_{ij} \cdot E_{ij}$$

y por (6.2) también calculamos la masa consumida de combustible:

$$(11) M_{PARQUE-TOTAL} = \sum M_{ij} \cdot Fc_{ij}$$

### 3.4. DETERMINACIÓN DE LAS EMISIONES DEL EJE FERRMED

Una vez definida la metodología para la determinación de las emisiones contaminantes y el modelo del eje, se realiza la programación informática, quedando todo integrado en un conjunto de hojas de cálculo, parametrizable, de tal forma que sólo haya que introducir un número de datos reducido para la obtención de dichas emisiones.

La herramienta elegida ha sido el lenguaje de programación Visual Basic 6.0 integrado en Microsoft Excel.

En los siguientes apartados se mostrarán los resultados obtenidos, después de aplicar la metodología a los distintos tramos del eje, primero para el escenario base o *sin FERRMED* y después al escenario *FERRMED*.

#### 3.4.1. EMISIONES ESCENARIO SIN FERRMED

A continuación se mostrarán los resultados obtenidos a partir de los datos del escenario base. Se ha realizado un cálculo pormenorizado de cada subtramo del eje.



Los valores estimados de emisiones para los contaminantes más representativos del estudio y para este escenario son los siguientes:

**Tabla.-18. Emisiones Totales. Escenario SIN FERRMED**

Año 2020	E. SIN FERRMED
CO <sub>2</sub> Eje (t)	7.335.235,04
PM Eje (t)	215,50
SO <sub>2</sub> Eje (t)	11,69
NOx Eje (t)	19.005,24

Para llegar a estos valores se ha realizado un cálculo pormenorizado de cada subtramo del eje.

### 3.4.2. EMISIONES ESCENARIO FERRMED

Se ha realizado un cálculo pormenorizado de cada subtramo del eje.

Los valores estimados de emisiones para los contaminantes más representativos del estudio y para este escenario son los siguientes:

**Tabla.-19. Emisiones Totales. Escenario FERRMED**

Año 2020	E. FERRMED
CO <sub>2</sub> Eje (t)	6.355.084,30
PM Eje (t)	187,23
SO <sub>2</sub> Eje (t)	10,16
NOx Eje (t)	16.508,26

Para llegar a estos valores se ha realizado un cálculo pormenorizado de cada subtramo del eje.

### 3.4.3. AHORRO DE EMISIONES

Las emisiones contaminantes correspondientes a cada escenario será la suma de las emisiones particulares de cada tramo. Los resultados de ahorro de emisiones correspondientes al transporte por carretera, comparando los dos escenarios considerados, son los siguientes:

**Tabla.-20. Ahorro de emisiones totales**

Año 2020	E. FERRMED	E. SIN FERRMED	AHORRO
CO <sub>2</sub> Eje (t)	6.355.084,30	7.335.235,04	980.150,74
PM Eje (t)	187,23	215,50	28,27
SO <sub>2</sub> Eje (t)	10,16	11,69	1,53
NOx Eje (t)	16.508,26	19.005,24	2.496,98

## 4. ANÁLISIS CONJUNTO CARRETERA-FERROCARRIL

### 4.1. EMISIONES ASOCIADAS AL EJE

En el presente apartado se muestran las emisiones asociadas al eje de transporte constituido por las localidades de Algeciras y Cerbère en cada uno de los dos escenarios planteados y teniendo en cuenta los resultados obtenidos para cada modo de transporte de mercancías y que se han detallado en los apartados número 2 y 3.

Así, las emisiones estimadas asociadas al transporte de mercancías en el eje considerando el desarrollo del eje FERRMED y para el año 2020 se muestran en la tabla siguiente:

**Tabla.-21. Emisiones Totales Escenario FERRMED**

Año 2020	Ferrocarril	Carretera	Total
CO <sub>2</sub> Eje (t)	351.443,81	6.355.084,30	6.706.528,11
PM Eje (t)	500,39	187,23	687,62
SO <sub>2</sub> Eje (t)	3.156,99	10,16	3.167,15
NO <sub>x</sub> Eje (t)	4.673,30	16.508,26	21.181,56

De los resultados obtenidos para este escenario se tiene que el modo carretera contribuye en casi un 95% en las emisiones de dióxido de carbono. El resto, un 5%, corresponde al modo ferrocarril.

Para las emisiones de partículas la situación se invierte. El modo que más contribuye a las emisiones del eje para esta sustancia es el ferrocarril, con cerca del 73% de las emisiones estimadas para el eje. La carretera supone un 27% del total de las partículas generadas en el año 2020 en este escenario.

