

# Herramienta multimodal de estimación de GEI's en la planificación del transporte (I)

## *A Multimodal Tool for GHG Estimation in Transport Planning (I)*

Laura Crespo García<sup>1\*</sup> (coord.)

---

### Resumen

Las Leyes de Evaluación Ambiental Integrada (EAI) y de Evaluación de Impacto ambiental (EIA) exigen la consideración del cambio climático en todas sus dimensiones, la evaluación de impactos climáticos asociados a un proyecto, plan o programa y la necesidad de calcular la huella de carbono asociada al mismo. Este requisito y la necesidad actual de caminar hacia una economía hipocarbónica impone a la administración la tarea de elaborar una metodología de trabajo para cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas a la planificación del transporte, contabilizando todas las etapas y sub-etapas, recorriendo las fases de construcción, explotación, mantenimiento y desmantelamiento. Este análisis de las emisiones en las fases preliminares de la planificación ayuda en la elección de las alternativas de transporte en las etapas más tempranas, descartando aquellas de mayor impacto e identificadas por una mayor exposición a los mayores riesgos climáticos. Este artículo repasa criterios a seguir para determinar el alcance de las actividades que se han de incluir en el cálculo de las emisiones (movilidad inducida por la aplicación del programa o plan y los indicadores de análisis) y se convierte en una herramienta de investigación bibliográfica, que analiza las publicaciones elaboradas hasta este momento basadas en el análisis del ciclo de vida del transporte, lo que permite cuantificar las distintas etapas con influencia en la generación de las emisiones de GEI's, consumos de energía, de todas las fases de los diferentes modos de transporte.

Las herramientas de cuantificación de emisiones aplicadas a un plan o programa e incorporadas a la evaluación ambiental de un proyecto de transporte permiten optar por los modos de transporte más sostenibles desde la óptica del consumo de la energía y de la emisión de GEI's, garantizando buenas prestaciones del servicio y del mantenimiento del patrimonio de la infraestructura.

**Palabras clave:** huella de carbono (HC), Análisis del Ciclo de Vida (ACV), ISO 14064, bases de datos para la cuantificación de emisiones.

### Abstract

*Spanish Laws of Integrated Environmental Assessment (EAI) and Environmental Impact Assessment (EIA) require that climatic change has to be taken into consideration in all its dimensions, the evaluation of climatic impacts linked to a project, plan or programme and, in this respect, the need of calculating the carbon footprint associated to them. This requirement, and the current need to advance towards a low carbon economy, imposes the public sector the task of elaborating a working methodology to quantify the emissions of greenhouse effect gas (GHG) associated to transport planning. Thereby, taking into account all stages and sub-stages: construction, exploitation, maintaining and dismantling. The analysis of emissions in the preliminary steps of planning helps in the choice of transport alternatives at the earliest stages of planning, discarding those of the biggest impact or identified as mainly affected by major climatic risks.*

*This article reviews the criteria to follow in order to determine the scope of activities to be included to calculate the emissions: mobility induced by the application of the programme or plan and analysis indicators. It also aims to become a tool for bibliographic research as it analyses issue-related papers published until now; papers based in the analysis of transport life cycle, which allows for quantifying the different stages influencing the production of GHG emissions and energy consumption. Thus, completing all phases for all means of transport.*

*Tools for quantifying emissions associated to plans, programmes or projects in the transport sector allow an optimal choice of the most sustainable transport modes from the point of view of energy consumption and (GHG) emissions, guarantying the quality of service and an adequate maintenance of infrastructure.*

**Keywords:** carbon footprint, Life Cycle Analysis (LCA), ISO 14064, database for emissions account.

---

## 1. INTRODUCCIÓN

La ley 21/2013 de Evaluación Ambiental reúne en un único texto la evaluación ambiental de planes, programas y proyectos, exigiendo que se evalúen los potenciales

impactos ambientales tomando como consideración el cambio climático. Esta ley plantea por primera vez en la normativa ambiental, que el estudio elaborado por el promotor deberá analizar los efectos del proyecto sobre el cambio climático, y que entre otras consideraciones contenga una evaluación de la huella de carbono asociada al plan, los impactos ambientales que ocasiona el plan o programa sobre el medio que le sustenta, mermando su capacidad de resiliencia frente a fenómenos climáticos adversos y evaluando así mismo el impacto que la infraestructura

---

\* Autora de contacto: [laura.crespo@cedex.es](mailto:laura.crespo@cedex.es)

<sup>1</sup>Ingeniera agrónoma. Jefa de Área de Contaminación Atmosférica y Cambio Climático del Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas (CETA), del CEDEX.

de transporte incluida en el plan o programa pueda sufrir por los efectos del cambio climático: inundaciones, deslizamientos de taludes, aumento de la temperatura terrestre, aumento, aumento de la temperatura y acidificación de los océanos, lluvias y tormentas intensas, aumento del nivel del mar, marejadas e inundaciones extremas, olas de calor, nevadas, heladas y granizo, aluviones en ríos, avenidas torrenciales (de un río o arroyo) que eleva su nivel o caudal de forma significativa en relación a su nivel medio en un momento dado, incendios, vendavales, ola fría, etc. Fenómenos todos ellos propios del clima mediterráneo y de nuestras latitudes que en el escenario de cambio climático tendrán mayor recurrencia en el tiempo, lo que hace más vulnerables a las infraestructuras y someten a más estrés al conjunto del territorio.

La ley también recoge que en los casos de tramitación ambiental simplificada, el documento ambiental estratégico deberá analizar los efectos ambientales previsibles y si procede, cuantificarlos, y las medidas previstas para prevenir y reducir, en la medida de lo posible cualquier efecto negativo sobrevenido por la aplicación del plan o programa tomando en consideración el cambio climático.

En concreto para los proyectos de transporte incluidos en el ámbito de la Ley 21/2013, se establece que se redacte un estudio de impacto ambiental que evalúe los efectos previsibles sobre el cambio climático en las fases de ejecución, explotación y en su caso durante la demolición o abandono del proyecto.

Este mandato insta a los responsables en materia de medioambiente a buscar herramientas de trabajo que cuantifiquen las emisiones asociadas a cada actuación, bien sean obras de tipo temporal, o permanentes e incluyan todas las fases de operación de la infraestructura.

El análisis temprano de los impactos permite reconducir los proyectos de transporte hacia estrategias más sostenible, en las fases de gestación más temprana en un sector responsable del consumo del 42% de la energía final y del 28,7%<sup>1</sup> de las emisiones de gases de efecto invernadero, de cuyos servicios depende el bienestar del ciudadano y donde una decisión de emplazamiento mal tomada puede desencadenar accidentes de graves consecuencias irreparables en vidas humanas y en daños materiales.

Por ello, este artículo se convierte en una pieza de divulgación-sensibilización de herramientas de estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a los planes, proyectos y programas de transporte para que evaluando las alternativas de transporte se pueda planificar y potenciar aquellos modos de transporte que satisfagan las necesidades del ciudadano con calidad en la prestación del servicio, con el menor impacto en emisiones y en el usos de los recursos naturales y de biodiversidad.

Este trabajo es el resultado de una reflexión conjunta, de especialistas en los distintos modos de transporte que participaron en su planteamiento y definición, conscientes de que con la experiencia en su aplicación se avanzaría en la definición de indicadores, cubriendo mejor todas las fases de cálculo de la huella de carbono: asociadas tanto a la construcción y a la fases de operación de los diferentes modos.

