

ANEXO VII. – ESTUDIO SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN Y ENCUADRE LEGISLATIVO	1
2.	OBJETO Y ALCANCE	1
3.	BASES DE PARTIDA.....	1
4.	DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA	2
4.1.	LEGISLACIÓN	2
4.2.	DOCUMENTOS Y FUENTES CONSULTADAS.....	2
5.	METODOLOGÍA APLICADA.....	3
5.1.	FASE DE OBRA O CONSTRUCCIÓN:	3
5.2.	FASE DE EXPLOTACIÓN:	3
5.3.	FASE DE MANTENIMIENTO.....	3
6.	EMISIONES DURANTE LA FASE DE CONSTRUCCIÓN	3
6.1.	EMISIONES DIRECTAS.....	4
6.1.1.	INDICADORES	4
6.1.2.	FACTORES DE EMISIÓN	4
6.1.3.	EMISIÓN DIRECTA FASE DE CONSTRUCCIÓN	6
6.2.	EMISIONES INDIRECTAS.....	8
6.3.	DESTRUCCIÓN DE SUMIDEROS DE CARBONO (VEGETACIÓN AFEC-TADA)	8
6.3.1.	Pérdida de stock de carbono	8
6.3.2.	Pérdida de secuestro.....	8
6.3.3.	Sumideros de carbono por la revegetación	8
6.3.4.	Pérdida global por destrucción de sumideros	8
6.4.	EMISIONES GLOBALES EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN	9
7.	EMISIONES DURANTE LA FASE DE EXPLOTACIÓN POR LA OPERACIÓN FERROVIARIA.....	10
7.1.	PREVISIONES DE TRÁFICO	10
7.2.	FACTORES DE EMISIÓN	10
8.	EMISIONES DURANTE LA FASE DE EXPLOTACIÓN POR TAREAS DE MANTENIMIENTO	11
9.	EMISIONES GLOBALES DURANTE LA VIDA ÚTIL.....	11
10.	VALORACIÓN DE IMPACTOS.....	11
11.	MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTORAS	12

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.-	Indicadores para el cálculo de emisiones de GEI en construcción ferrocarriles.	4
Tabla 2.-	Factores de emisión para indicadores de la emisión de GEI en la fase de construcción.	5

1. INTRODUCCIÓN Y ENCUADRE LEGISLATIVO

El cambio climático es una de las mayores preocupaciones ambientales de la actualidad, y se ha convertido en un reto global de máxima importancia al que la sociedad debe dar respuesta.

Dentro de los **Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) marcados por Naciones Unidas** para la Agenda 2030, en concreto el objetivo nº13 “Acción por el Clima” urge a adoptar medidas para combatir el cambio climático y sus efectos, como al **Acuerdo de París (COP21)**, cuyo objetivo es evitar que el incremento de la temperatura media global del planeta supere los 2°C respecto a los niveles preindustriales (1990).

Con la entrada en vigor del **Protocolo de Kioto de 2005** se manifestó la necesidad de calcular y controlar las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) para reducir los efectos que el cambio climático y el calentamiento global están produciendo. Los daños presentes y futuros de los gases de efecto invernadero derivados de la actividad antrópica es una de las principales cuestiones asociadas al desarrollo sostenible, ya que sus repercusiones se extienden a todos los niveles de la sociedad y de su estructura económica.

El transporte representa, junto con la generación de energía, cerca de la mitad de las emisiones de CO₂eq generadas en España. Además, las previsiones existentes en el sector del transporte a nivel mundial nos remiten a un fuerte incremento de las emisiones, sobre todo por carretera y por el transporte aéreo.

La normativa en materia de Ley 9/2006 y el Real Decreto Legislativo 1/2008, de evaluación ambiental recogen expresamente a los factores climáticos entre aquellos que deben evaluarse en los informes de sostenibilidad en el caso de la evaluación ambiental de planes y programas como en los estudios de impacto ambiental de proyectos.

En la **Directiva 2011/92/UE sobre evaluación de los efectos de ciertos proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente**, la Comisión Europea ya establece explícitamente que la evaluación de impacto ambiental debe identificar, describir y evaluar, de forma adecuada, los efectos significativos directos e indirectos de un proyecto sobre el cambio climático.

Posteriormente, la **Ley 21/2013 de 9 de diciembre, de evaluación ambiental, conforme al texto consolidado derivado de su última modificación de 6 de diciembre de 2018** establece la necesidad de considerar, en los distintos documentos asociados a los diferentes tipos de tramitaciones y fases, el cambio climático. La reciente modificación de la Ley aclara, además, en su Anexo VI:

“ANEXO VI. Estudio de impacto ambiental, conceptos técnicos y especificaciones relativas a las obras, instalaciones o actividades comprendidas en los anexos I y II

6.º El impacto del proyecto en el clima (por ejemplo, la naturaleza y magnitud de las emisiones de gases de efecto invernadero, y la vulnerabilidad del proyecto con respecto al cambio climático).”

2. OBJETO Y ALCANCE

El objeto de este documento es identificar, describir y evaluar las posibles afecciones del Estudio Informativo Corredor Cantábrico Mediterráneo de Alta Velocidad. Tramo: Zaragoza-Castejón, en relación al cambio climático.

Para calcular la huella de carbono asociada a la construcción y explotación de este proyecto se deberá determinar las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a las alternativas en las respectivas fases de construcción y explotación de esta línea ferroviaria de alta velocidad.

Se excluye, por tanto, de este análisis la fabricación del material rodante y también la construcción de estaciones y de centros de gestión de red por considerar que se trata de una tipología diferente de proyectos (edificación), no directamente ligados a la construcción de la línea ferroviaria.

La contribución al cambio climático de una infraestructura lineal de transporte, asociada fundamentalmente a las emisiones GEI (Gases de Efecto Invernadero), varía mucho durante toda la vida útil de la misma, con una diferencia significativa que otorga la mayoría del peso a la etapa de explotación. Las emisiones GEI se cuantifican mediante el cálculo de la huella de carbono (HC), valorada por las emisiones de tCO₂e (equivalente).

3. BASES DE PARTIDA

En la actualidad, la conexión ferroviaria entre Zaragoza y Castejón pertenece a la línea férrea Sagunto- Teruel –Zaragoza – Pamplona. Transcurre a través de 88 km por una vía única de ancho ibérico no electrificada, aunque actualmente existe un proyecto de electrificación adicional al del presente EI, por lo que, a todos los efectos, se puede considerar que todo el tramo de la línea será electrificado.

