

02-025

PROPOSAL FOR A HIGH SPEED TRAIN IN MEXICO

Rocha Chiu, Luis ⁽¹⁾; Jiménez Arguelles, Víctor ⁽²⁾

⁽¹⁾ Universidad Autónoma Metropolitana, ⁽²⁾ Sector educación

The high-speed train is a type of transport which has the feature of moving large numbers of passengers in a safe, comfortable and efficient in relatively short travel times to a specific distance range, reducing pollution and highway traffic congestion. However, due to the high investment and operation costs the majority of high speed lines in the world require public subsidies for their operation. For this reason, it is convenient to carry out in-depth economic studies that determine adequate returns on the investments used in the employment of this technology, especially in developing countries as it is the case of Mexico.

This paper explores the environmental and financial feasibility of the Mexico-Guadalajara high speed train of 618 km long, with intermediate stations at Querétaro and León. The potential demand project is estimated with passengers using air transport and land transport in the corridor.

Keywords: *High speed train; financial viability; investment costs; passengers transport*

PROPUESTA DE UN TREN DE ALTA VELOCIDAD EN MÉXICO

El tren de alta velocidad es un medio de transporte que tiene la característica de trasladar en forma segura, cómoda y eficiente grandes cantidades de pasajeros en tiempos de viaje relativamente cortos para un rango de distancia específico, reduciendo la contaminación y la congestión de tráfico en las carreteras. Sin embargo, debido a los altos costos de inversión y operación la mayoría de líneas de alta velocidad en el mundo requieren subsidios públicos para su funcionamiento. Por este motivo, es conveniente realizar estudios económicos detallados que determinen adecuados retornos de la inversiones utilizadas con el empleo de ésta tecnología, especialmente en países en vías de desarrollo como es el caso de México.

En este trabajo se estudia la viabilidad financiera y ambiental de una línea de tren de alta velocidad de 618 km entre las ciudades de México y Guadalajara, con estaciones intermedias en Querétaro y León. La demanda potencial del proyecto se estima con los pasajeros que utilizan el transporte aéreo y el transporte terrestre en el corredor en estudio.

Palabras clave: *Tren de alta velocidad; viabilidad financiera; costos de inversión; transporte*

Correspondencia: jjav68@yahoo.com.mx



©2019 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

El sistema ferroviario de pasajeros que utiliza el tren de alta velocidad (TAV) es un modo de transporte que proporciona comodidad, seguridad y eficiencia, ya que es capaz de trasladar a un gran número de pasajeros en tiempos de viaje relativamente cortos para un rango de distancia específico, es menos contaminante en términos absolutos que otros modos de transporte, reduce la congestión de tráfico en las carreteras, ayuda a contener la expansión de los centros urbanos y aumenta la productividad económica. No obstante, requiere cantidades significativas de inversión y elevados costos de mantenimiento y operación (Todorovich et al, 2011).

La alta velocidad ferroviaria se sitúa principalmente en dos continentes: Europa y Asia. A principios de 2019 estaban operando más de 46 mil kilómetros de líneas ferroviarias de alta velocidad en todo el mundo y en proceso de construcción casi 12 mil kilómetros (UIC, 2019). Los primeros en adoptar este modo de transporte fueron los japoneses en 1964 con el tren Shinkansen entre Tokio y Osaka, siguieron en 1981 Francia con el tren de gran velocidad (TGV) de París a Lyon e Italia con la primera etapa de la Direttissima entre Roma y Florencia. Después continuó Alemania en 1988 con la introducción del Inter City Express (ICE) entre Fulda y Würzburg y en 1992 se pone en operación la Alta Velocidad Española (AVE) que conecta Madrid con Sevilla. Actualmente existen líneas de alta velocidad en operación en otros 13 países, de los cuales destaca China que tiene dos tercios de la longitud mundial de líneas de alta velocidad (Tabla 1).