Con respecto al NO<sub>x</sub> se observa que la carretera supone el 78% de las emisiones estimadas para el eje. El modo ferrocarril es responsable del resto, lo que supone el 22% del total según las estimaciones realizadas.

Por último, se puede decir que la totalidad del SO<sub>2</sub> generado en el transporte de mercancías en el escenario FERRMED proviene del modo ferrocarril. Las emisiones vinculadas a este modo suponen el 99,7% del total, mientras que a la carretera es responsable de tan sólo el 0,3% de la cantidad total estimada para el año 2020.

Por otro lado, las emisiones estimadas asociadas al transporte de mercancías en el escenario Sin FERRMED se muestran a continuación:

**Tabla.-22. Emisiones Totales Escenario Sin FERRMED**

Año 2020	Ferrocarril	Carretera	Total
CO <sub>2</sub> Eje (t)	142.503,96	7.335.235,04	7.477.739,00
PM Eje (t)	202,9	215,5	418,40
SO <sub>2</sub> Eje (t)	1.280,10	11,69	1.291,79
NO <sub>x</sub> Eje (t)	1.894,94	19.005,24	20.900,18



De los datos obtenidos en el presente estudio para cada uno de los modos en este escenario, se observa que el 98% de las emisiones de  $\text{CO}_2$  provienen del modo carretera. El resto, un 2% tiene como responsable el transporte de mercancías por ferrocarril.

En cuanto a las emisiones de partículas estimadas en este escenario, se tiene que la cantidad total de toneladas se reparte prácticamente por igual entre ambos modos. Por un lado, se ha estimado que la carretera es responsable de un 51,5% de la cantidad total. Por otro, el modo ferrocarril contribuye al total con 48,5% de las emisiones.

Para las emisiones de  $\text{NO}_x$  se ha obtenido que el modo que más contribuye es la carretera, con un 91% de las emisiones totales. De este modo, se ha estimado que el ferrocarril es responsable de un 9% de las emisiones totales de óxidos de nitrógeno.

En cuanto a la cantidad de  $\text{SO}_2$  el comentario a realizar es similar al que se ha hecho en el caso del escenario FERRMED. El modo ferrocarril es el responsable de la mayoría de las emisiones con un porcentaje respecto a la cantidad total estimada superior al 99%. Por su parte, la carretera apenas emite el 1% de la cantidad total esperada en el año 2020.

#### **4. CONCLUSIONES FINALES**

Se ha realizado un estudio en el que se ha tratado de analizar el impacto ambiental del desarrollo del corredor FERRMED en su tramo comprendido entre las localidades de Algeciras y Cerbère. El estudio se centra en el 2020 como año de estimación de las emisiones contaminantes del transporte de mercancías por carretera y ferrocarril en el citado tramo.

Para poder realizar este análisis se ha partido de los datos de tráficos de mercancías esperados para el año 2020 considerando la implantación del eje FERRMED. Así mismo, también se ha partido de las cuotas de participación modal de carretera y ferrocarril a la hora de dar respuesta a la demanda de mercancías. A estas previsiones es a lo que a lo largo del estudio se ha denominado escenario FERRMED o escenario base.

Teniendo en cuenta los datos aportados en cuanto a la demanda de tráficos de mercancías esperados y las cuotas de participación de los modos carretera y ferrocarril en el caso que el corredor FERRMED no llegara a desarrollarse, se ha creado un escenario hipotético denominado Sin FERRMED. Este segundo escenario se caracteriza por tener una misma demanda de tráficos que el primero pero con una mayor cuota modal para la carretera y, por tanto, una menor participación del ferrocarril que en el escenario FERRMED.

En estas dos situaciones se han estimado las emisiones vinculadas al transporte de mercancías por carretera y por ferrocarril. Así, la diferencia entre los resultados obtenidos en el escenario FERRMED y el escenario Sin FERRMED para el modo carretera, muestran una reducción en las emisiones generadas en el transporte. Resultado que tiene como causa la reducción de la cuota de la carretera a la hora de absorber la demanda de tráficos.

Haciendo el mismo cálculo para el modo ferrocarril, se ha estimado un aumento de las emisiones como consecuencia de una mayor participación de este modo en el transporte en el escenario FERRMED que el escenario Sin FERRMED.



El análisis desde el punto de vista medioambiental de la implantación del eje FERRMED radica en la evaluación conjunta de la reducción de emisiones en el modo carretera con el aumento estimado en el modo ferrocarril para los dos escenarios planteados.