La duplicación que se analiza en el presente estudio incidirá por lo tanto en dos aspectos que pueden tener que ver con el Cambio climático: el aumento de la capacidad de transporte ferroviario y la mejora del trazado que redundará en un aumento de la velocidad de los trenes. Estas mejoras favorecerán la competitividad de este medio de transporte en relación con el transporte por carreteras.

Desde el punto de vista del cambio climático y bajo una perspectiva global, es importante destacar que el transporte de pasajeros y mercancías por vía férrea es claramente beneficioso frente al transporte por carretera (turismos y camiones), por lo que el proyecto debería conllevar un beneficio en cuanto a emisiones y cambio climático al reducirse

la contaminación del aire en franjas aledañas a las vías de transporte por carretera.

Una mayor participación del ferrocarril en el transporte de viajeros y mercancías contribuye a una disminución de la emisión de GEI. Desde RENFE y Adif se considera que, frente a la preeminencia del transporte por carretera, conviene promover en el ámbito interurbano de las mercancías corredores ferroviarios, si la distancia y la cantidad de mercancías lo aconsejan, e impulsar el desarrollo de infraestructuras específicas y plataformas en los principales nodos de la red. También cabe potenciar la intermodalidad ferropuertuaria, reforzando la accesibilidad ferroviaria a los puertos y consolidando la integración del ferrocarril con las plataformas logísticas terrestres.

En términos de emisiones, el ferrocarril es el medio de transporte menos contaminante por viajero y kilómetro transportado. Por tanto, elegir el tren para los desplazamientos en lugar de otras alternativas tiene un efecto directo sobre el volumen de CO₂ que se emite a la atmósfera y el cambio climático.

Según fuentes de Adif, "el transporte es el sector del que procede el 26% de las emisiones de GEI en España y el ferrocarril es, con diferencia, el modo menos emisor respecto a la carretera y la aviación, de ahí que el cambio modal hacia los trenes sea uno de los objetivos generales del Plan, sobre la base del Libro Blanco del Transporte de la Unión Europea". Renfe asegura que esta transferencia modal hacia el ferrocarril, tanto de mercancías como de viajeros, tiene por objetivo "alcanzar una reducción de las emisiones del 2% para 2030 en el sector del transporte en España". Dado que Adif y Renfe contribuyen a un 1% de las emisiones del sector, esta transferencia conseguiría reducir casi el doble de lo que se emite.

4. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA

4.1. LEGISLACIÓN

La normativa principal relacionada con las infraestructuras y sus posibles repercusiones sobre el cambio climático es la siguiente:

- **Texto consolidado de la Ley 21/2013**, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental según la modificación desarrollada en Ley 9/2018.
- **Directiva 2011/92/UE** del Parlamento Europeo y del Consejo de 13 de diciembre de 2011, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente. DOUE 28.01.2012.
- **Directiva 2014/52/UE** del Parlamento Europeo y del Consejo del 16 de abril de 2014 por la que se modifica

la Directiva 2011/92/UE. DOUE 25-04-2014.

4.2. DOCUMENTOS Y FUENTES CONSULTADAS

Se han consultado para el desarrollo de este trabajo múltiples fuentes, trabajos y metodologías citándose a continuación únicamente parte de las mismas por su especial interés para el contenido expuesto:

- Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Oficina Catalana del Cambio Climático. 2013.
- Informe técnico. Huella de carbono de la construcción de una línea ferroviaria de alta velocidad. Ineco / Ecodes 2012.
- Consideración del cambio climático en la evaluación de impacto ambiental de infraestructuras lineales de transporte. UNED. 2017 (Enríquez de Salamanca Sánchez-Cámara, Álvaro).
- La consideración del cambio climático en la evaluación ambiental de planes y programas – Aplicación al caso de planes y programas de infraestructuras de transporte. CEDEX, 2012.
- EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016. Technical guidance to prepare national emission inventories. EEA Report No 21/2016. 2016 Aporta emisiones por tipo de vehículo y Excel con listados.
- Incorporating climate change impacts and adaptation in environmental impact assessments. Opportunities and challenges. Agrawala S., A. M. Kramer, G. prudent-Richard and M. Sainsbury. 2010. OECD Environmental working paper nº 24, OECCD Publishing.
- Guidance on integrating climate change and biodiversity into environmental impact assessment. European Commission, 2013.
- Climate change adaptation & EIA. Institute of Environmental Management and Assessment (IEMA), 2010.
- Guidelines to Defra / DECC's GHG Conversion Factors for Company Reporting: Methodology Paper for Emission Factors. August 2011 (www.defra.gov.uk). Descargables Excel con factores de emisión para vehículos.
- Herramienta y metodología CO₂TA. CEDEX. 2013; estima las emisiones en tCO₂ y compara alternativas, aportando un Excel de cálculo propio. Carreteras.
- Herramienta y metodología hueCO₂. TECNIBERIA

- Herramienta y metodología COPERT IV. Inventarios nacionales de emisiones a la atmósfera 1990-2012 por actividades. MAPAMA. 2014. Aporta datos del parque automóvil por provincias y CA, tipos y carburantes para el año 2012. Factores de emisión de CO₂ y poderes caloríficos inferiores (PCI) de los combustibles, se han considerado en la edición 1990-2011. Aporta Excel de información.
- Calculadora de absorción de CO₂ por repoblaciones. MAGRAMA. 2014. Calcula las absorciones de tCO₂ para distintas alternativas de plantaciones aportando un Excel propio.
- Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030.
- Plan de Lucha Contra el Cambio Climático para el periodo 2018-2030, de Adif.

5. METODOLOGÍA APLICADA

Se ha desarrollado una metodología de cálculo de las emisiones de GEI (expresadas como CO₂ equivalente) asociadas a la ejecución de proyectos de diseño y construcción de líneas ferroviarias, y su posterior explotación.