Tabla 1. Longitud de líneas ferroviarias de alta velocidad (Kilómetros)

País	En operación	%	En construcción	%	Inicio de operación
China	32,043	68.9%	7,207	60.1%	2003
Japón	3,041	6.5%	402	3.4%	1964
España	2,852	6.1%	904	7.5%	1992
Francia	2,814	6.1%	-	0.0%	1981
Alemania	1,571	3.4%	147	1.2%	1988
Italia	896	1.9%	53	0.4%	1981
Otros países	3,266	7.0%	3,274	27.3%	-
Total	46,483	100.0%	11,987	100.0%	

Fuente: UIC-Unión internacional de ferrocarriles (2019)

Las evidencias muestran que los países persiguen diferentes propósitos al introducir el TAV como solución al transporte de pasajeros. Los objetivos buscados en la adopción de esta tecnología de transporte pueden agruparse en las siguientes categorías: solucionar los problemas de congestión en corredores de alta densidad de tráfico, mejorar el transporte de mercancías, contribuir a la integración territorial y equilibrar la distribución modal considerando la disminución de los costos de transporte y de la contaminación ambiental (Albalate y Bel, 2015).

Más de medio siglo de experiencia internacional con el TAV ha demostrado que es capaz de producir una amplia gama de beneficios, cada potencial corredor ferroviario requiere consideraciones y tratamientos únicos, basados en las características de la región y de las ciudades a lo largo de la ruta. Debido a los altos costos de inversión y operación el empleo de este modo de transporte precisa una visión económica clara y objetiva, capaz de ir más

allá de su indudable avance tecnológico y de las aparentemente exitosas cifras de demanda (Campos et al, 2009).

La gran mayoría de líneas de alta velocidad en el mundo son subsidiadas por los gobiernos, solamente tres líneas han conseguido lograr rentabilidad financiera clara: Tokio-Osaka (1964), París-Lyon (1971) y Jian-Quingdao (2003); estas rutas son enormemente densas y conectan grandes núcleos de población que se encuentran en distancias eficientes para el TAV con respecto a otros modos de transporte (Crozet, 2014). Estas evidencias obligan a la evaluación económica detallada de esta tecnología especialmente en países en vías de desarrollo como es el caso de México.

2. Antecedentes

En la década de 1990, el gobierno mexicano determinó convertir el sistema ferroviario en la columna vertebral del transporte terrestre de carga en el país, por lo que entre 1996 y 1999 se otorgaron en concesión tres cuartas partes de las vías férreas del país utilizando el modelo americano, que integra verticalmente el control de la infraestructura, las vías y la operación de los trenes por parte de la empresa concesionaria (Gorostiza, 2011).

A partir de la concesión de los ferrocarriles al sector privado se detonó el movimiento de mercancías, en veinte años se ha duplicado el volumen carga alcanzando 128.0 millones de toneladas transportadas en 2018. Mientras que el transporte de pasajeros entre ciudades disminuyó notablemente con la concesión de los ferrocarriles, tan sólo en el período 1996-2000 el número de pasajeros transportados por ferrocarril se redujo en veinte veces al pasar de 6.7 millones de pasajeros en 1996 a sólo 334 mil pasajeros en el año 2000.

Cabe destacar que el transporte dominante en México se realiza por carretera, de los 3,906 millones de pasajeros que se transportaron en 2018 a lo largo del país, el 96.9% lo hizo por autobús, el 2.5% por avión y el 0.6% por barco; mientras que de las 1,009 millones de toneladas de mercancías, se movieron por autotransporte el 55.4%, por ferrocarril el 13.0%, por avión el 0.1% y por barco el 31.5% (SCT, 2019a).