## 2. CONSIDERACIONES GENERALES DE LA METODOLOGÍA DE TRABAJO, PARTICULARIZANDO EN LAS ESPECIFICIDADES DE CADA MODO DE TRANSPORTE

La estimación de las emisiones de GEI's en un plan o programa de transporte debe recorrer todas las etapas y sub-etapas para cada modo de transporte incluido en el plan, y en cada una de las alternativas sometidas a evaluación. Se ha de considerar tanto la etapa de construcción, explotación y desmantelamiento de la infraestructura y fabricación del vehículo (entendido como la fabricación del material móvil) específica de cada modo, con sus correspondientes fases. El esquema a seguir para elaborar el inventario de emisiones se describe en la figura 1. Es un planteamiento riguroso que plasma todas las fases y sub-fases a contabilizar, aunque dependiendo del tipo de plan se trabajara más en unas que otras, justificando en cada caso la no cuantificación, cuando el peso de una sub-fase sea despreciable frente a la proporción de otra. En el esquema que desarrolla las etapas atribuidas al vehículo (los distintos modos), la sub-fase dominante es la de operación. En la infraestructura, el peso mayor lo tiene la construcción, que se reparte en lo que se ha considerado como concepto "el tiempo de vida útil", que puede variar según los estudios.

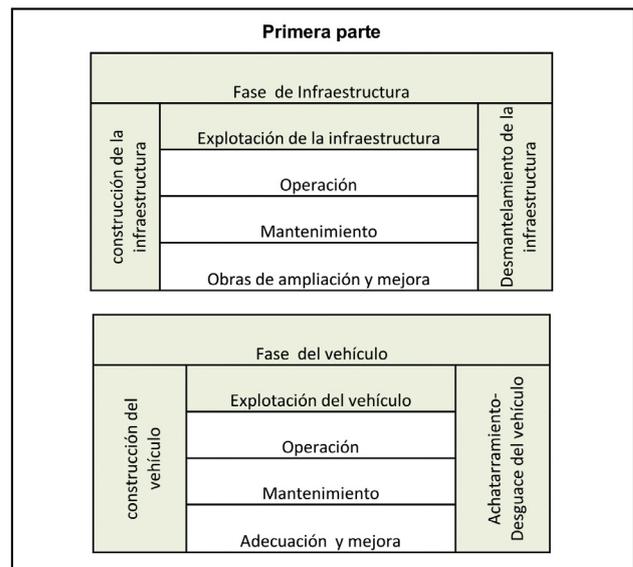


Figura 1. Herramienta multimodal de estimación de GEI's en la planificación del transporte.

El promotor de un proyecto o plan debe siempre justificar la necesidad de un plan y para ello es preciso que existan suficientes tráficos de personas y de mercancías que hagan viable la propuesta, hay ejemplos recientes de sobredimensionamiento de la movilidad en la fase de planificación de infraestructuras de carretera, que ha llevado al Estado a rescatar estos contratos de concesiones.

Para delimitar el alcance físico de las infraestructuras a evaluar, parece que no se debería limitar por razón de la titularidad de la infraestructura, más bien se debería atender a criterios de funcionalidad que justifican la necesidad de promover un plan o programa. Sería posible incorporar al cálculo de la huella de carbono el conjunto de accesos terrestres (construcción y explotación) que deben ser construidos para poner operativo el plan, o cuya movilidad

<sup>1</sup> Observatorio de la logística y el transporte 2018 (2015).

cambie por las nuevas condiciones, por ejemplo: considerar el tráfico inducido en el corredor por haber puesto en funcionamiento un servicio que mejora las prestaciones. En el caso de los aeropuertos no sólo se han de considerar las emisiones de los tráficos del plan o programa, se deben incluir todos los desplazamientos en los accesos que se generan con origen y destino el aeropuerto, aunque en el caso de comparar el comportamiento de los modos con los que prestar el servicio habría que incluir el origen del viaje, tomando como referencia el centro de la ciudad hasta la terminal aeroportuaria y desde ésta hasta el destino (distancia del aeropuerto a su área de influencia). Este análisis marca diferencias entre los modos, la estación del tren suele estar en el centro de la ciudad, mientras que las terminales de los aeropuertos están a cierta distancia del centro urbano. Para cada caso se deben considerar los modos de transporte que prestan los servicios de acceso a los aeropuertos, puertos, etc., con sus correspondientes emisiones. En caso de la ampliación de un puerto, al que se le da acceso con tren de mercancías, se deberían contar las emisiones debidas a la nueva situación portuaria, las emisiones debidas a tráfico generado por encaminar mercancías al terminal ferroviario desde el área de logística, ZAL, o la cadena de transporte.

A la hora de analizar y comparar diferentes alternativas de transportes es necesario considerar las trayectorias seguidas por cada modo en un corredor, el barco sigue distancias ortodrómicas entre origen y destino, el avión trayectorias loxodrómicas, el tren de Alta Velocidad frente a la carretera recorre menos distancia, condicionado por necesidades técnicas de las operaciones de gestión y explotación que exige el servicio. Este análisis se recoge en el proyecto ENERTRANS, elaborado por iniciativa del CEDEX en el Plan estratégico de Investigación de fecha 2008<sup>1</sup>.

**Tabla 1.** Coeficiente de relación por modo de transporte entre la distancia real del trayecto con la distancia en línea recta

Modo de transporte	Relación (Distancia real O-D / Distancia en línea recta)	
Carretera	Autocar	1,32
	Automóvil carretera convencional	1,26
	Autopista de peaje	1,27
Tren	Tren convencional	1,39
	Alta velocidad	1,24
	Mercancías	1,54
Marítimo	O y D en distinta fachada marítima	2,88
	O y D en la misma fachada marítima	1,2
Aéreo		1,18

Otro aspecto de interés es la ocupación o carga de cada modo de transporte, ya que permite asociar la movilidad de las diferentes tipologías de vehículos en el transporte de pasajeros o mercancías (la unidad funcional del servicio) a las emisiones de gases de efecto invernadero. Este indicador permitirá evaluar las emisiones asociadas al objetivo

marcado por el plan y que satisfacen la movilidad de personas o de mercancías. Las referencias se han recogido de distintas fuentes según su naturaleza, así los factores de ocupación en motocicletas y turismos se corresponden con los publicados por el Ministerio de Fomento para la red de carreteras del Estado en los Transporte y las Infraestructuras. El factor de ocupación en autobuses se ha estimado a partir de los datos de ocupación media en las líneas regulares de titularidad estatal proporcionados por el Observatorio del transporte de viajeros por carretera del Ministerio de Fomento 2016 y los resultados sobre viajes en vacío obtenidos durante los controles realizados por la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil en autocares en circulación. En mercancías, el dato de carga media por vehículo pesado es el utilizado por el Ministerio de Fomento en su informe anual de 2016 sobre el transporte y las infraestructuras en base a la explotación de la Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera del mismo año. En el OTLE, marzo 2017 aparece la evolución seguida por el transporte aéreo en su factor de ocupación<sup>2</sup>, y aumento de la capacidad media, estos dos factores son factores determinantes en la eficiencia de las aerolíneas. La ocupación de los trenes por servicios se han obtenido de RENFE operadora<sup>3</sup>. En el modo marítimo se toma como referencia el informe OTLE 2016<sup>4</sup>.

El factor de ocupación está condicionado por efecto de los precios de los combustibles, las exigencias impuestas por las necesidades de disposición de mercancías en los mercados “just in time”, políticas fiscales y presencia de carriles bus/VAO en los accesos a las ciudades, por lo que en todo momento deben ser objeto de revisión.

Los estudios que actualizan esta información no tienen la frecuencia que se desearía para mejorar las tareas de planificación.