Para la elaboración de esta metodología de cálculo de la huella de carbono se ha tenido en cuenta la separación por fases:

- Para la fase de construcción se han de identificar las principales actividades, unidades de obra, maquinaria asociada y materiales empleados – que pueden generar emisiones de gases de efecto invernadero (o en el caso de los materiales, emisiones que se asocia a su producción) – para, posteriormente, calcular los factores de emisión para cada máquina/equipo y unidad de obra ejecutada.
- Para la fase de explotación, se han estudiado las demandas energéticas, asociando las previsiones de desplazamientos para las alternativas, y con esa demanda energética calcular los factores de emisión asociados.

A continuación, se describen las distintas fases o secuencias del estudio

5.1. **FASE DE OBRA O CONSTRUCCIÓN:**

- a) Selección de indicadores a considerar en función del tipo de obra
- b) Atribución de los factores de emisión (kgCO₂) en función del rendimiento de las distintas unidades de obra
- c) En base a lo anterior, cálculo de los factores de emisión para cada indicador.

- d) Emisión directa asociada a las actividades de obra (tCO₂) en función de los factores de emisión por indicador y las unidades de obra reales.
- e) Estimación de la pérdida de sumideros por destrucción de la vegetación forestal (tCO₂), en función de la superficie ocupada de cada tipo.
- f) Emisión total de la etapa constructiva por suma de lo anterior.

5.2. **FASE DE EXPLOTACIÓN:**

- a) Factores de emisión a aplicar: gCO₂/pasaje o gCO₂/tn carga
- b) Cálculo de la emisión total por año y finalmente para el periodo considerado.
- c) Otras consideraciones: se debería considerar el cálculo de la variación inducida en el tráfico por carreteras y otros modos de transporte

5.3. **FASE DE MANTENIMIENTO**

- a) Se adopta un factor aplicable a la emisión estimada para la etapa constructiva.

6. EMISIONES DURANTE LA FASE DE CONSTRUCCIÓN

Atendiendo a todos los factores que pueden intervenir en el cambio climático, se deben considerar:

- Emisiones directas inducidas por la construcción de la infraestructura
- Emisiones indirectas asociadas a las obras
- Emisiones restadas por la destrucción de sumideros vegetales.

6.1. EMISIONES DIRECTAS

Son aquellas asociadas a la actividad constructiva y el consecuente consumo de energía y combustible necesario para maquinaria, instalaciones, materiales....

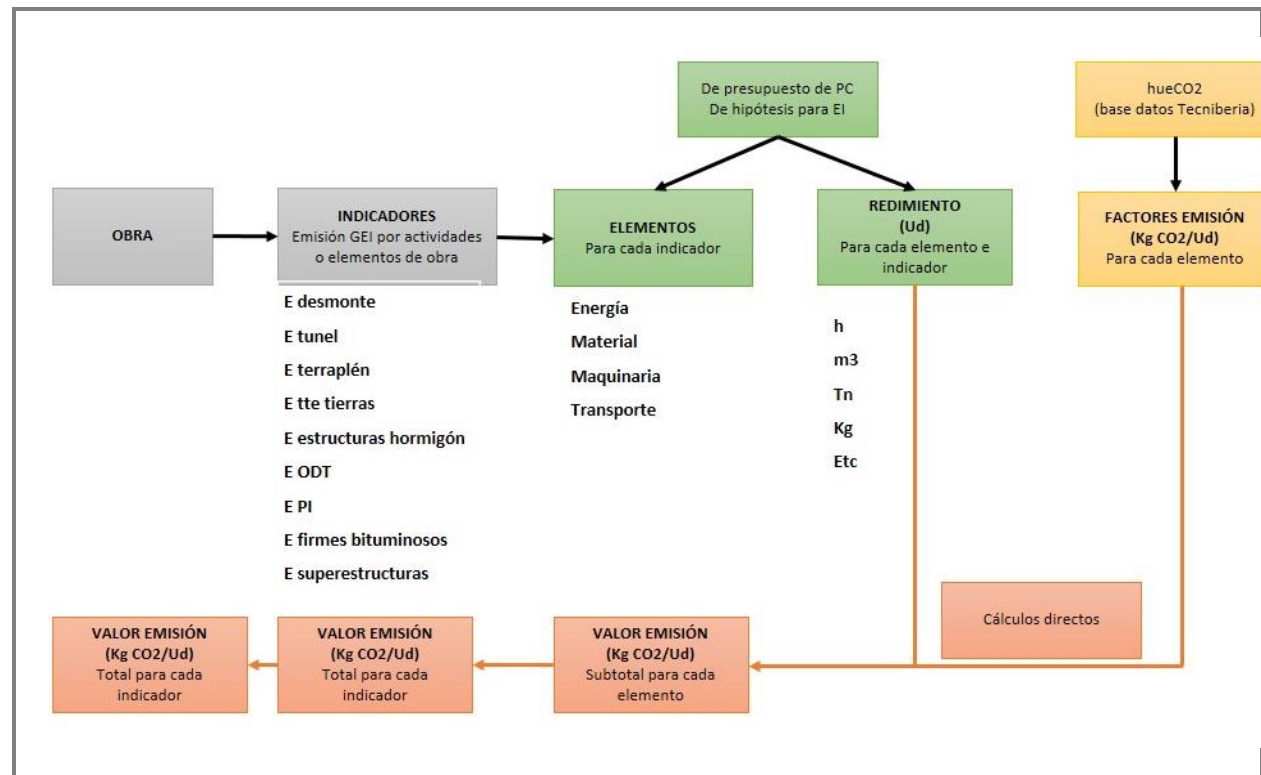


Figura 1.- Esquema metodológico. Elaboración propia

6.1.1. INDICADORES

Según la publicación "Consideración del cambio climático en la evaluación de impacto ambiental de infraestructuras lineales de transporte" (A. Enríquez de Salamanca), los indicadores para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero son los siguientes:

Ud.	INDICADOR	DEFINICION	UD
m ³	E desmonte	Emisión de GEI en excavación de desmontes	kg CO ₂ /m ³
m ³	E túnel	Emisión de GEI en excavación de túneles	kg CO ₂ /m ³
m ³	E terraplén	Emisión de GEI en formación de terraplenes o aportes	kg CO ₂ /m ³
m ³ - Km	E tte. tierras	Emisión de GEI en transporte de tierras	kg CO ₂ /m ³ /km

Ud.	INDICADOR	DEFINICION	UD
m ²	E estruct. Horm.	Emisión de GEI en estructuras de hormigón armado	kg CO ₂ /m ²
m	E ODT	Emisión de GEI en obras de drenaje transversal	kg CO ₂ /m
m	E PI	Emisión de GEI en pasos inferiores	kg CO ₂ /m
m	E superestruc.	Emisión de GEI en la superestructura (balasto+vías)	kg CO ₂ /m

Fuente: Consideración del cambio climático en la evaluación de impacto ambiental de infraestructuras lineales de transporte (A. Enríquez de Salamanca)

Tabla 1.- Indicadores para el cálculo de emisiones de GEI en construcción ferroviaria.