Para lograr una mejor movilidad de pasajeros retomando el transporte ferroviario las autoridades mexicanas proyectaron en 2012 la construcción con recursos públicos de tres líneas de ferrocarril interurbano. El tren México-Toluca de 58 km de longitud se encuentra en proceso de construcción, el tren Transpeninsular de 336 km se canceló por falta de presupuesto público y el tren de alta velocidad México-Querétaro de 209 km también fue cancelado en 2015 después de haberse licitado y adjudicado para su construcción.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) planificó el TAV México-Querétaro con un trazado de vía doble nueva que en la mayor parte del recorrido aprovecha el derecho de vía del tren de mercancías. Además, considera el diseño para circular a una velocidad máxima de 300 km/h con señalización similar a la europea (ERTMS tipo 1 y 2) y trenes Siemens 103 de 200 metros de longitud con capacidad para 405 pasajeros.

Los resultados de la evaluación económica determinaron un valor presente neto de \$1,220.9 millones de dólares y una tasa interna de retorno de 14.6% considerando un horizonte de planeación de 35 años. Los principales costos del proyecto son: infraestructura, sistema de electrificación y seguridad, material móvil y derecho de vía. Los beneficios del proyecto son los ahorros en tiempo de viaje y reducción en costos de operación vehicular (SCT, 2014).

La demanda potencial del TAV México-Querétaro proviene exclusivamente del transporte terrestre de los usuarios de automóvil y de autobús, se determinó mediante un estudio de origen y destino, aplicación de encuestas de preferencias de viaje y calibración con modelos de transporte (SCT, 2014). Los resultados de la SCT aplicando este procedimiento determinaron con datos de 2012 una demanda de 22,220 pasajeros diarios, de los cuales

17,162 son usuarios de automóvil y 5,058 pasajeros de autobús, por lo que resulta una tasa de transferencia al TAV del 19.3% de usuarios de automóvil y del 8.6% de pasajeros de autobús. Los pasajeros diarios de automóvil y autobús se calcularon con el tránsito diario de 2012 que circuló en la autopista México-Querétaro, aplicando una ocupación promedio de 2.5 usuarios por cada automóvil y de 22 pasajeros por cada autobús (Tabla 2).

Tabla 2. Demanda potencial de pasajeros por carretera para el TAV México-Querétaro

Autopista	Tránsito diario en 2012	Vehículos diarios			Pasajeros diarios	
		Automóvil	Autobús	Camiones	Automóvil	Autobús
México-Querétaro	50,240	35,620	2,663	11,957	89,050	58,586
Demanda por estudios de SCT					17,162	5,058
Porcentaje de transferencia al TAV					19.3%	8.6%

En agosto de 2014, la SCT publicó la convocatoria internacional para licitar la construcción del TAV México-Querétaro, en noviembre de 2014 se adjudicó el proyecto al consorcio Railway Construction Corporation, integrado por empresas de China, México y Francia. La inversión propuesta en el concurso fue de \$3,789.9 millones de dólares, que incluye la construcción en \$2,914.2 millones de dólares, el material rodante en \$299.7 millones de dólares y el mantenimiento y operación por cinco años en \$576.01 millones de dólares. Sin embargo, el 2 de febrero de 2015 el gobierno mexicano anunció la suspensión del proyecto en forma indefinida por recortes presupuestales.

3. Objetivo

El objetivo de este trabajo es estudiar la viabilidad financiera y ambiental de una propuesta de tren de alta velocidad entre las ciudades de México y Guadalajara de 610 km de longitud, con estaciones intermedias en Querétaro y León. Los costos del proyecto, las características técnicas del material rodante y la demanda terrestre se han estimado tomando como base la información del proyecto publicada por la SCT para el TAV México-Querétaro. El estudio de demanda se complementa con el análisis de los valores históricos de los últimos diez años del transporte terrestre (automóviles y autobuses) y del transporte aéreo.