**Tabla 2.** Factor de ocupación por tipo de vehículos

Tipo de vehículo	Factor de ocupación* (p/veh)/carga(t/veh)
motocicleta	1,44
turismo	1,68
vehículo de carga ligero	1,1
vehículo de carga pesado	10,74
autobús	23,55

\* Los factores de ocupación del resto de modos se detallan a pie de página.

Los gases de efecto invernadero a considerar para la evaluación del plan son el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>), el óxido de nitrógeno (N<sub>2</sub>O), considerando su potencial de calentamiento<sup>5</sup> de la Revisión de la guía de

<sup>2</sup> Informe monográfico OTLE: Coyuntura del transporte aéreo en España. Marzo 2017 Servicios de vuelos nacionales 74% de ocupación, UE Schengen 81%, resto de tráficos 82%, total 79%.

<sup>3</sup> Cercanías: 33,92%, Media Distancia Convencional: 26,44%, Alta Velocidad-Media Distancia: 50,82%. AVE: 75,07%, AV-Larga Distancia: 63,62% y Mercancías: 40,70%. Año 2016. Datos proporcionados por RENFE.

<sup>4</sup> En el periodo 2009-2015 la relación entre toneladas (t) y Gross tons (GT) está en torno a 325.

<sup>5</sup> Revision of the UNFCCC Reporting Guideline on Annual Inventories for Parties includes in Anexo I to the Convention- Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), GWP = 1; metano (CH<sub>4</sub>), GWP= 25; el óxido de nitrógeno (N<sub>2</sub>O), GWP= 298.

UNFCCC. El cálculo de las emisiones de GEI suele expresarse en términos de peso equivalente de CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>e), teniendo en cuenta los potenciales de calentamiento global de cada gas de efecto invernadero y su persistencia en la atmósfera. Para transformar las emisiones de CO<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub>e, la equivalencia se obtiene del Sistema Español de Inventarios a la Atmósfera tanto para las fuentes móviles (combustibles asociados al transporte por carretera, al tráfico ferroviario, al modo aéreo), como fuentes estacionarias (edificios de inmuebles que dan servicio al transporte, terminales e intercambiadores). Esta relación de CO<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub>e en fuentes móviles del sector del transporte y estacionarias del sector comercial o institucional se obtiene de la Web del Sistema Español de Inventarios a la Atmósfera (MINETAD), donde el cálculo a las emisiones de los gases de efecto invernadero considerados se les afecta por el potencial de calentamiento, calculando la relación entre CO<sub>2</sub>e y CO<sub>2</sub><sup>6</sup> de estos sectores para cada año.

Cada modo de transporte se alimenta con un determinado tipo de combustibles y de vectores energéticos. Este tipo de combustibles y vectores están próximos a experimentar una fuerte transformación en el horizonte temporal (biocombustibles, combustibles sintéticos y la electricidad). Para comparar las diferentes fuentes energéticas provenientes de combustibles fósiles, combustibles alternativos y biocombustibles y del vector electricidad es necesario conocer las emisiones asociadas a todo el proceso, lo que se conoce como *well-to-wheel*, desde el pozo a la rueda, ciclo completo para obtener un servicio. En el caso de los combustibles fósiles hay que considerar no sólo las emisiones derivadas del consumo de combustible suministrado al depósito del vehículo o caldera según los casos (denominadas emisiones tank-to-wheel en el caso de fuentes móviles de carretera), además habría que considerar aquéllas que se producen como consecuencia de la extracción de la materia prima en su yacimiento, del transporte hasta refinería, el proceso de refinado y de la posterior distribución desde refinería al punto de suministro (emisiones well-to-tank). Para hacer esta transformación incluyendo el incremento de energía se debe afectar a las emisiones directas por los coeficientes recogidos en la tabla 3<sup>7</sup>.

**Tabla 3.** Pérdidas de derivados de la cadena de petróleo well-to-wheel

Tipo de combustible	Coefficiente de pérdidas %
Gasolina	14
Gasóleo	12
Gas licuado de petróleo (GLP)	12
Fuelóleo	12
Queroseno	12
Gas licuado de petróleo GLP	12

<sup>6</sup> La equivalencia entre el potencial de calentamiento del CO<sub>2</sub> y el valor CO<sub>2</sub>e tanto para fuentes móviles como estacionarias es del orden de centésimas o milésimas, por lo que podría ser despreciado este cálculo después de comprobarse esta relación.

<sup>7</sup> Estos factores de mayoración se han estimado a partir de las emisiones en los flujos de petróleo (extracción, transporte, transformación y distribución) calculadas por el grupo de investigación del proyecto español Enertrans.

En los biocombustibles solo tienen emisiones asociadas a su proceso de obtención, sólo se considera la fase well-to-tank, la fase tank to wheel se considera neutra. La electricidad es un vector energético integrado por muchas fuentes de energía cuya composición es variable para cada año del plan objeto de análisis. En el caso del mix eléctrico español del año 2015, el cálculo de las emisiones well-to-tank aproximadas son del 8,4% sobre las emisiones indirectas generadas para producir un kWh eléctrico, cuyo valor se puede ir actualizando para el conjunto del país en la web de Red Eléctrica de España<sup>8</sup>. Para el cálculo de las emisiones well-to-tank del vector eléctrico, se parte del cálculo de emisiones WTT de cada una de las fuentes que integran la generación de electricidad en términos de Energía primaria de las fuentes estacionarias obtenidas del Inventario de emisiones (SEIA)<sup>9</sup>. A las emisiones de las fuentes estacionarias TTW asociadas a la generación de electricidad se les aplica el factor debido a las emisiones WTT de los derivados del petróleo (fuentes líquidas) y gaseosas, recogido en la tabla 2 y el carbón<sup>10</sup>; así se relacionan las emisiones en porcentaje de las fuentes estacionarias en la fase WTT y TTW por unidad de energía final, obtenida del año 2015<sup>11</sup>.

En el caso de necesitar aplicar el WTT de otros combustibles fósiles y biocombustibles las pérdidas son las de la tabla 4, en este caso la unidad de CO<sub>2</sub>e viene dado en relación a su contenido en energía, g de CO<sub>2</sub>e/MJ<sup>12</sup>.

**Tabla 4.** Estimación de factores de emisión de gases de efecto invernadero en g CO<sub>2</sub>e/ MJ para combustibles fósiles y biocombustibles en el well-to-tank

Combustible	g de CO <sub>2</sub> e/ MJf
Gasolina	13,8
diésel	15,3
HFO fuel de alto contenido en azufre	14,6
MDO fuel de medio contenido en azufre	15,3
CNG gas natural comprimido	13
GNL gas natural licuado	19,4
CBN bigas natural comprimido	14,6
LBN bigas natural licuado	16,4

Las emisiones WTT asociadas a la energía nuclear se consideran despreciables<sup>13</sup>, por consumo de combustibles en transporte y enriquecimiento del combustible. Si se considerara la energía asociada en el WTT de la fabricación de materiales tanto de la energía nuclear como de las EERR, considerando el análisis ACV de los materiales, el peso de esta fase sería mayor debido a que la energía nuclear

<sup>8</sup> <http://www.ree.es/es/estadisticas-del-sistema-electrico-espanol/series-estadisticas/series-estadisticas-nacionales>. Emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a la generación.

<sup>9</sup> La energía primaria se transforma en final mediante tecnologías (nuclear, ciclos combinados, térmica convencional, eólica, fotovoltaica, etc.), conociendo las pérdidas o eficiencia de cada tecnología. En año 2015 la relación entre energía primaria y final en el mix eléctrico es de 2,5.

<sup>10</sup> Las emisiones WTT del carbón son del 7% según el proyecto ENERTRANS.

<sup>11</sup> *Libro de la Energía* del Ministerio de Industria 2015.