6.1.2. FACTORES DE EMISIÓN

En el caso del Estudio Informativo, al no contar con desglose detallado del presupuesto que permita asignar con precisión los rendimientos para cada elemento que compone cada unidad de precio o actividad de obra, se aplica el cálculo sobre los indicadores seleccionados, en los que, por extrapolación de datos y en base a valores adoptados en estudios específicos, se consideran para cada indicador unos elementos de maquinaria y materiales estándar, y se otorga a cada uno el factor de emisión.

Se aplican los valores de emisión de hueCO₂ (Tecniberia 2015), obteniéndose un factor de emisión para cada indicador. Este listado diferencia los factores de emisión conforme a las siguientes categorías: energía, maquinaria, materiales y transporte.

En concreto, la siguiente tabla presenta los factores de emisión para los indicadores adoptados bajo un supuesto-tipo de uso de maquinaria, energía, etc.

Ud	COD.	INDICADOR		RENDIMIENTO		FACTOR EMISIÓN		EMISIÓN		
		DEFINICION	MT, MQ, MO, E	VALOR	Ud	VALOR	Ud	SUBTOTAL	TOTAL	UD
m ³	E desmante	Emisión de GEI en excavación de desmontes	Excavadora cadenas 45 t	0,0043	h	74,13	kg CO2/h	0,32	1,51	kg CO2/m ³
			Tractor cadenas 138 kW	0,0014	h	64,49	kg CO2/h	0,09		
			Camión 258 kW 0,0150 h	0,0150	h	73,64	kg CO2/h	1,10		
m ³	E tunel	Emisión de GEI en excavación de túneles	Retrocargadora 60 kW	0,0830	h	24,71	kg CO2/h	2,05	32,09	kg CO2/m ³
			Retroexcavadora 7 t	0,0730	h	24,59	kg CO2/h	1,80		
			Camión 258 kW	0,1370	h	73,64	kg CO2/h	10,09		
			Maquinaria auxiliar túneles	0,1500	h	40,00	kg CO2/h	6,00		
			Grupo electrógeno 500 KVA	0,15	h	81,05	kg CO2/h	12,16		
m ³	E terraplen	Emisión de GEI en formación de terraplenes o aportes	Tractor cadenas 138 kW	0,0027	h	64,49	kg CO2/h	0,17	0,56	kg CO2/m ³
			Motoniveladora 104 kW	0,0027	h	29,53	kg CO2/h	0,08		
			Compactador 16 t	0,0054	h	33,49	kg CO2/h	0,18		
			Camión cisterna 8000 l	0,0009	h	46,77	kg CO2/h	0,04		
			Agua 0,2500 m ³	0,25	m3	0,32	kg CO2/m3	0,08		
m ³ x Km	E te tierras	Emisión de GEI en transporte de tierras	Camión 400 HP, 32 t	0,0021	h	88,21	kg CO2/h	0,19	0,19	kg CO2/m ³ /km
m ²	E estruct. horm	Emisión de GEI en estructuras de hormigón armado	Hormigón armado HA-80	2,5000	m3	400,0	kgCO2/m3	1.000,00	1.513,48	kg CO2/m ²
			Equipo vibrado hormigón	0,8075	h	15,16	kg CO2/h	12,24		
			Grupo electrógeno 4,9 kW	0,8075	h	18,04	kg CO2/h	14,57		
			Bomba hormigón 60 m ³ /h	0,2700	h	53,40	kg CO2/h	14,42		
			Camión 199 kW	0,2500	h	29,03	kg CO2/h	7,26		
			Acero barras	0,2500	t	1860,	kg CO2/t	465,00		
m	E ODT	Emisión de GEI en obras de drenaje transversal	Grúa 30 t	0,1880	h	53,40	kg CO2/h	10,04	731,78	kg CO2/m
			Tubo hormigón 1800 mm	1,0000	m	664,9	kg CO2/m	664,90		
			Hormigón HNE-20	0,2060	m3	235,0	kg CO2/m3	48,41		
			Grupo electrógeno 4,9 kW	0,3750	h	18,04	kg CO2/h	6,77		
			Vibrador hormigón	0,3750	h	4,45	kg CO2/h	1,67		
m	E PI	Emisión de GEI en pasos inferiores	Grúa 300 t	0,8000	h	120,1	kg CO2/h	96,08	2.352,87	kg CO2/m
			Marco c 1,0000 m	1,0000	m	2125,	kg CO2/m	2.125,00		
			Hormigón HNE-20	0,5550	m3	235,0	kg CO2/m3	130,43		
			Áridos	0,3700	t	3,70	kg CO2/t	1,37		
m	E superestructuras	Emisión de GEI en la superestructura (balasto+vías)	Pala cargadora 275 kW	0,0750	h	59,34	kg CO2/h	4,45	482,17	kg CO2/m
			Camión 274 kW	0,4267	h	73,64	kg CO2/h	31,42		
			Extendedora áridos	0,0375	h	49,42	kg CO2/h	1,85		
			Grúa 12 t	0,5367	h	45,73	kg CO2/h	24,54		
			Estabilizadora	0,0200	h	159,3	kg CO2/h	3,19		
			Maquinaria montaje vía	0,6800	h	150,0	kg CO2/h	102,00		
			Carril	111,24	kg	2,34	kg CO2/kg	260,30		
			Travesía hormigón	0,2230	m3	244,0	kg CO2/m3	54,41		

Fuentes: Varias

Tabla 2.- Factores de emisión para indicadores de la emisión de GEI en la fase de construcción.