4. Metodología y marco de referencia

El gobierno mexicano tiene establecido un marco institucional para el desarrollo de proyectos de inversión en infraestructura, el cual se compone de una herramienta principal para desarrollar proyectos de inversión denominada Metodología global de las etapas que componen el ciclo de inversiones (SHCP, 2012), que se aplica siguiendo las seis etapas siguientes: planeación estratégica, análisis y evaluación, priorización, presupuestación, seguimiento y evaluación ex-post de los proyectos de inversión. Los indicadores de rentabilidad para definir la conveniencia de realizar los proyectos son: el valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR), valorados a la tasa social de descuento establecida actualmente en el 10% por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP).

La factibilidad financiera del tren de alta velocidad México-Guadalajara se determina con el flujo de efectivo que resulta de la diferencia entre los costos y los ingresos del proyecto, calculando los indicadores de rentabilidad a un horizonte de 30 años. Los principales costos del proyecto son: derecho de vía, construcción, sistemas electromecánicos, señalización, adquisición de trenes, operación y mantenimiento de la línea. Los ingresos son los obtenidos por las tarifas de los pasajeros de acuerdo con la demanda estimada del proyecto.

Los beneficios ambientales del proyecto se miden con la reducción de emisiones de los automóviles, autobuses y aviones que dejan de circular porque sus pasajeros cambian del transporte terrestre y aéreo al transporte ferroviario de alta velocidad. Las emisiones más relevantes de automóviles y autobuses con motores de combustión interna son: bióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nítrico (N₂O), las cuales se calculan mediante factores de emisión por distancia recorrida de acuerdo con el modelo y tipo de vehículo. La estimación de emisiones del transporte aéreo se realiza con la metodología de la Organización de la Aviación Civil Internacional (OACI), cuyo enfoque se fundamenta en la distancia recorrida por las aeronaves y utiliza los datos de los tipos de aeronaves que operan en cada ruta aérea.

4.1. Descripción del proyecto.

El trayecto del tren de alta velocidad México-Guadalajara recorre la zona central del país, inicia en la Ciudad de México y termina en Guadalajara con una longitud total de 610 kilómetros, se proponen estaciones intermedias en Querétaro y León. La distancia parcial entre la Ciudad de México y Querétaro es de 209 km, entre Querétaro y León es de 176 km y de León a Guadalajara es de 225 km. La ruta propuesta aprovecha el derecho de vía de los ferrocarriles de carga concesionados a empresas privadas (Figura 1).

Figura 1. Trayecto del tren de alta velocidad México-Guadalajara



La ruta del TAV conecta las dos zonas metropolitanas más pobladas del país, la zona de la Ciudad de México con cerca de 21 millones de habitantes y la zona de Guadalajara con casi 5 millones, atraviesa por Querétaro y León, ciudades del Bajío mexicano que concentran importantes zonas industriales y agrícolas en su alrededor. De hecho la población conjunta de las cuatro zonas metropolitanas de estas ciudades representa casi la cuarta parte de los habitantes del país (Tabla 3).

Tabla 3. Evolución de la población en el corredor México-Guadalajara

Zonas metropolitanas	Área (km ²)	2000	2010	2015	% 2000-2015
Ciudad de México	7,866	18,396,677	20,116,842	20,892,724	0.85%
Querétaro	2,427	873,298	1,161,458	1,323,640	2.81%
León	1,760	1,269,179	1,609,504	1,768,193	2.24%
Guadalajara	3,600	3,772,833	4,521,755	4,867,383	1.71%
Total ZMs		24,311,987	27,409,559	28,851,940	1.15%

Total México	97,483,412	112,336,538	119,938,473	1.39%
---------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------

El costo de construcción se estimó a partir de la información del concurso internacional efectuado por la SCT en 2014 para el tren de alta velocidad México-Querétaro, el costo actualizado a 2018 por kilómetro de vía doble resulta en 13.94 millones de dólares. De este modo, se obtiene un costo de construcción para el TAV México-Guadalajara de 8,505.5 millones de dólares, utilizando el tipo de cambio promedio de 2018 de 19.24 pesos por dólar. Por cuestiones de economía de construcción y de mantenimiento, se propone que la línea se diseñe a una velocidad máxima de 250 km/h, por lo que el tiempo estimado del recorrido total será de 3 horas a una velocidad promedio de 210 km/h (Tabla 4).