**Tabla.-23. Aumento y disminución de emisiones en el eje FERRMED**

<b>AÑO 2020</b>	<b>FFCC</b>	<b>Carretera</b>	<b>Total</b>
<b>CO<sub>2</sub> (t)</b>	208.939,85	-980.150,74	-771.210,89
<b>PM (t)</b>	297,49	-28,27	269,22
<b>SO<sub>2</sub> (t)</b>	1.876,89	-1,53	1.875,36
<b>NO<sub>x</sub> (t)</b>	2.778,36	-2.496,98	281,38

En la segunda columna de la tabla anterior se muestran los resultados obtenidos para el modo ferrocarril. El signo más indica un aumento de las emisiones al comparar los escenarios planteados, es decir, en el escenario FERRMED se obtienen una mayor cantidad de emisiones del modo ferrocarril que en el escenario Sin FERRMED.

En la misma tabla, tercera columna, se pueden observar los valores estimados para el modo carretera. Se han obtenido valores negativos al comparar los dos escenarios lo que implica una disminución de las emisiones del modo en el escenario FERRMED.

En la última columna, se puede ver la suma de las cantidades mostradas en la segunda y tercera columna. Así, se observa que en el CO<sub>2</sub> se produce una reducción de las emisiones generadas a la atmósfera de más de 770.000 toneladas como consecuencia de la implantación del eje FERRMED entre Algeciras y Cerbère.

Esta cantidad supone una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el eje FERRMED del 10,31%, respecto a las emisiones estimadas para el eje en el escenario Sin FERRMED que suponen un total de 7.477.739 toneladas. La cantidad de CO<sub>2</sub> generado se encuentra relacionado con el consumo de combustible. De este modo, se tiene que los motores que emplean los camiones tienen un rendimiento en torno al 30%. Sin embargo, se tiene que las turbinas empleadas en la producción de electricidad para los trenes de tracción eléctrica, los más empleados en el transporte, presentan un mayor rendimiento lo que hace que se genere una menor cantidad de CO<sub>2</sub>.

Sin embargo, para las emisiones de partículas (PM), SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> se estima un aumento de las cantidades emitidas a la atmósfera en el año 2020 al considerar una mayor participación para el modo ferrocarril, es decir, al tener en cuenta un hipotético desarrollo del eje FERRMED.

Volviendo a tomar como referencia las emisiones estimadas en el escenario Sin FERRMED de los dos modos, se tiene que la emisión total estimada de partículas es de 418,40 toneladas. En el escenario FERRMED el valor estimado es de aproximadamente 688 toneladas, lo que supone un incremento de las emisiones de esta sustancia de algo más del 64% respecto a las estimadas en el anterior escenario.

Para el NO<sub>x</sub> se tiene que la cantidad reducida en el modo carretera casi compensa el aumento experimentado en el modo ferrocarril. En el escenario Sin FERRMED se ha estimado unas emisiones para esta sustancia de 20.900 toneladas considerando los dos modos de transporte. En el escenario FERRMED la cantidad obtenida es de 21.181



toneladas, lo que supone un incremento de estas emisiones de un 1,35%. Incremento bastante más pequeño que el estimado para las emisiones de partículas.

Las fuertes normativas anticontaminación que deben cumplir los motores de combustión que emplean los camiones ha hecho que las emisiones de partículas y de  $\text{NO}_x$  hayan ido disminuyendo a lo largo de los años. El parque de camiones considerado en el presente estudio para el año 2020 se caracteriza por estar compuesto en su mayoría por vehículos que cumplen con la normativa más restrictiva en materia de emisiones, de tal forma que se han estimado fuertes reducciones de estas emisiones para este modo reforzadas por la disminución de la cuota del modo carretera en la demanda de tráficos de mercancías. El ferrocarril, con el aumento de tráfico esperado incrementa de tal forma sus emisiones que no permite compensar la reducción obtenida en la carretera, ni con la consideración de una futura reducción de emisiones de las centrales de producción de electricidad. De ahí, que el resultado final esperado para estas dos sustancias es de un incremento de las cantidades emitidas a la atmósfera vinculado al desarrollo del eje FERRMED.

La situación del  $\text{SO}_2$  es muy distinta a los resultados obtenidos tanto para el  $\text{NO}_x$  como para las partículas. El incremento estimado para esta sustancia es de más de un 145%. Mientras que en el escenario sin desarrollo del eje FERRMED la cantidad estimada es de 1.291 toneladas, con el desarrollo del tramo se estiman en torno a las 3.167 toneladas de sustancia. Mientras que el modo carretera disminuye sus emisiones, de 11,69 toneladas a 10,16 toneladas, el ferrocarril pasa de emitir 1.280 toneladas a emitir en torno a las 3.157 toneladas.