6.1.3. EMISIÓN DIRECTA FASE DE CONSTRUCCIÓN

A partir de los datos anteriores se calcula, en base a las estimaciones de los rendimientos para las unidades de cada indicador multiplicados por factores de emisión, la emisión parcial para cada indicador, así como, por suma de todos ellos, la emisión total directa de la obra en t CO₂. Se ha utilizado para los cálculos una sola alternativa "tipo" formada por la secuencia de las siguientes alternativas: 1-S-1, 2-S-2, 3-S-1 más una media de las alternativas del tramo 4. Esto arroja los siguientes resultados para el nuevo trazado de la línea:

INDICADOR			EMISIÓN INDICADORES		VALORES PROYECTO			EMISIÓN OBRA (t CO2)
Ud	COD.	DEFINICIÓN	TOTAL	UD	DATO	VALOR	Ud	
m ³	E desmonte	Emisión de GEI en excavación de desmontes	1,51	kg CO2/m ³	Volumen de excavación de desmontes	10.720.349	m ³	16.226,80
m ³	E tunel	Emisión de GEI en excavación de túneles	32,09	kg CO2/m ³	Volumen de en excavación de túneles	0	m ³	-
m ³	E terraplen	Emisión de GEI en formación de terraplenes o aportes	0,56	kg CO2/m ³	Volumen formación de terraplenes o aportes	11.084.888	m ³	6.171,99
m ³ Km	E tte tierras	Emisión de GEI en transporte de tierras	0,19	kg CO2/m ³ /km	Volumen total de tierras procedente de préstamo	3.874.467	m ³	3.546,86
					Distancia media a préstamos	3	Km	
					Volumen total transporte de tierras a vertedero	3.647.675	m ³	
					Distancia media a vertederos	3	Km	
m ²	E estruct. horm	Emisión de GEI en estructuras de hormigón armado	1.513,48	kg CO2/m ²	Longitud total estructuras	11.253	m	255.457,27
					Ancho medio estructura	15	m	
m	E ODT	Emisión de GEI en obras de drenaje transversal	731,78	kg CO2/m	Longitud total de las obras de drenaje transversal	3.989	m	2.918,72
					Nº ODT	100	nº	
					Longitud tipo de drenaje	40	m	
m	E PI	Emisión de GEI en pasos inferiores	2.352,87	kg CO2/m	Longitud total de los PI	1.360	m	3.198,73
					Nº PI	37	nº	
					Longitud tipo de PI	37	m	
m	E superestructuras	Emisión de GEI en la superestructura (balasto+vías)	482,17	kg CO2/m	Longitud total de vías	125.048	m	60.294,01
					Nº vías en la sección	2	nº	
					Longitud de vía en la sección	125.048	m	
EMISIÓN TOTAL DIRECTA POR ACTIVIDAD DE OBRA (t CO2)								347.814,37

6.2. EMISIONES INDIRECTAS

Son las inducidas por las obras, pero no de un modo directo debido a las actividades propias de la misma, sino por alguna de estas actividades:

- Fabricación de materiales.
- Uso de canteras, préstamos y vertederos.
- Transporte de materiales.
- Desplazamientos de los trabajadores.
- Uso de electricidad.

No se consideran en el presente estudio que se acota a la actividad propia de obra.

6.3. DESTRUCCIÓN DE SUMIDROS DE CARBONO (VEGETACIÓN AFECTADA)

6.3.1. Pérdida de stock de carbono

Este concepto atiende a dos efectos derivados de la destrucción de la vegetación por ocupación de la obra, ya sea por ocupación permanente o temporal:

- Eliminación del stock de carbono acumulado en la cubierta vegetal deforestada.
- La liberación progresiva de CO₂ derivada de los procesos de destrucción de los residuos vegetales que es, a su vez, función del tipo de vegetación, tomando un periodo de referencia de 20 años (año horizonte habitualmente tomado para el cual se diseña la infraestructura en el caso de carreteras).

El cálculo se realiza en base a los siguientes factores:

- Superficie afectada de cada tipo de vegetación, S (Ha)
- Stock carbono de cada tipo de vegetación, Stock C (t C/Ha)
- Un factor de equivalencia entre unidades, f = 3.67 t CO₂/ t C

De modo que:

$$\text{Emisión de CO}_2 \text{ equivalente al stock (t CO}_2\text{)} = S \text{ (Ha)} \times \text{Stock C (t C/Ha)} \times 3.67 \text{ (t CO}_2\text{/ t C)}$$

6.3.2. Pérdida de secuestro

Se refiere a la capacidad de la vegetación de absorber el CO₂ y reducir así su concentración atmosférica, en relación con la eliminación de parte de la cubierta vegetal de una zona. Se toma como referencia el periodo temporal citado de 20 años.

El cálculo se realiza en base a los siguientes factores:

- Superficie afectada de cada tipo de vegetación, S (Ha)
- Secuestro de carbono, Secuestro C (t C/Ha/año)
- T = Tiempo de estudio (años). Al menos 20 años
- Un factor de equivalencia entre unidades, f = 3.67 t CO₂/ t C

De modo que:

$$\text{Emisión de CO}_2 \text{ equivalente al secuestro (t CO}_2\text{)} = S \text{ (Ha)} \times \text{Secuestro C (t C/Ha/año)} \times 3.67 \text{ (t CO}_2\text{/ t C)}$$

6.3.3. Sumideros de carbono por la revegetación

Para un cálculo más preciso debería tenerse también en cuenta la contribución positiva que la revegetación de taludes, superficies de obra, etc. en cuanto a la capacidad de absorción de CO₂ de estas especies vegetales. No obstante, en este caso se obvia este aspecto del cálculo realizado.

6.3.4. Pérdida global por destrucción de sumideros

Se calcula por la mera suma aritmética de ambos factores de pérdida y, en su caso, considerando la ganancia de superficie vegetal por las tareas de revegetación de zonas a restaurar:

$$\text{Emisión de CO}_2 \text{ (t CO}_2\text{)} = \text{Emisión de CO}_2 \text{ equivalente al stock} + \text{Emisión de CO}_2 \text{ equivalente al secuestro} - \text{Capacidad de absorción de CO}_2 \text{ de la superficie restaurada}$$

Para estimar estos factores se pueden tomar distintas fuentes bibliográficas; en este caso, en la tabla siguiente se obtienen datos del "Inventario de sumideros de carbono de Extremadura" (Consejería de Industria, Energía y Medio Ambiente. Junta de Extremadura. 2010). En concreto, este estudio aporta los datos de CO₂ acumulado (toneladas) por la vegetación forestal extremeña y española en 30 años según la imagen objetivo del Plan Forestal de Extremadura; se extraen datos para toda España.