<sup>12</sup> Valores obtenidos de Ricardo&Environment, The role of natural gas and bio-methane in the transport sector.

<sup>13</sup> 5 g de CO<sub>2</sub>e/ MJf.

consume mucha energía en la fase de construcción del reactor nuclear. En el caso de considerar las emisiones no sólo de los combustibles sino de los materiales para la fabricación de estas fuentes de energía el incremento podría llegar al 18%, y superior si se considera la energía necesaria para mantener los residuos radiactivos controlados mientras mantienen su actividad.

Estas pérdidas de energía o incremento de emisiones aguas arriba son idénticas cuando se trata del mismo combustible, tanto para fuentes móviles como fuentes estacionarias, en cada caso variará el rendimiento energético del motor de combustión en las fuentes móviles y en las estacionarias dependiendo del tipo de máquina empleada, bien en la climatización de edificios que dan servicio en los edificios del transporte o en el propio transporte, y en este caso se trataría del análisis TTW.

Las emisiones asociadas a la electricidad en el 2017 (WTW) y en el horizonte temporal 2030 se describen en la tabla 5<sup>14</sup>.

**Tabla 5.** Emisiones Well-to-Wheel del mix eléctrico en el horizonte temporal 2030

Año	Emisiones nacionales g de CO <sub>2</sub> /kWh
2017	308,94
2020	303,52
2030	135,2

Las emisiones de la tabla 5, recogen las emisiones de gases de efecto invernadero en el horizonte temporal de 2030 en WTW del mix eléctrico. Para su estimación se ha considerado que el Estado español cumple con los compromisos a 2020 contraídos con la UE y a 2030 con el Acuerdo de París. Se acaban de aprobar los objetivos de renovables en el horizonte temporal de 2030. Este objetivo se situará en el 32% en el conjunto de la Energía Final del mix energético. Aunque este objetivo es vinculante a nivel europeo y no de Estado miembro. España en todo momento cumplirá lo pactado en el marco europeo “Hoja de ruta hacia una economía hipocarbónica competitiva en 2050” de la Comisión Europea. Sin duda que ello afectará a los cálculos WTT del mix eléctrico pudiendo bajar de 8,4% actual, a un 4%, por la necesidad de mantener en ese horizonte temporal energía de respaldo proporcionada por los ciclos combinados de gas natural, que aseguran la seguridad de suministro a la generación eléctrica ante la variabilidad que plantean las fuentes renovables.

Para analizar el impacto del Plan, programa o proyecto en las emisiones de gases de efecto invernadero caben dos tipos de planteamientos, analizar el impacto de plan o programa en emisiones brutas y comparar la nueva situación “con plan” con el techo de emisiones marcado por el compromiso español contraído como Estado miembro de la UE, y una segunda opción, analizar la eficiencia medida como la variación de las emisiones por unidad de servicio de transporte,

antes y después de la actuación. En un análisis de evaluación de impacto cabrían las dos tipos de posibilidades.

En cuanto a la primera reflexión, todo plan o programa persigue aumentar la capacidad para transportar pasajeros o mercancías, lo que incidirá en un aumento de las emisiones de la situación “después de implementar el plan” frente a la situación de “inacción”. La elección de una alternativa modal frente a otra deberá perseguir que el sistema en su conjunto avance hacia una estrategia más sostenible, a pesar de que el plan en sí mismo aumente las emisiones.

España como miembro de la UE tiene un compromiso a 2020 de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para el conjunto de los sectores difusos entre los que está el transporte de un 10% frente a los niveles de emisión de 2005. Los compromisos después de esta fecha están en fase de negociación<sup>15</sup>. El actual cumplimiento de compromisos del Estado español en los sectores difusos ha sido consecuencia de la crisis económica del espacio euro experimentada a partir del año 2008, (reducción del 25% del consumo de energía de 2008 a 2014), que después de varios años de caída como consecuencia de la reducción de la actividad económica, empieza su recuperación en 2015 con parte de los síntomas de ineficiencia de la etapa anterior.

En esta evaluación bruta de emisiones habría que definir responsabilidades y medidas para responder a la integración ambiental del plan o proyecto, y posterior seguimiento. Convendría no solo saber las emisiones de GEI brutas totales y si están, directa o indirectamente, bajo el control del promotor del plan o proyecto, o si éste al menos tiene cierta capacidad de influir.

En las emisiones asociadas a la construcción de la infraestructura existe el convenio de repartirlas entre los años que se estima la duración de la vida útil de la misma, es un compromiso de convenio en la metodología del ACV de considerar al menos 50 años, a pesar de que con el suficiente mantenimiento pueden durar mucho más<sup>16</sup>.

La segunda opción de analizar es la contribución de un plan o programa a mejorar la eficiencia se medirá en grCO<sub>2</sub>e/p-km y grCO<sub>2</sub>e/t-km en el horizonte del plan. La eficiencia de los modos de transporte se deben a todo un conjunto de factores: tecnología de equipos móvil de transporte, de sus combustibles, de la capacidad del transporte,

<sup>15</sup> Según del documento de proyecciones de 2017 las emisiones de GEI sitúa las emisiones de los sectores difusos en 2020 en un nivel un 24% por debajo de las emisiones del año 2005. Ante este escenario, se prevé un cumplimiento de los objetivos en materia de reducción de emisiones de GEI en los sectores difusos hasta 2020.

Actualmente se está negociando el nuevo Reglamento de reparto de esfuerzos aplicable al periodo inmediatamente posterior (2021-2030). Aunque las cifras no son aún definitivas, la propuesta de la Comisión Europea plantea para España un objetivo de reducción de sus emisiones en los sectores difusos de un -26% en 2030 comparado con los niveles de 2005.

Como se ha indicado anteriormente, la proyección de las emisiones de GEI en los sectores difusos prevé que éstas se sitúen en niveles de -21% en 2030, lo que daría lugar a un potencial incumplimiento de los objetivos asignados a España.

<sup>16</sup> La Regla de Categoría de Producto (Product Category Rule –PCR-) que es un documento complementario a las Declaraciones Ambientales de Producto (Environmental Product Declaration –EPD) estima un periodo de 60 años. No obstante el tratamiento o la consideración de la vida útil de los diferentes elementos constructivos tendrán un tratamiento más específico por cada tipo de plan de transporte.

<sup>14</sup> Existe una diferencia de dos años entre la información del Inventario de Emisiones y muchos de los estadísticos de emisiones que da REE. Es debido a las exigencias que requiere el inventario e imponen un retraso de dos años sobre el año en cuestión.

de su ocupación y de su gestión. Muchos de estos condicionantes se ven afectados por la política fiscal, por la puesta en marcha de políticas de reducción de la movilidad (ocupación de vehículos) que mejora la eficiencia energética y en consecuencia la calidad del aire de la ciudad y de sus áreas metropolitanas, por las necesidades que imponen los mercados de proveer mercancías en el tiempo deseado, o por la capacidad y dimensionamiento de la flota. Todas estas condiciones de contorno exceden en muchos casos los límites operativos de un plan o programa y sobre todo de la responsabilidad directa del promotor.

Estos indicadores tienen dificultad de cálculo en el momento de tráficos mixtos de personas y mercancías, la comunidad científica no se ha puesto de acuerdo para repartirse el consumo de la energía y por tanto de las emisiones cuando esto ocurre. Muchos apuntan a que las necesidades de confort de viajeros obligan a mayor consumo que el que se ha dispensado a las mercancías. Otros reparten las emisiones entre el peso de las mercancías y de los pasajeros (tráfico Ro-pax).

