

Análisis del Impacto Ambiental (CO₂) de la implantación de un metro ligero

Environmental Impact Analysis (CO₂) of the implementation of a light rail

Maeso González E¹, González Sánchez G, Alonso Hazaña I

Abstract (English) The current concern about the environment is leading to promote other transportation modes more efficient like an alternative to private vehicles. This article focuses on light rail and proposes a model for estimate CO₂ emissions both phases construction and operation and reaches the payback period of these emissions.

Resumen (Castellano) La actual preocupación por el medio ambiente está llevando a potenciar otros modos de transporte más eficientes alternativos al vehículo privado. Este artículo se centra en el metro ligero y propone un modelo para la estimación de las emisiones de CO₂ tanto en la fase de construcción como de explotación, obteniendo el periodo de recuperación de dichas emisiones.

Keywords: Light rail, CO₂ emissions

Palabras clave: Metro ligero, emisiones de CO₂

1.1 Introducción

El sector del transporte en España se ha convertido en el principal responsable del aumento del grado de dependencia energética y de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Representa más del 40% de la emisiones de CO₂, de éstas el 65% se deben al transporte por carretera, siendo más la mitad causadas por el vehículo privado (Fundación Cetmo, 2010). Surge la necesidad de reducir el transporte privado fomentando un transporte colectivo más eficiente, el cual revela

¹Elvira Maeso González (✉)

Cátedra de Gestión del Transporte de la Universidad de Málaga. Escuela de Ingenierías. C/
Doctor Ortiz Ramos s/n 29071, Málaga, España. Tfno: +34 951927293
e-mail: emaes@uma.es

una eficiencia energética superior: Coche 2,58 MJ/viajero-Km., frente a Bus 1,3 MJ/viajero-Km. o Metro Ligerio 0.68 MJ/viajero-Km. (Colomer e Insa, 2006).

En este marco el metro ligero aparece como una solución óptima en el transporte de pasajeros, contribuyendo a reducir el tráfico en las calles más congestionadas, las emisiones directas a la atmósfera y el ruido en las calles².

1.2 Objetivos

Analizar el impacto ambiental, en concreto las emisiones de CO₂, derivadas de la implantación de un sistema de metro ligero.

Detectar las fases más contaminantes en el proceso de construcción del Metro Ligerio de Málaga.

Obtener un periodo de recuperación aproximado de las emisiones de CO₂.

1.3 Características del Metro Ligerio y elementos de su infraestructura

El metro ligero puede definirse como un sistema de transporte ferroviario situado, por sus características, entre el metro convencional y el tranvía, y que lo hacen óptimo para el transporte urbano de pasajeros en ciudades de densidad demográfica media-alta. Sus principales características son: grado de segregación de la plataforma muy alto o total, puede circular por superficie o bajo tierra, goza siempre de prioridad semafórica, velocidades comerciales entre 20-30 km/h y permite la implantación de sistemas de seguridad y guiado ATP.

Los elementos que componen su infraestructura para tramos en túnel son: pantallas, dintel, contrabóveda, canaleta central y pasillos laterales de seguridad. Y comunes para tramos en túnel y superficie:

- Plataforma. Contiene el sistema de guiado, por lo que debe poseer propiedades elevadas de rigidez y resistencia. Puede adoptar diferentes acabados superficiales según sea en superficie o bajo túnel.
- Vía. Es el elemento de guiado, generalmente con ancho de vía internacional (1,435 m) y su tipología puede ser Vignole uic (sobre bloque de hormigón) o Phoenix (para vía en placa), siendo esta última la más utilizada.

² Este artículo está basado en la aportación de CGTransporte “Innovación Tecnológica y Eficiencia Ambiental: Ruido, Contaminación, Energía” a la Guía metodológica para la integración metropolitana sostenible de los sistemas de metro ligero. INTEGRA-ME. Proyectos de Investigación de Excelencia. Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía y FEDER. PO9-RNM-5394. 2010-2014

- Sistema de captación de energía. Catenaria o alimentación por suelo (aps).
- Material móvil. Fabricado en aluminio y materiales sintéticos ligeros.
- Estaciones. Subterráneas, con anchura media de 16 a 18 m y dotadas de sistemas de accesibilidad.
- Paradas. En superficie, con una anchura de 12 a 14 m y acceso rápido.