Subformación	Agrupación	Tipo	Superficie ha	Carbono fijado t CO ₂
1.1.	Bosques densos	Coníferas	24.572	666.156
		Fronosas	5.319	248.444
		Fronosas	34.286	796.808
		Mixtas	48	1.287
1.1.	Bosques medios	Coníferas	710	15.834
		Fronosas	661	7.052
		Fronosas	137.086	793.725
		Mixtas	206	3.101
1.3.	Bosques claros	Todas	25.480	142.180
1.4.	Replantaciones	Todas	859.224	8.007.971
1.5.	Cultivos forestales	Exóticas	17	221
		Exóticas	769	25.468
2.1	Matorrales	Todas	68.426	307.915
3.1.	Dehesas densas	Todas	1.325.289	6.931.261
3.2.	Dehesas normales	Todas	101.481	372.437
4.1.	Arbolados c/ matorral	Todas	19.526	37.294
4.2.	Arbolados s/ matorral	Todas	15.840	15.999
4.3.	Desarbolados c/ matorral	Todas	97.262	120.605
4.4.	Desarbolados s/ matorral	Todas	226.746	77.094
5.1.	Arbóreas Fronosas 48287	Fronosas	48.287	866.420
		Exóticas	0	0
5.2.	Arbustivas	Todas	8.176	73.584
TOTAL DE LA SUPERFICIE FORESTAL EN 30 AÑOS			2.999.411	19.510.856

Fuente: Inventario de sumideros de carbono de Extremadura. Consejería de Industria, Energía y Medio Ambiente. Junta de Extremadura. 2010. Se extraen datos para toda España (no Extremadura)

Tabla 4.- Cantidad de CO₂ acumulado (toneladas) por la vegetación forestal española en 30 años según la imagen objetivo del Plan Forestal de Extremadura.

A partir de esta tabla se pueden extraer los factores de carbono fijado para cada tipo de formación, los que, multiplicados por la superficie afectada por el proyecto, permiten calcular el CO₂ equivalente para el proyecto, de stock y de secuestro.

A continuación se incluye la tabla correspondiente al trazado tipo seleccionado:

Subformación	Agrupación	Tipo	Carbono fijado (30 años)	Carbono fijado anual	SUPERFICIE AFECTADA (Ha)	t CO ₂ equivalente	
			t CO ₂ /Ha	t CO ₂ /Ha/año		Stock	Secuestro
1.1.	Bosques densos	Coníferas-Pinares	27,11	0,90	13,31	1.323,78	44,13
		Fronosas	46,71	1,56	13,00	2.228,48	74,28
		Fronosas-Riberas	23,24	0,77	0,65	55,44	1,85
		Mixtas	26,81	0,89	-	-	-
1.1.	Bosques medios	Coníferas	22,30	0,74	-	-	-
		Fronosas-Encinares	10,67	0,36	-	-	-
		Fronosas	5,79	0,19	-	-	-
		Mixtas-Coníferas-veg autoc	15,05	0,50	-	-	-
		Todas	5,58	0,19	-	-	-
1.3.	Bosques claros	Todas	9,32	0,31	-	-	
1.4.	Replantaciones	Todas	13,00	0,43	-	-	
1.5.	Cultivos forestales	Exóticas	33,12	1,10	-	-	-
		Todas	4,50	0,15	46,38	765,88	25,53
3.1.	Dehesas densas	Todas	5,23	0,17	-	-	
3.2.	Dehesas normales	Todas	3,67	0,12	-	-	
4.1.	Arbolados c/ matorral	Todas	1,91	0,06	-	-	
4.2.	Arbolados s/ matorral	Todas	1,01	0,03	-	-	
4.3.	Desarbolados c/ matorral	Todas	1,24	0,04	5,65	25,71	0,86
4.4.	Desarbolados s/ matorral	Todas-agrícola	0,34	0,01	1.261,90	1.574,61	52,49
5.1.	Arbóreas Fronosas 48287	Fronosas	17,94	0,60	-	-	-
		Exóticas	-	-	-	-	-
5.2.	Arbustivas	Todas	9,00	0,30	-	-	-
TOTAL DE LA SUPERFICIE FORESTAL EN 30 AÑOS						5.974	199
EMISIÓN POR PÉRDIDA DE SUMIDEROS -AFECCIÓN A VEGETACIÓN- (t CO₂)						6.173	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.- Cantidad de CO₂ acumulado (toneladas) según el tipo de vegetación atravesado.

6.4. EMISIONES GLOBALES EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN

Según los factores anteriormente expuestos y calculados, la emisión global de CO₂ durante la fase de obras se corresponderá con el resultado de la siguiente adición:

$$\text{Emisión de CO}_2 \text{ de obra (t CO}_2\text{)} = \text{Emisiones directas} + \text{Emisiones indirectas} + \text{Emisiones por pérdida de sumideros (stock + secuestro)} - \text{Capacidad de absorción de CO}_2 \text{ de la superficie restaurada}$$

El total de emisiones de CO₂ se refleja en la siguiente tabla:

	TRAZADO FFCC
EMISIÓN TOTAL DIRECTA POR ACTIVIDAD DE OBRA (t CO ₂)	347.814,37
EMISIÓN POR PÉRDIDA DE SUMIDEROS -AFECCIÓN A VEGETACIÓN- (t CO ₂)	6.173,02
EMISIÓN TOTAL EN FASE DE OBRA (t CO₂)	353.987,39

7. EMISIONES DURANTE LA FASE DE EXPLOTACIÓN POR LA OPERACIÓN FERROVIARIA

7.1. PREVISIONES DE TRÁFICO

El Corredor Cantábrico-Mediterráneo es una línea de alta velocidad apta para tráfico mixto de viajeros y mercancías que permite enlazar la fachada atlántica con la costa mediterránea, facilitando así la conexión entre estas dos importantes áreas geográficas sin pasar por el centro de la Península. La actuación tiene un potencial indudable para el tráfico de mercancías pues permitirá canalizar las exportaciones hacia Europa de las comunidades mediterráneas.