En cualquier caso, los planes y programas de transporte son variados y abundantes. Van desde los más generalistas a los más particulares, desde las directrices básicas de la actuación en transporte, hasta la planificación pormenorizada de carreteras, de infraestructuras ferroviarias, de puertos y aeropuertos con todo tipo de detalles, que cubren según los casos desde el análisis de cada modo hasta su inclusión en el planeamiento general.

Se plantean por tanto, una amplia tipología de ejercicios de reflexión en alcances, propuestas a dirimir y nivel de concreción, lo que obliga a cierta reflexión previa en todos y cada uno de los planteamientos de cálculo, y para cuya reflexión se intenta apoyar con el documento elaborado por el CEDEX. Este ejercicio se acompaña de indicadores obtenidos de operaciones y tráficos reales para poder medir actuaciones en materia de transporte, a los que se les somete a un ejercicio de prospectiva para proyectarlos en el horizonte temporal con la óptica que ofrece el conocimiento actual en mejoras en la eficiencia de tecnología, de combustibles y vectores energéticos, avances logísticos, y todo ello fuertemente condicionado por el contexto de la actividad económica que determina en parte el crecimiento vegetativo de la población. Estos determinantes influirán en la renovación de la flota de vehículos (material móvil) y los tráficos que se realicen, dentro del marco que ofrece la situación de nuestros mercados en el conjunto de la geopolítica global.

### 3. EMISIONES ASOCIADAS A PLANES VIALES

#### Emisiones atribuibles al tráfico vial (fase vehículo)

Para calcular las emisiones de la carretera en la fase de operación se parte de la información de las emisiones del Inventario de Emisiones a la Atmósfera-2016, para el modo de transporte carretera. Para su estimación utiliza el COPERT IV, programa incluido dentro de las metodologías EMEP EEA, que calcula las emisiones para cada tipología de vehículo del parque nacional, calculando las emisiones en función de la antigüedad del parque por tipología de vehículo, de su movilidad y del uso de combustible (empleando ciertas aproximaciones para adaptar las bases de datos nacionales a las necesidades de programa), tanto para la pauta interurbana como rural.

Las emisiones de la pauta urbana se calculan como diferencia entre las emisiones debidas al consumo de combustible del balance total a nivel nacional y las resultantes del combustible empleado en las pautas interurbana y rural.

Los factores de emisión así obtenidos calculan las emisiones atribuibles a la operación de los vehículos (TTW), para completar el ciclo completo WTW, se han de estimar las debidas a la producción del combustible (well-to-tank), como las asociadas a la fabricación, mantenimiento y desguace de los vehículos. En los cálculos asociados a la fabricación de materiales se sigue la estimación de N. Hill et al<sup>17</sup>, del 10% de la fase de operación, aunque existen cálculos de Alberto García<sup>18</sup> que lo sitúan en del 21%. Se ha considerado en torno al 10% de las emisiones ocasionadas por el funcionamiento del vehículo en el caso de los vehículos ligeros con motor térmico, y en una proporción del orden de la mitad en el caso de vehículos pesados, al considerar que recorren por término medio un número superior de kilómetros. En el caso de vehículos ligeros con motor eléctrico, se ha supuesto que las emisiones asociadas a su fabricación y desguace son 70% superiores a las de su equivalente con motor térmico, en coherencia con estimaciones efectuadas por la ADEME en Francia y por publicaciones de referencia<sup>19</sup>, por el consumo adicional en la fabricación de baterías.

En el caso de los vehículos de motor de combustión interna, que representan el 91,0% de la movilidad (2016), para obtener el factor de emisión antes descrito se les afecta por la movilidad que desempeñan, siguiendo la metodología del Inventario, más el consumo de obtención de combustibles y de fabricación del vehículo.

En el caso de los vehículos híbridos y eléctricos se han tomado los factores de emisión de los vehículos más vendidos, afectándoles por las emisiones WTT de los combustibles, de la electricidad respectivamente, fabricación de vehículos y baterías y por su participación en la movilidad del año 2016 (distribución del tráfico ligero y pesado por categoría de vehículo<sup>20</sup>), con todo ello se obtienen sus factores de emisión para el año 2016.

En el caso del año 2020, se considera la tasa de acharramiento anual del 5% anual para turismos, lo que supone que todos los años se sustituyen aproximadamente 1.150.000 vehículos con la misma distribución de las matriculaciones de 2016 (56,6% diésel; 42,92% gasolina; otros que incluye a los híbridos y eléctricos el 0,076%). Esta proporción puede variar incrementando la gasolina por las políticas que se anuncian desde el nuevo ministerio (MINETAD) de penalizar al motor diésel. Con esta tasa de reposición se repondrán para 2020 el 15,6% del parque móvil de turismos, donde la mejora de las emisiones es sobre todo resultado de la mejora tecnológica del motor térmico, gasóleo y gasolina, puesto que la movilidad de los híbridos y eléctricos se limita en gran medida a la parte

<sup>17</sup> *The role of GHG emissions from infrastructure construction, vehicle manufacturing, and ELVs in overall transport sector emissions.*

<sup>18</sup> *Energía y emisiones en el transporte por ferrocarril Parte I. Usos de la energía en el transporte.*

<sup>19</sup> *The role of GHG emissions from infrastructure construction vehicle manufacturing, and ELVs in overall transport emissions: battery production emissions: NiMH0 240 kgCO<sub>2</sub>e/kWh capacity and the Li-on 152 kgCO<sub>2</sub>e/kWh capacity.*

<sup>20</sup> *Los transportes, las infraestructuras y los servicios postales: informe anual 2015.*

**Tabla 6.** Factores medios de emisión de GEI por vehículo y kilómetro recorrido (WTW)

Categoría de vehículo			Emisiones (grCO <sub>2</sub> e/veh-km)		
			2016	2020	2030
Vehículos ligeros	Motocicleta	Motor térmico (gasolina)	120,51	120,51	108,5
		Motor térmico (gasóleo, gasolina o GLP)	214,8	214,8	193,32
	Turismo	Híbrido	125,73	125,73	119
		Eléctrico	73,47	73,47	40
	Vehículo de carga ligero (peso bruto < 3,5 Tm)	Motor térmico (gasóleo o gasolina)	288	288	260
		Eléctrico	82	82	45
Vehículos pesados	Vehículo de carga pesado (peso bruto > 3,5 Tm)	Motor térmico (gasóleo)	947	947	937
	Autobús	Motor térmico (gasóleo+ gas natural)	1030,19	1030,19	927

**Tabla 7.** Supuestos de distribución del tráfico ligero y pesado por categoría de vehículo de carretera

Categoría de vehículo			Distribución		
			2017	2020	2030
Vehículos ligeros	Motocicleta	Motor térmico	1,7 %	1,9%	2,0%
		Motor térmico	91 %	90,5%	80,6%
	Turismo	Híbrido	0,8 %	0,8%	3 %
		Eléctrico	0,03 %	0,2%	5 %
	Vehículo de carga ligero	Motor térmico	6,3 %	8,3%	10,3%
		Eléctrico	0,0%	0,0%	0,1%
Vehículos pesados	Vehículo de carga pesado	Motor térmico	92,04%	90,5%	90,8%
	Autobús	Motor térmico	7,96%	9,5%	9,2%

urbana, y su contribución no será tanto en reducción de CO<sub>2</sub>, sino en otros contaminantes.

La tabla 6 muestra el factor de emisión de las diferentes categorías de vehículos para 2017<sup>21</sup>, 2020 y 2030<sup>22</sup>, afectados por la movilidad que van a desempeñar en el horizonte temporal distribuida en las dos categorías de vehículos, ligeros y pesados<sup>23</sup> (tabla 7).