La respuesta al comportamiento de esta sustancia se debe encontrar en la composición de los combustibles empleados en la carretera y en el ferrocarril. En el primer modo se debe comentar que el azufre es un componente que prácticamente está eliminado de la composición química del gasóleo. Sin embargo, en el modo ferrocarril todavía las emisiones de  $\text{SO}_2$  tienen relevancia debido a que en las centrales eléctricas se siguen empleando combustibles fósiles en donde el azufre sigue teniendo presencia, de ahí que en los procesos de combustión se siga generando esta sustancia.

El mayor desarrollo tecnológico de los motores empleados en los camiones como la utilización de un gasóleo libre de azufre, permitiría explicar estos resultados. La principal fuente de tracción ferroviaria estimada en el presente estudio es de tipo eléctrico de tal forma que las emisiones relacionadas con el transporte de mercancías a través de este modo, se encuentran en las centrales de producción de electricidad.

El esfuerzo realizado por las empresas productoras de electricidad para reducir sus emisiones atmosféricas ha sido importante. La mejora de los procesos de combustión de sus centrales térmicas junto con las inversiones realizadas en el desarrollo de las energías renovables, ha permitido ir reduciendo los factores de emisión de sus 'mix' de centrales a lo largo de los años.

Como conclusiones finales del presente estudio se tiene, en primer lugar, que teniendo en cuenta los resultados obtenidos se estima que el desarrollo del eje FERRMED entre las localidades de Algeciras y Cerbère para el año 2020, va a suponer una reducción de las emisiones de  $\text{CO}_2$ . Teniendo en cuenta los escenarios de movilidad planteados en donde para una cantidad fija de tráficos de mercancías se ha supuesto diferentes repartos entre los



modos carretera y ferrocarril, esta cantidad se estima en torno a las 770.000 toneladas de dióxido de carbono, lo que supone un 10,31% de reducción.

Otro dato positivo del desarrollo del eje es que al fomentarse el modo ferrocarril se va a producir una reducción de vehículos pesados en la carretera, de tal forma que se consiga aumentar la fluidez del tráfico de vehículos en las carreteras de las poblaciones por las que transcurre el eje.

La parte menos favorable del desarrollo de este eje se encuentra en el incremento estimado de las emisiones de partículas,  $SO_2$  y de  $NO_x$ . No obstante, a pesar de los datos obtenidos para estas sustancias se debe comentar que este aumento se produce en zonas alejadas de los núcleos de población, consiguiéndose de este modo una reducción de las emisiones locales de las poblaciones en donde se desarrolla el tráfico de mercancías.

Se produce de este modo una deslocalización de las emisiones debido a que la principal fuente de tracción ferroviaria considerada en el estudio es la eléctrica, que emplea la electricidad que se genera en las centrales eléctricas que es, en definitiva, el lugar donde se generan las emisiones vinculadas al ferrocarril.

La mayor eficiencia del ferrocarril permite estimar una reducción de las emisiones de dióxido de carbono con el desarrollo del eje FERRMED para el año 2020. Sin embargo, el aumento estimado para el resto de las sustancias consideradas permitiría pensar en la no conveniencia de la implantación de este eje de transporte. Pero este razonamiento es erróneo ya que el incremento esperado como consecuencia del desarrollo del ferrocarril se va a producir lejos de las zonas afectadas por el tránsito de mercancías consiguiéndose de este modo una mejor calidad de aire a nivel local.

Como se ha comentado, el incremento de las emisiones se debe en primer lugar a la diferente composición de los combustibles empleados en ambos modos. Mientras que en la carretera se están empleando cada vez más gasóleos más 'limpios', bien a través de la eliminación en su configuración química de ciertas sustancias como el azufre, bien por el uso de aditivos que mejoran el proceso de combustión, para el modo ferrocarril, fuertemente vinculado a las centrales de producción de electricidad, se tiene que los combustibles que se están empleando presentan una calidad inferior.

Por otro lado, la evolución tecnológica experimentada por los motores de los camiones ha permitido al modo carretera mejorar en cuanto a las emisiones atmosféricas. En las centrales térmicas productoras de electricidad tal evolución está en pleno desarrollo mientras que en el sector de automoción tal desarrollo se ha visto fuertemente impulsado por la paulatina introducción de normativas europeas anticontaminación, haciendo que los fabricantes de motores hayan tenido que realizar grandes esfuerzos para conseguir motores cada vez más limpios.