La línea objeto del presente Estudio Informativo se diseña con características de doble vía con traviesa polivalente y para tráfico mixto y los parámetros de trazado que se han adoptado han sido los siguientes:

- Velocidad máxima de circulación (viajeros): 250 km/h.
- Velocidad mínima de circulación (mercancías): 135 km/h.

El tráfico previsto para la futura explotación de esta línea es el siguiente:

Servicios en Tramos 1, 2, 3 y 4											
Clase de tren						Nº de circulaciones diarias			Nº de paradas		
Operación	Tipo	Composición	Nº ejes/coche	Categoría acústica	Vel máx (Km/h)	Día	Tarde	Noche	Día	Tarde	Noche
Mercancías	Locomotora eléctrica 253	M-16R	M 4	ES/M-253	100	0	1	2	0	0	0
			R 4	ES/M-vagon_RC							
AV	ES/S-112_L	M-R1-11R2-M	M	ES/S-112_L	300	17	7	0	0	0	0
			R ₁								
			R ₂								

7.2. FACTORES DE EMISIÓN

Se extraen estos datos de la "Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero". Oficina Catalana del Canvi Climàtic. 2013. Debe destacarse que las emisiones asociadas al transporte en modo ferroviario son emisiones cubiertas por la Directiva de comercio de derechos de emisión cuando son trenes que funcionan con energía eléctrica.

CIRCULACIÓN	TIPO TREN	EMISIONES	UD
PASAJEROS	RENFE AVE	28,8	g/CO ₂ /pasajero x km
	RENFE AVANT	31,5	
	RENFE LARGA DISTANCIA	30,6	
	RENFE MEDIA DISTANCIA (REGIONALES)	30	
	RENFE CERCANÍAS	42	
	FGC	32,7	
	TRANVÍA	73,8	
MERCANCÍAS	DIÉSEL RENFE	40,85	g/CO ₂ /tn carga x km
	DIÉSEL FGC	42,48	
	ELÉCTRICO RENFE	21	

Fuente de datos para circulación de pasajeros: RENFE, FGC y tranvía: Elaboración propia a partir de datos del Departamento de Territorio y Sostenibilidad; Metro: Elaboración propia a partir de datos de 2011 de Transportes metropolitanos de Barcelona (incluye la línea 9 de metro). Todos los factores de emisión incluyen el consumo eléctrico debido a tracción y el de las estaciones. Se ha utilizado el mix eléctrico peninsular de 2012.

Fuente de datos para la circulación de mercancías: a partir de datos del Departamento de Territorio y Sostenibilidad. Para el modo ferroviario eléctrico se ha utilizado el mix eléctrico peninsular de 2012.

Según los datos anteriores, la emisión de CO₂ durante la explotación de la línea sería la reflejada en la siguiente tabla:

CIRCULACIÓN	TIPO TREN	FACTOR DE EMISIÓN		TRÁFICO LÍNEA				EMISIÓN tCO ₂ /año
		EMISIÓN gCO ₂ /pasajero x km	EMISIÓN gCO ₂ /tn carga x km	Nº TRENES/día	Nº pasaje /tren	Tn carga/tren	Longitud tramo (km)	
PASAJEROS	RENFE AVE	31,28					167,6	-
	RENFE AVANT	37,25					167,6	-
	RENFE LARGA DISTANCIA	32,77		24	300		167,6	14.433,64
	RENFE MEDIA DISTANCIA (REGIONALES)	34,66		0	500		167,6	-
	RENFE CERCANÍAS	46,88					167,6	-
	FGC	35,77					167,6	-
	TRANVÍA	80,12					167,6	-
MERCANCÍAS	METRO	50,13					167,6	-
	DIÉSEL RENFE		44,64	3		500	167,6	4.096,21
	DIÉSEL FGC		41,8				167,6	-
	ELÉCTRICO RENFE		21,11				167,6	-
EMISIÓN TOTAL ANUAL gCO ₂ /año								18.529,85
PERIODO DE CÁLCULO (años)								20
EMISIÓN TOTAL EN EL PERIODO gCO ₂								370.596,99

Hay que señalar que dado que los tipos de trenes, número de pasajeros y carga de mercancías son los mismos para todas las alternativas estudiadas, la cifra del total de emisión de CO₂ será idéntica y constante para todas ellas por lo que no discriminará a favor ni en contra para la comparación y valoración de alternativas.

8. EMISIONES DURANTE LA FASE DE EXPLOTACIÓN POR TAREAS DE MANTENIMIENTO

Se estima la emisión anual en base a un factor aplicado sobre la emisión estimada para la fase de construcción. En la siguiente tabla se calculan estas emisiones:

	Emisiones FASE CONSTRUCCIÓN	nº años	FACTOR	Emisiones totales FASE MANTENIMIENTO
	tCO ₂	20	0,0021	tCO ₂
TRAZADO FFCC	353.987,39	20	0,0021	14.867,47

9. EMISIONES GLOBALES DURANTE LA VIDA ÚTIL

La contribución global de la infraestructura a las emisiones de CO₂ sería, por lo tanto, la que resulta de la suma de todas las anteriores:

$$\text{Emisiones de CO}_2 \text{ anuales (t CO}_2\text{)} = \text{Emisiones CO}_2 \text{ obra} + \text{Emisiones CO}_2 \text{ explotación 20 años} + \text{Emisiones CO}_2 \text{ mantenimiento 20 años}$$

La tabla resumen de emisiones se muestra a continuación:

	TRAZADO FFCC
EMISIONES FASE CONSTRUCCIÓN	353.987,39
EMISIONES FASE DE OPERACIÓN	97.827,30
EMISIONES POR MANTENIMIENTO	14.867,47
EMISIÓN TOTAL VIDA UTIL DE LA LÍNEA (tCO₂)	466.682,16

10. VALORACIÓN DE IMPACTOS

Tanto de la legislación como de los documentos de referencia se derivan dos líneas de análisis del cambio climático en relación a la evaluación ambiental de proyectos:

- 1.- Efectos del proyecto en el cambio climático. Serían los asociados a las emisiones de CO₂ hasta ahora analizados en este los apartados precedentes.
- 2.- Efectos del cambio climático en el proyecto, centrados en la fase operativa de la infraestructura. Estos últimos derivan en una serie de consecuencias que están en estrecha relación con los riesgos que pueden darse y repercutir en el proyecto, siendo este un análisis realizado específicamente de modo independiente al estudio del cambio climático. Estos son los siguientes (se anota en cada caso las medidas genéricas a tener en consideración para minimizarlos o evitarlos):
 - Riesgos de inundación: cálculos de dimensionamiento de obras de drenaje y viaductos considerando caudales de máximas avenidas (100/500 años).
 - Riesgos de deslizamientos/movimientos de tierra: estudios geológico/geotécnicos, saneamientos de materiales de base inadecuados, pendientes conservadoras, análisis del riesgo sísmico, etc.