1.4 Análisis del impacto ambiental (emisiones de CO₂) de la implantación del metro de Málaga

El metro de Málaga posee 11.641 m de longitud de vías, de las cuales 8.461 m son en túnel y 3.200 en superficie. Se compone de dos líneas con trazado en forma de Y. Tiene un tramo común de 1.100 m y 2 estaciones, a continuación de bifurcan ambas líneas, la 1 con 6.945 m, 5 estaciones y 5 paradas; y la 2 con 3.616 m y 6 estaciones.



Fig. 1.1 Trazado de las 2 líneas de Metro de Málaga

1.4.1 Emisiones de CO₂: fase de construcción

Los datos de partida son los rendimientos constructivos por superficie, tipo de maquinaria, consumo medio y fuentes de energía. Las fuentes consultadas son: la Oficina de información Metro de Málaga y las UTES Guadalmedina y Metro de Málaga, mediante anotaciones de campo en la obra.

Las emisiones de CO₂ en Kg. se calculan según la expresión:

$$Emisiones\ Totales\ CO_2 = N \times Cm \times Tm \times f \quad (1.1)$$

donde “N” es el número de unidades, “Cm” el consumo medio de combustible, “Tm” el tiempo medio de trabajo por unidad y “f” el factor de conversión de combustible utilizado, que es de 2,6 Kg. de CO₂/l, correspondiente a los Gasóleos A y B (IDAE, 2011), fuente de energía la maquinaria analizada en la obra.

El periodo constructivo se divide en 7 fases para tramos en túnel y 2 para superficie.

Para el tramo en túnel:

- Fase I: Pantallas. Excavación de la zanja, colocación de las armaduras y hormigonado de pantallas.

Tabla 1.1 Modelo utilizado para la estimación de emisiones de CO₂ (95 m² de pantalla)

Maquinaria	N	Cm (l/h)	Tm (h)	Consumo total (l)	f (Kg CO ₂ /l)	Emisiones CO ₂ (Kg.)
Grúas (pantalladora y auxiliar)	2	25	7	350	2,6	910
Camión 3 ejes	5	8	7	280	2,6	728
Camión Hormigonera	6	22	3	396	2,6	1.029,6
Gato Hidráulico-Compresor	1	2	4	8	2,6	20,8
Retroexcavadora Giratoria	1	10	12	120	2,6	312
Grupo electrógeno 200 Kva	2	15	10	300	2,6	780
Grupo electrógeno 100 Kva	1	9	10	90	2,6	234
Retroexcavadora Mixta	0	8	0	0	2,6	0
Equipo de Bombeo	0	0	0	0	2,6	0
Rodillo	0	5	5	0	2,6	0
Extendedora	0	5	5	0	2,6	0
Retroexcavadora Pala	0	8	5	0	2,6	0
Retroexcavadora Martillo	0	8	5	0	2,6	0
Camión Grúa	0	6,5	5	0	2,6	0
Total						4.014,4

Tabla 1.2 Extrapolación a la totalidad de la infraestructura de metro ligero (totalidad pantallas)

Tipo de tramo	Longitud (m)	Nº muros	Profundidad media (m)	Superficie pantallas (m ²)
Tramo común	1.100	2	24	52.800
Tramo exclusivo L1	3.745	2	16	119.840
Tramo exclusivo L2	3.616	2	16	115.712
Total				288.352

Extrapolando se obtienen las emisiones totales correspondientes a la Fase I, que alcanzan las 12.184 T de CO₂.

Del mismo modo se procede con el resto de las fases.

- Fase II: Demolición y excavación del firme. Operaciones previas a la implantación del dintel y descabezado de pantallas. Emisiones: 664 T CO₂.
- Fase III: Dinteles. Soldado del dintel a la pantalla y hormigonado del mismo. Emisiones: 909 T CO₂.
- Fase IV: Rellenos y firmes. Reurbanización de la calzada mediante materiales de relleno y restablecimiento de las aceras afectadas. Emisiones: 750 T CO₂.
- Fase V: Excavación túnel. Extracción de tierras bajo dintel. La maquinaria accede por rampas ubicadas cada cierta distancia. Emisiones: 4.740 T CO₂.
- Fase VI: Forjados intermedios. Se procede de forma análoga que con los dinteles pero bajo tierra. Emisiones: 862 T CO₂.
- Fase VII: Implantación de plataforma y vía. Hormigonado de base en la contra-bóveda salvo canaleta, colocación del mallazo de acero, colocación y nivelación de los carriles mediante pórticos. La vía se sitúa sobre el bloque de hormigón. Emisiones: 247 T CO₂.