<sup>21</sup> La tasa de achatarramiento debe superar la de reposición de vehículos de lo contrario las emisiones del parque de vehículos no mejoran, esto se evidencia en los factores de emisión medios por Km recorrido según categoría de vehículos de la carretera entre los años 2012-2016 del Sistema Español de Inventario de Emisiones a la Atmósfera.

<sup>22</sup> [http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei/espana-2017-proyecciones-informeresumen-corregido-junio2017\\_tcm30-378888.pdf#page=35](http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei/espana-2017-proyecciones-informeresumen-corregido-junio2017_tcm30-378888.pdf#page=35) Proyecciones del sector de transporte a 2050. A 2020 España cumple con el objetivo europeo, y entre 2020-2030 se produce un incremento del 1% de las emisiones GEI's, 0,2% hasta 2025 y 0,8% a 2030. El parque de vehículos será algo más eficiente, si la proyección aumenta las emisiones se debe a un aumento de la movilidad 1% en el periodo 2020-2030 (debido a las mercancías).

<sup>23</sup> Según el informe del Mº de Fomento, los transportes, las infraestructuras y los servicios postales, 2015 los vehículos pesados representan el 13,2% de la movilidad total, el mayor porcentaje de este tipo de vehículos se produjo en el periodo 2000-2007, aproximadamente el 17%.

La distribución de vehículos ligeros y pesados y la movilidad del parque puede venir dada por el promotor del plan o ser el resultado de las proyecciones del sector.

En estas estimaciones se considera que el parque móvil de vehículos alcanzará su techo en 2020, con la hipótesis de que en ese horizonte temporal se siguen incentivando políticas de achatarramiento de vehículos asociadas a la renovación eficiente del parque móvil, e incentivando su correspondiente baja en el registro en la DGT.

Este comportamiento de saturación del mercado del automóvil se ha constatado en otros Estados de la UE, hecho que vendrá apoyado entre otras causas por la reducción del crecimiento vegetativo que se pronostica para España y por cambios en los hábitos de movilidad (destacando, entre otras alternativas, el uso de servicios de vehículo compartido, ya sea bicicleta, motocicleta o coche, utilizando para ello la amplia oferta de aplicaciones para los distintos tipos de dispositivos electrónicos).

Para traducir posteriormente las emisiones de veh-km a emisiones por unidad transportada y kilómetro recorrido (emisiones/p-km o emisiones/t-km), podrán emplearse por defecto los factores de ocupación/carga indicados en la tabla 2, comprobando que la actuación propuesta no conlleve políticas de cambio de los factores de ocupación medios del modo de transporte.

**Tabla 8.** Emisiones medias de GEI por kilómetro de carretera construido

Tipo de carretera		Emisiones	
Carretera convencional nueva	Terreno llano	2.800 tCO <sub>2</sub> e/km	2.000 tCO <sub>2</sub> e/km
	Terreno accidentado		4.000 tCO <sub>2</sub> e/km
Autovía o autopista nueva	Terreno llano	4.900 tCO <sub>2</sub> e/km	3.500 tCO <sub>2</sub> e/km
	Terreno accidentado		7.000 tCO <sub>2</sub> e/km
Desdoble de una carretera convencional	Terreno llano	2.100 tCO <sub>2</sub> e/km	1.500 tCO <sub>2</sub> e/km
	Terreno accidentado		3.000 tCO <sub>2</sub> e/km

### Emisiones de GEI's atribuibles a la construcción y ampliación de las infraestructuras viales (fase infraestructura)

En las emisiones asociadas a la construcción se deben contabilizar, las emisiones debidas a la fabricación de materiales, las asociadas al transporte de materiales al emplazamiento o lugar donde se realiza la obra y las emisiones de gases de efecto invernadero de la obra propiamente dicha.

Las emisiones asociadas a esta fase varían mucho, dependiendo en gran medida de las etapas del ciclo de vida de la infraestructura que se incorpore al estudio, de la consideración de vida útil y del tipo de orografía por la que discurre la traza del proyecto.

En la bibliografía española se cuenta con el trabajo de la tesis doctoral de A. Berzosa<sup>4</sup>, que utiliza la herramienta CO<sub>2</sub>NSTRUCT, desarrollada en el marco del proyecto de investigación CLEAM. En él se analizan cuatro proyectos viales de España, con distintas orografías y elementos constructivos. Entre las conclusiones más relevantes están, que la fase de construcción es la más intensiva en emisiones, frente a la de mantenimiento. La fabricación de materiales es poco significativa, aún en el caso de fabricar los materiales con un mix energético muy intensivo en emisiones como el chino (más del 50% del mix proviene del carbón<sup>24,5</sup>).

En la fase de construcción se ha de poner atención a la partida del movimiento de tierras, que consume mucha energía en el balance total y su correspondiente relación en emisiones. Las emisiones de CO<sub>2</sub> de este apartado representan del orden de 10 veces más que el capítulo de estructuras, y 100 veces más que las debidas a las emisiones asociadas al transporte de la maquinaria.

En la tabla 8 pueden observarse los factores de emisión de diferentes tramos de carretera, por tipos de vía y orografía del terreno.

Otras referencias que han permitido elaborar este cuadro de indicadores están en, T. Baron et al<sup>6</sup>, en la autopista de peaje A7 Valence-Marseille de Francia y en Acciona Infraestructuras al certificar la huella ambiental del proyecto de un tramo de la carretera N-340 en Elche<sup>7</sup>.

### Emisiones debidas al mantenimiento y operación de la infraestructura

En planes y programas viales se podrá estimar que las emisiones por el mantenimiento de la infraestructura

– incluido la rehabilitación del firme - se sitúan en torno a 30 tCO<sub>2</sub>e/km-año, de acuerdo con los resultados obtenidos por J. Fairburn et al, y Acciona Infraestructuras. Cuando en la red vial objeto del plan cuenta con instalaciones de iluminación y/o de peaje, se considerará unas emisiones adicionales de 30 tCO<sub>2</sub>e/km-año en concepto de operación de la infraestructura.

A. Berzosa, 2013 estima que en autopistas y autovías la etapa de mantenimiento supone apenas entre 7,2–12,25% de las emisiones totales. En carretera convencional se aprecia que el mantenimiento adquiere mayor importancia, pudiendo llegar al 35% de las emisiones totales.

## 4. EMISIONES ASOCIADAS A PLANES FERROVIARIOS

### Emisiones debidas al tráfico ferroviario

Las emisiones de GEI atribuibles al tráfico ferroviario de un plan o programa se pueden estimar de multiplicar la demanda anual de las previsiones del plan por un factor de emisiones por unidad de carga transportada (personas y mercancías) por kilómetro recorrido desde el año de puesta de servicio hasta el horizonte del plan.

En el caso hipotético de desconocerse la distancia real de un recorrido ferroviario entre dos puntos, ésta podrá estimarse afectando la distancia en línea recta entre las estaciones de origen y destino en un 24%, 40% o 50%, según se trate de líneas de alta velocidad, de viajeros en líneas convencionales o de mercancías en líneas convencionales respectivamente, de acuerdo con las estimaciones efectuadas por el equipo investigador del proyecto Enertrans (tabla 1).

En la estimación del cálculo de emisiones se parte de los factores de emisión calculados por RENFE operadora para los servicios que presta: transporte de mercancías, cercanías, media distancia convencional y alta velocidad, AVE y AVE LD (larga distancia). Para obtener los factores de emisión se pondera cada factor de emisión de los distintos servicios por los tráficos que desarrollan en el conjunto de la movilidad: personas y mercancías en los distintos años del horizonte temporal a 2020 y 2030.