- Erosión en puentes: La erosión o socavamiento de cimientos en puentes es uno de los impactos más importantes sobre las infraestructuras lineales de transporte en términos económicos asociados al cambio climático. Una mayor irregularidad y agresividad en las precipitaciones, con lluvias intensas en periodos cortos de tiempo, llevan a una mayor torrencialidad en los cauces, aumentando su capacidad de arrastre y erosión en el lecho, y en cimentaciones de puentes.
- Efectos en las plantaciones: subida de temperaturas, irregularidad en las precipitaciones... propuesta de especies adaptables, con flexibilidad a estos cambios.
- Efectos en el pavimento por el aumento de temperaturas: envejecimiento, reblandecimiento... En invierno un aumento de temperaturas reduciría las tareas de vialidad invernal.
- Pandeo de raíles: Los raíles ferroviarios, contruidos de acero, son sensibles a la temperatura ambiente, estando sujetos a fuerzas de contracción bajo temperaturas frías y de dilatación bajo temperaturas elevadas. Un excesivo calentamiento de los raíles puede dar lugar a una dilatación que, al ser un raíl continuo, produce una deformación o pandeo.
- Pandeo de la catenaria: Al ser una línea aérea suspendida pueden variar las flechas en función de la temperatura.
- El aumento de temperaturas también afecta a la expansión de las juntas en los firmes de hormigón y de las juntas de dilatación en puentes.
- Afección al confort térmico: El incremento de las temperaturas afecta al confort térmico de los viajeros, siendo necesario el uso de aire acondicionado. Cuando se dispone de él, la pérdida de confort se soluciona con un uso más frecuente o intenso del aire acondicionado, pero esto a su vez implica unos mayores consumos energéticos, de electricidad o de carburante
- Incrementos en temporales de viento afectan a los puentes, especialmente a los atirantados.
- El aumento de precipitación afecta a la plataforma (balasto, subalasto y explanada), el aumento de temperatura puede afectar a los raíles, las instalaciones de seguridad y de señalización; el aumento de la velocidad del viento puede condicionar la velocidad de circulación puntualmente.
- El incremento de temperaturas, insolación y del número de olas de calor hará más sensible al medio al riesgo de incendios; además puede afectar a la durabilidad de algunos elementos de señalización

por efecto de los rayos ultravioletas, puede acelerar el envejecimiento de las marcas viales, o provocar roturas en los elementos de unión de tramos largos de barreras de seguridad metálicas.

- Recalentamiento de equipos y motores: parece que mayores temperaturas podrían incrementar los problemas de funcionamiento de grandes motores o equipos, obligando a su parada. En líneas ferroviarias puede afectar especialmente a los transformadores.
- Impactos asociados a las tormentas: Un problema asociado a las tormentas, aparte de las precipitaciones, es el aparato eléctrico, que puede originar sobretensiones en las líneas eléctricas de suministro, las subestaciones de tracción, la catenaria o los vehículos tractores, y que pueden dar lugar a daños en el equipamiento eléctrico.

11. MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTORAS

Se extraen a continuación unos ejemplos de alternativas y medidas correctoras relacionadas con la reducción de los efectos del cambio climático (*European Commission, 2013*):

Principales cuestiones relacionadas con:	Ejemplos de alternativas y medidas correctoras
Emisiones directas de gases con efecto invernadero	<ul style="list-style-type: none"> - Considerar diferentes tecnologías, materiales, formas de suministro, etc. Para evitar o reducir las emisiones. - Proteger los sumideros naturales de carbono que puedan peligrar por el proyecto, como turberas, zonas arboladas, humedales y bosques. - Planificar posibles medidas compensatorias de carbono (mercados de carbono), disponibles a través de sistemas de compensación existentes, o incorporadas al proyecto (por ejemplo, plantando árboles).
Emisiones de gases invernadero relacionadas con la energía	<ul style="list-style-type: none"> - Uso de materiales de construcción reciclados, recuperados y bajos en carbono. - Incluir en el diseño del proyecto medidas de eficiencia energética (p.e., incluir aislamiento térmico en edificación, ventanas orientadas al sur para captar energía solar, ventilación pasiva y bombillas de bajo consumo) - Uso de maquinaria energéticamente eficiente (1) - Uso de fuentes de energía renovables
Emisiones de gases invernadero relacionadas con el transporte	<ul style="list-style-type: none"> - Elección de la ubicación conectada al sistema de transporte público o hacer los preparativos para el desarrollo del transporte. - Proveer una infraestructura de bajas emisiones para el transporte (p.e., estaciones de recarga eléctrica de vehículos, instalaciones para bicicletas).

Otras prácticas, técnicas y materiales de construcción y mantenimiento de bajo consumo energético (*CEDEX 2012*) que se pueden implementar son:

1. Uso de vehículos y maquinaria moderna y más eficientes en consumo de combustible (híbridos o combustibles alternativos)
2. Vehículos y maquinaria con sistemas que minimicen los tiempos de funcionamiento en régimen de ralentí.
3. Buenas prácticas ambientales:
 - Mantenimiento de vehículos y maquinaria para mantener esa eficiencia
 - Conducción eficiente de vehículos
 - Uso de generadores eléctricos o solares en lugar de fuel
 - Control de humedad en los áridos para producción de mezcla asfáltica
 - Proximidad de suministro de materiales
 - Reciclado de materiales
 - Fabricación in situ (hormigón, mezcla asfáltica)
4. En ferrocarriles es positivo si:
 - Permite la circulación de mercancías de 750 m
 - Red mixta mercancías y pasajeros
 - Incluye nodos de intercambio, accesos ferroviarios, ramales específicos para mercancías en las redes arteriales ferroviarias de áreas metropolitanas.
 - Sistemas de devolución de energía a la red mediante frenos regenerativos y subestaciones bidireccionales.