Por tanto, se tiene que en el desarrollo del eje FERRMED, donde se produce una potenciación del ferrocarril frente al modo carretera, se ha estimado una mejora ambiental en cuanto a las emisiones de dióxido de carbono. No obstante, sería deseable que, de forma paralela, se produjera una mejora en el proceso de obtención de energía eléctrica que permita conseguir una reducción mayor de las emisiones asociadas al transporte por ferrocarril.

De esta manera, los beneficios de la implantación del eje FERRMED radican en la reducción de las emisiones locales en las poblaciones donde se desarrolla el tráfico de mercancías, debido a que las emisiones producidas por las centrales eléctricas se producen en zonas



alejadas de los núcleos de población, y en la disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub>, gas de importancia relevante en el calentamiento global del planeta.

Por otra parte, cumplir con Kyoto le costará a España entre 2.000 y 3.000 millones de euros. En la actualidad, con respecto al Protocolo de Kyoto:

- España se ha alejado un 15% de los planes de emisiones fijados por el protocolo de Kyoto.
- Ahora deberá comprar derechos en el mercado de emisiones.
- Los gastos serán sufragados por el Gobierno y las empresas.

El Protocolo de Kyoto establece un mecanismo por el que los países firmantes pueden compensar el exceso de emisiones de CO<sub>2</sub> comprando 'derechos de emisión'. España se ha alejado un 15% de los niveles de emisión fijados por el protocolo de Kyoto.

Según el secretario general para la Prevención de la Contaminación y el Cambio climático, Arturo Gonzalo Aizpiri, España se aleja 22 puntos de la reducción de emisiones prevista en el Plan Nacional y el 15% de lo que fija el Protocolo de Kyoto. Esa diferencia se salvará mediante los sumideros de CO<sub>2</sub> (un 2%) y el otro 20%, mediante la adquisición de derechos en el mercado.

Dada la situación de España con respecto al protocolo de Kyoto, la compra de “derechos de emisión” se muestra como una solución para situar al país más cerca de los compromisos adquiridos. Dado que con el desarrollo de este eje de transporte se reducen las emisiones de CO<sub>2</sub>, no sería necesario comprar los derechos vinculados a estas emisiones.

Así, se estima que la reducción de las emisiones de dióxido de carbono como consecuencia de la implantación del eje FERRMED, supone un ahorro anual de aproximadamente 7,7 millones de euros a partir del desarrollo del eje en el año 2020, suponiendo un coste por cada tonelada de CO<sub>2</sub> de 10 euros en el comercio de emisiones.

A modo comparativo podemos obtener los siguientes datos:

- Las emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas con FERRMED representarían el 7% del total de emisiones de CO<sub>2</sub> de la Comunidad Valenciana y el 3% del total de emisiones de CO<sub>2</sub> de Cataluña. Supondrían el 20% de las emisiones de CO<sub>2</sub> debidas al transporte en Valencia y el 10% de las emisiones de CO<sub>2</sub> debidas al transporte en Cataluña.

- Si nos referimos a las emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas con FERRMED en comparación con las emisiones que se evitan con la energía eólica, tendríamos que se ahorraría el mismo CO<sub>2</sub> que el que ahorran 20 parques eólicos de 10 MW. Los que tienen comunidades como Cataluña y Valencia.

- En comparación con las emisiones generadas por los hogares españoles tendríamos que, cada año, las emisiones evitadas por FERRMED serían la misma



cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> emitidas por todos los hogares de una ciudad como Castellón durante ese mismo año.

- Las emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas con FERRMED en comparación con las emisiones totales (industria, vivienda y transporte) de algunos países serían:

**Tabla.-24. Relación entre el CO<sub>2</sub> evitado por FERRMED y el CO<sub>2</sub> generado en algunos países**

100% Afganistán	120% Groenlandia
20% Albania	10% Honduras
20% Armenia	6% Jamaica
30% Bahamas	10% Letonia
10% Bolivia	4% Líbano
1,5% Bulgaria	5% Lituania
10% Camerún	<b>5% Luxemburgo</b>
10% Chipre	30% Madagascar
<b>3% Croacia</b>	<b>25% Malta</b>
1% Dinamarca	10% Panamá
10% Salvador	15% Paraguay
4% Eslovenia	1% Suecia
1% Finlandia	1,5% suiza
200% Gibraltar	<b>10% Uruguay</b>

- El desarrollo del eje FERRMED, además del CO<sub>2</sub>, evitaría las emisiones de los gases de efecto local (NO<sub>x</sub>, CO, HC, partículas...) que son altamente peligrosos para la salud, esto en un área de importante densidad de núcleos urbanos a lo largo de toda la costa mediterránea. Las emisiones de estos gases se trasladarían a las centrales energéticas, situadas en zonas menos densamente pobladas.