Para calcular el factor de emisión del mix eléctrico se toma como referencia el año 2017, este factor se mayor por las emisiones WTT del mix eléctrico<sup>25</sup>. Para calcular el peso de las emisiones debidas a la fabricación del material móvil se ha tomado como referencia la investigación de la FFE, A.García, 2011<sup>8</sup>. Para el tren de mercancías se

<sup>24</sup> El 61-68% de la energía primaria del año 2016 proviene del carbón.

<sup>25</sup> Calculado el del año 2015 que representa un 8,4%.

**Tabla 9.** Factores de emisión medios actuales por unidad transportada (pasajero o tonelada) y kilómetro recorrido (WTW) well-to-wheel

Tipo de servicio			Tracción	Emisiones 2017 (grCO <sub>2</sub> e/p-km o grCO <sub>2</sub> e/t-km)		
Viajeros	Cercanías		Eléctrica	39,2	47	45,62
			Diésel			87,47
	Media distancia	Alta velocidad	Eléctrica		33,6	33,6
		Convencional	Eléctrica		60,5	26,27
	Diésel		131			
	AV-LD	Alta velocidad	Eléctrica		28	28
			Alta Velocidad – Larga distancia		Eléctrica	33
		Diésel			80	
Mercancías			Eléctrica	27,34	17,96	
			Diésel		67,62	

**Tabla 10.** Factores de emisión medios en 2020 por unidad transportada (pasajero o tonelada) y kilómetro recorrido (WTW) well-to-wheel

Tipo de servicio			Tracción	Emisiones 2020 (grCO <sub>2</sub> e/p-km o grCO <sub>2</sub> e/t-km)		
Viajeros	Cercanías		Eléctrica	39,2	47	45,62
			Diésel- GN			87,47
	Media distancia	Alta velocidad	Eléctrica		33,6	33,6
		Convencional	Eléctrica		60,5	26,27
	Diésel-GN		131			
	AV-LD	Alta velocidad	Eléctrica		28	28
			Alta Velocidad – Larga distancia		Eléctrica	33
		Diésel GN			80	
Mercancías			Eléctrica	27,34	17,96	
			Diésel- GN		67,62	

**Tabla 11.** Factores de emisión medios en 2020 por unidad transportada (pasajero o tonelada) y kilómetro recorrido (WTW) well-to-wheel

Tipo de servicio			Tracción	Emisiones 2030 (grCO <sub>2</sub> e/p-km o grCO <sub>2</sub> e/t-km)		
Viajeros	Cercanías		Eléctrica	14,35	19	17,4
			Diésel-GN			58,8
	Media distancia	Alta velocidad	Eléctrica		15,7	12,7
		Convencional	Eléctrica			9,9
	Alta velocidad - Larga distancia		Convencional		Diésel-GN	10,5
		Eléctrica			10,5	
		Diésel-GN	53,7			
Mercancías			Eléctrica	13,73	7	
			Diésel-GN		74,3	

**Tabla 12.** Reparto de la demanda de transporte ferroviario en Renfe Operadora según unidades transportadas y kilómetro recorrido (p-km o t-km)

Tipo de servicio		Tracción	% de Demanda actual	% de la Demanda 2020	% de la demanda 2030	
Viajeros	Cercanías	Eléctrica	30	35	35	
		Diésel- GN	1,15	1,15*	1,15*	
	Media distancia	Alta velocidad	Eléctrica	3,3	4	4
		Convencional	Eléctrica	9	10	10
			Diésel-GN	4,5	1,5	1
	Alta velocidad - Larga distancia AV	Eléctrica	46	47,35	48,85	
Diésel-GN		3	1	0		
Mercancías		Eléctrica	80,8	85	90	
		Diésel-GN	19,2	15	10	

\* GNL actualmente se están haciendo pruebas para ver el comportamiento de este tipo de combustible al frente al diésel

considera 0,0045Wh/ t-km que equivale a 0,3 g de CO<sub>2</sub>/ t-km tanto para la tracción diésel como eléctrica); para los trenes AVE y similares se aproxima al valor de 2,8 Wh/ p-km, con el mix eléctrico de 2017 se corresponde 0,9 gCO<sub>2</sub>/p-km, aproximadamente el 0,04% de las emisiones TTW.

En la tracción diésel las emisiones WTT incrementan a las de TTW en 12% en concepto de emisiones asociadas a la obtención del combustible diésel y el 8,4% debido a la electricidad. A los factores de emisión TTW medios tanto de la tracción diésel como eléctrica se le ha de incrementar las emisiones asociadas al funcionamiento de las estaciones y servicios asociados a la tracción de vehículos (climatización, luminarias, señalización, etc.). Asociándoles unos consumos propios y otros generales en proporción a la movilidad que representan 88,5% y 11,5% para la eléctrica y diésel, respectivamente. Estos consumos se deben al consumo eléctrico, combustible diésel, gas natural y gasóleo A, B y C y propano, lo que supone un incremento del 8% y del 12% de las emisiones TTW en los vehículos eléctricos y los diésel respectivamente.

Todos estos factores de emisión son resultado de estimaciones medias obtenidas por RENFE operadora, varían mucho dependiendo del tipo de tracción, del mix de generación eléctrica, tipo de material a transportar, afectando el factor de emisión desde un rango bajo para los productos petroquímicos (compactos y densos) hasta más elevado en porta-automóviles (productos voluminosos). Condiciona el perfil de la vía, desde el suave y llano, con toda la gradación hasta montañoso, y el número de trayectos que se realizan en vacío<sup>9</sup>. En un plan con un horizonte temporal variará el factor de ocupación tanto en viajeros como en mercancías y el porcentaje de trenes vacíos, por la creciente tendencia a mejorar la logística en el transporte de mercancías y la nueva política que promueve productos de viajes en tren por Alta velocidad a precios más competitivos para el ciudadano, que mejorará la ocupación del servicio.

La tabla 12 caracteriza el reparto de la movilidad por tipo de servicio ferroviario, según información del año 2017 de RENFE operadora. No se han considerado los servicios

prestados por otras compañías debidos a la liberalización del transporte de mercancías. En el diseño de los factores de emisión de los servicios a 2020 (tabla 10) y 2030 (tabla 11), se ha estimado el factor de emisión de los servicios de transporte de mercancías y de personas, afectados por la ocupación que se prevé a futuro (políticas tarifarias), y las mejoras tecnológicas de los servicios, que a su vez condiciona la distribución de la demanda y tipo de tracción del servicio prestado por los operadores en el horizonte temporal.

La implementación al sistema ferroviario de las mejoras en eficiencia energética disponibles hasta la fecha permitirá un uso más eficiente de los recursos energéticos, se estima que la implementación de los resultados del proyecto MERLIN 2013 conseguirá una reducción del 10% en el consumo energético<sup>10</sup>.

Por su parte, el Ministerio de Fomento está elaborando un plan de descarbonización y eficiencia energética en el que trabajan Renfe y Adif y está en marcha la estrategia de impulso del vehículo con energías alternativas (VEA) en el horizonte 2014-2020, en línea con el objeto y ámbito de aplicación de la Directiva 2014/94 sobre la implantación de una infraestructura para los combustibles alternativos en Europa.

En esta misma línea de acción está aprobado el Plan de impulso del transporte de mercancías por ferrocarril 2017-2023, que plantea el incremento de la cuota modal en el transporte terrestre, más acorde con los países de nuestro entorno<sup>26</sup>, para ello prevé un plan de inversión en locomotoras donde la mitad serán híbridas, que permitirá un aumento de la tracción eléctrica en los términos descritos en la tabla 12.