Para el tramo en superficie:

- Fase I: Demolición del firme. Excavación previa para la colocación de la plataforma a nivel. Emisiones: 99 T CO₂.
- Fase II: Implantación de plataforma y vía. Hormigonado de limpieza en la base de la plataforma y vía en placa recubierta de elastómero. Emisiones: 84 T CO₂.

Por tanto, las emisiones totales en la etapa de construcción alcanzan 20.543 T de CO₂, siendo menores al 1% las correspondientes al tramo en superficie (25% de la longitud total del trazado).

Se realiza una clasificación de las fases en función de su influencia respecto al total de emisiones de CO₂. Se considera severa para más del 50%, alta entre 50% y 20%, media entre 20% y 10%, baja entre 10% y 3% y leve para menos del 3%.

Tabla 1.3 Clasificación de las fases de construcción en función del impacto (emisiones CO₂)

Fases de construcción	Grado de influencia (%)	Clasificación
Pantallas	59,9	Severa
Demolición/Excavación firme	3,7	Baja
Dinteles	4,5	Baja
Rellenos y Firmes	3,7	Baja
Excavación Túnel	20,8	Alta
Forjados intermedios Túnel	3,9	Baja
Plataforma/Vía Túnel	1,1	Leve
Demolición superficie	1,3	Leve
Plataforma/Vía superficie	1,1	Leve

1.4.2 Emisiones de CO₂: fase de explotación

Como datos de partida se toman la demanda prevista del metro, reducción de autobuses de la EMT, migración prevista del vehículo privado al metro, número de horas de funcionamiento y consumo del metro. Las fuentes consultadas son: la Oficina de información Metro de Málaga y CAF, fabricante del material móvil. Se analiza la diferencia entre lo ahorrado y lo emitido por el metro, según:

$$\text{Balance CO}_2 = A - ED - EI \quad (1.2)$$

donde “A” es el ahorro de emisiones de CO₂ por reducción de vehículos privados, taxis y autobuses, “ED” las emisiones directas iniciales de CO₂ y “EI” las emisiones de CO₂ derivadas del consumo eléctrico del metro ligero.

Además se estima el plazo de recuperación de las emisiones, “Payback” de emisiones de CO₂, a través de un análisis de sensibilidad sobre la reducción de turismos (por trasvase al metro), la distancia media de trayecto en Málaga con vehículo privado y la reducción del número de autobuses. Teniendo en cuenta que la concesión de la explotación del metro de Málaga es de 35 años, dicho plazo de recuperación se considera excelente para menos de 10 años, bueno para menos de 15, medio para menos de 20 y malo para más de 20. Nótese que se parte con un gasto inicial de 20.543 T de CO₂, por ello la curva arranca con este valor negativo.

En el análisis de sensibilidad sobre los usuarios procedentes del vehículo privado, se toma como base un 30% de captación (15.000 usuarios/día), obteniéndose un plazo de recuperación de emisiones de 7,5 años.

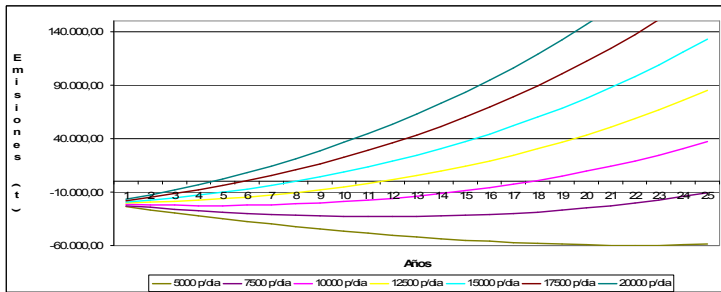


Fig. 1.2 Periodo de recuperación en función del n° de usuarios provenientes del turismo

Tabla 1.4 Bondad del pay-back en la captación de vehículos privados/taxis

Rango (usuarios/día)	Calificación
Más de 13.200	Excelente
10.800 – 13.200	Buena
10.800 – 9.000	Media
Menos de 9.000	Mala

En cuanto al análisis de sensibilidad sobre el trayecto medio de vehículo privado eliminado, se toma como base 7 Km. en la ciudad de Málaga (Maeso y González, 2008).

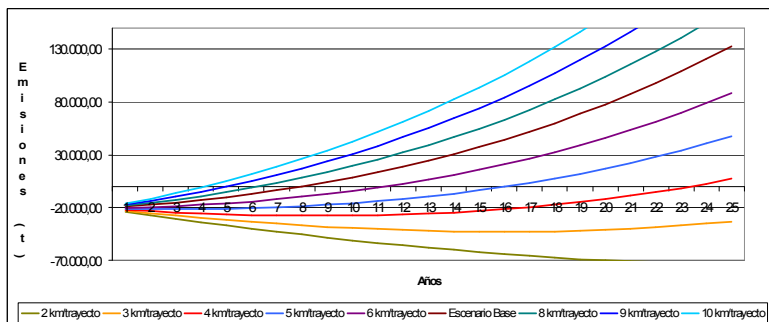


Fig. 1.3 Periodo de recuperación en función del trayecto medio en vehículo privado

Tabla 1.5 Bondad del pay-back según el trayecto medio en vehículo privado

Rango (distancia media trayecto Km./día)	Calificación
Más de 6,2	Excelente
5,1 – 6,2	Buena
4,3 – 5,1	Media
Menos de 4,3	Mala

Finalmente, en el análisis de sensibilidad sobre el número de autobuses urbanos retirados por trasvase de sus usuarios al metro se toma como situación base 30 autobuses (EMT, 2011).

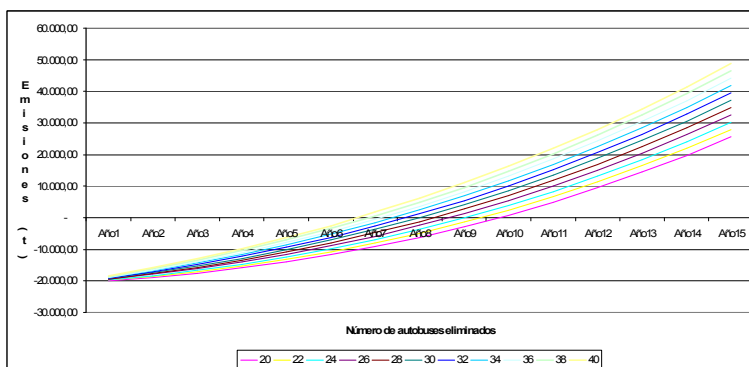


Fig. 1.4 Periodo de recuperación en función del número de autobuses retirados

Se observa una afección muy pequeña respecto a los casos anteriores.

1.5 Conclusiones

Del análisis realizado se desprende que las emisiones de CO₂ por metro lineal de infraestructura en tramo soterrado es del orden de 35 veces superior al tramo en superficie, siendo la fase de construcción de pantallas la responsable del 60% de las emisiones totales de CO₂. Por tanto, implantar el sistema de metro ligero en superficie siempre que las características de la vía lo permitan es una solución mucho más sostenible.

Los plazos de recuperación de CO₂ en la ciudad de Málaga son inferiores a los 20 años en más del 90% de los casos estudiados. Los parámetros que garantizan este payback son el número de usuarios y el trayecto medio trasvasado del vehículo privado al metro.

1.6 Agradecimientos

A D. Miguel Ángel García Cañizares de Ferrocarriles Andaluces, a la empresa Metro Málaga, a la Oficina de Coordinación de Infraestructuras Básicas del Ayuntamiento de Málaga y a la Empresa Malagueña de Transportes, por facilitar los datos necesarios para llevar a cabo este trabajo.

1.7 Referencias

- Colomer J V, Insa R (2006) “El consumo energético en el transporte urbano y metropolitano. Los modos ferroviarios”. *Ingeniería y Territorio*, no. 76, pp. 48-51
- EMT (2011): Impacto de las líneas 1 y 2 de Metro sobre la Red de EMT SAM. (Inédito) Málaga
- Fundación Cetmo (2010) Retos del Transporte por carretera. Ministerio de Fomento, Madrid. Disponible vía <http://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/3BE16A41-EF28-448A-9CC7-0377329813C2/102717/RetosdelTransporteporCarretera.pdf>. Consultado 24 Enero 2012
- IDAE (2011) Factores de conversión energía final - energía primaria y factores de emisión de CO₂ - 2010. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Disponible vía [http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_Factores_de_Conversion_Energia_y_CO2_\(2010\)_931cce1e.pdf](http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_Factores_de_Conversion_Energia_y_CO2_(2010)_931cce1e.pdf). Consultado 29 Enero 2012
- Maeso E, González G (2008) Guía de Buenas Prácticas de Accesibilidad en las Metrópolis Mediterráneas. En Innovación, Competitividad y Conectividad, Institut de la Méditerranée. Marseille
- Zamorano C, Bigas J M, Sastre J (2006) Manual de tranvías, metros ligeros y sistemas en plataforma reservada. Diseño, proyecto, financiación e implantación. Consorcio Regional de Transportes de Madrid