### Emisiones atribuibles a la construcción y ampliación de infraestructura

En el estudio de indicadores que permiten analizar la huella de carbono asociada a la construcción de la

<sup>26</sup> La cuota modal del transporte ferroviario en el conjunto del transporte terrestre es del 5% frente a la UE-28 que tiene de media 17,3%.

**Tabla 13.** Emisiones medias de GEI por construcción de infraestructura ferroviaria

Componente ferroviaria		Emisiones	
Construcción		t CO <sub>2</sub> / km / año	t CO <sub>2</sub> / año
Línea de alta velocidad	*Túneles y puentes > 30%	240	156.410* <sup>2</sup>
	*Túneles y puentes < 30%	75	128.073* <sup>3</sup>
Cercanías	*Túneles y puentes > 30	190	2.281* <sup>4</sup>
	* Túneles y puentes < 30%	65	2.494* <sup>5</sup>
Mercancías	* Túneles y puentes > 30%	125	14.452* <sup>6</sup>
	*Túneles y puentes < 30%	40	14.527* <sup>7</sup>
		tCO <sub>2</sub> e	
Estación	Principal	9.000	
	Secundaria	3.000	

\*1 % de Longitud de túneles y puentes en relación a la log total de la vía de ferrocarril del superior o inferior al 30 %

\*2 Metodología IFEU. Trabajo de UIC

\*3 Metodología UIC. \*4 Metodología RFF. \*5 Metodología NTU. \*6RFF. \*7 UICw

infraestructura ferroviaria se ha tenido muy en cuenta el análisis efectuado por la UIC<sup>11</sup> sobre la huella de carbono en las infraestructuras ferroviarias. Este informe evalúa 10 estudios de cálculo de huella de carbono con sus respectivos alcances: estaciones, túneles/puentes, catenaria y señalización y telecomunicaciones.

Las metodologías empleadas en los trabajos permiten analizar tres tipos de corredores: alta velocidad en doble vía, cercanías en doble vía y orografía llana y mercancías en vía simple y terreno montañoso. De estas metodologías la IFEU/Tuchmid (IFEU, 2010) encargada por la UIC parece resultar la metodología más precisa según el estudio de la UIC.

Como conclusión del estudio se extrae que los elementos determinantes en la huella de carbono de las líneas de ferrocarril son los túneles y puentes. Para corredores cuya longitud tiene un porcentaje de túneles y puentes inferior al 30% en relación a la longitud total se tomaría como valor realista de referencia 50 t CO<sub>2</sub>/km/año de acuerdo con los valores y resultados de la metodología IFEU/Tuchmid. Traducido a tráfico ferroviario (expresado en unidades de transporte UT), sería equivalente a 6-7 g de CO<sub>2</sub>/UT.

Para mayores porcentajes de Km de túneles y puentes en el conjunto total de la vía es necesario acudir a la metodología IFEU/Tuchmid.

En todas las metodologías estudiadas se analizan los límites del sistema, fases incluidas en las evaluaciones: planificación, construcción, operación, mantenimiento y desmantelamiento, y elementos constructivos como: vías, balasto y cimentación de las vías.

En los trabajos analizados no suelen estar incluidas otras unidades como la catenaria, sistemas de señalización o estaciones.

El análisis del cálculo de la huella de carbono de la infraestructura está en función de la movilidad que soportan (viajero-km o t-km), estos valores están condicionados por el tráfico de las líneas. Así la línea de alta velocidad japonesa es la menos intensiva en carbono de todas las líneas de viajeros estudiadas, a pesar de su alto porcentaje de túneles y puentes, por la alta movilidad que desempeña.

Las líneas de cercanías tienen más competencia con otros modos, manteniendo con todos ello valores de actividad de tráfico alta. Con todos estos condicionantes en los tres corredores, resulta una intensidad de carbono para la alta velocidad 8 t CO<sub>2</sub>/v-km<sup>27</sup>, cercanías 23 t CO<sub>2</sub>/ v-km y mercancías 16 t CO<sub>2</sub>/ t-km. En el estudio se considera para la Alta velocidad una vida útil de 60 años, cercanías 40 años y mercancías 53 años.

## 5. CONCLUSIONES

El transporte es el sector más intensivo en consumo de energía final y uno de los mayores generadores de emisiones de GEI. Está muy influido por la actividad económica y es muy dependiente del suministro de combustibles fósiles, sobre todo en el transporte de mercancías, lo que no ayuda a caminar en una senda de descarbonización.

Por esta razón introducir herramientas de reflexión para cuantificar las emisiones en el horizonte temporal, que consideren el análisis de ciclo de vida, permite situarnos con perspectiva sobre las acciones a considerar.

Estas reflexiones introducen y valoran muchos conceptos aplicables en la evaluación de impacto ambiental o a la evaluación ambiental integrada de planes y programas, como son los factores socio-económicos más relevantes: crecimiento de la población, actividad económica, y otros determinantes como políticas y compromisos de la UE, políticas territoriales y de Estado, avance de la tecnología y de los vectores energéticos.

La elaboración de estas herramientas se convierte por tanto en el ejercicio obligado para todos los actores involucrados en el sector del transporte para pronosticar según distintos escenarios la evolución del sector y en particular las iniciativas objeto de evaluación.

<sup>27</sup> CO<sub>2</sub>/v-Km equivale a CO<sub>2</sub>/p-km.

## 6. AGRADECIMIENTOS

A Gabriel Castañares, de Renfe operadora, por la ayuda prestada en la actualización de los factores de emisión asociados a los servicios de ferrocarril. Y a Martín Fernández Díez-Picazo, responsable de la Unidad de Inventarios de Emisiones a la Atmósfera, por la actualización de los factores medios de emisión de las diferentes tipologías de los vehículos de la carretera.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

[1] EnerTrans (2009). Cillero, A., Bouzada, P., García, A., y Martín, M.P. Monografía nº 7: *Incrementos de recorrido en el transporte por longitud de caminos, operación y gestión*. Madrid: Fundación de los Ferrocarriles Españoles (FFE).

[2] Economics for Energy (2017). Labandeira, X., y Linares, P. *Escenarios para el sector energético en España, 2030-2050*. Vigo: Economics for Energy.

[3] CEDEX (2013). *Recomendaciones para la estimación de las emisiones de GEI en la evaluación ambiental de planes y proyectos de transporte*. Madrid: CEDEX.

[4] Berzosa González, Á. (2013). *Análisis de las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero a lo largo del Ciclo de Vida de las Carreteras*. Tesis Doctoral. Madrid: Universidad Complutense de Madrid (UCM).

[5] British Petroleum (BP) (2017). *Statistical Review of World Energy*, June 2017.

[6] International Union of Railways (UIC) (2011). Baron, T., Tuchsmid, M., Martinetti, G., y Pépion, D. *High Speed Rail and Sustainability. Background Report: Methodology and results of carbon footprint analysis*. París: UIC.

[7] Acciona Infraestructuras (2013). *Environmental Product Declaration: N-340 Road*. Diciembre 2013.

[8] García Álvarez, A. (2011). *Energía y emisiones en el transporte por ferrocarril*. Madrid: Fundación de los Ferrocarriles Españoles (FFE).

[9] González Franco, I. (2012). *Estimación del consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> en trenes de mercancías y análisis de variabilidad*. Madrid: Fundación de los Ferrocarriles Españoles (FFE).

[10] Proyecto Europeo MERLIN 2013, financiado por la Comisión Europea en la quinta convocatoria de transporte del Séptimo Programa Marco de la UE.

[11] International Union of Railways (UIC) (2016). *Carbon Footprint of Railway Infrastructure*. París: UIC.