Tabla 4. Características y costos del tren de alta velocidad México-Guadalajara

Tramo	Longitud (km)	Costo (millones de dólares)	Tiempo de recorrido (minutos)
Ciudad de México - Querétaro	209	2,914.2	62
Querétaro - León	176	2,454.0	52
León - Guadalajara	225	3,137.3	66
Total	610	8,505.5	180

Actualmente, un automóvil recorre los 610 km de las carreteras que unen las ciudades de México y Guadalajara en un tiempo promedio de 7.2 horas en un sentido, mientras que los autobuses emplean un tiempo de viaje de 8.0 horas en promedio. En el caso del tiempo de viaje por avión es equivalente a las 3.0 horas de recorrido en el tren de alta velocidad.

4.2. Demanda potencial del proyecto.

La demanda del tren de alta velocidad entre México y Guadalajara considera el transporte por avión y el de carretera, tanto de automóviles como de autobuses. Se estudiaron cuatro rutas de avión entre las ciudades que componen el trayecto (SCT, 2019b), excluyendo las rutas Querétaro-León y León-Guadalajara que mueven pocos pasajeros, en conjunto estas rutas transportan el 2.6% de los pasajeros del país y la tasa de aumento medio anual fue de 6.7% entre 2007 y 2018, contra el 5.0% del transporte aéreo nacional en el mismo período. La ruta México-Guadalajara concentra el 83.4% del transporte aéreo en el corredor con incremento medio anual del 6.7%, le sigue la ruta México-León que mueve el 12.4% con aumento del 5.7% cada año y las otras rutas transportan menos del 5% de los pasajeros (Tabla 5).

Tabla 5. Transporte aéreo de pasajeros en el corredor México-Guadalajara

Ruta	2007	2018	% 2007-2018	Pasajeros diarios	%
México-Guadalajara	1,550,140	3,167,438	6.7%	8,678	83.4%
México-Querétaro	21,318	119,803	17.0%	328	3.2%
México-León	254,052	469,675	5.7%	1,287	12.4%
Guadalajara-Querétaro	31,590	41,483	2.5%	114	1.1%
Totales	1,857,100	3,798,399	6.7%	10,407	100.0%
Total México	86,480,204	148,014,982	5.0%		

La demanda del transporte por carretera se determina a partir de los datos viales que publica anualmente la SCT para las carreteras del país (SCT, 2019c), con los porcentajes de automóviles, autobuses y camiones del tránsito diario que circulan en cada carretera se obtiene el volumen diario de cada tipo de vehículo. Los pasajeros diarios se calculan con una ocupación promedio de 2.5 pasajeros por automóvil y 22 pasajeros por autobús, valores utilizados en la evaluación económica de proyectos por la SCT. Los resultados muestran que el total del transporte terrestre de pasajeros por automóvil y autobús está más concentrado en el tramo Querétaro-León con 220,562 pasajeros diarios, cuyo valor es 29.2% mayor que el del tramo México-Querétaro que mueve 170,662 pasajeros por día, y casi tres veces superior al tramo León-Guadalajara con 83,881 pasajeros diarios. (Tabla 6).

Tabla 6. Transporte de pasajeros por carretera en el corredor México-Guadalajara

Tramo	Tránsito diario	% 2007-2018	Vehículos diarios			Pasajeros diarios	
			Automóvil	Autobús	Camiones	Automóvil	Autobús
México-Querétaro	58,078	2.6%	41,177	3,078	13,823	102,943	67,719
Querétaro-León	76,420	7.1%	54,827	3,795	17,797	137,068	83,493
León-Guadalajara	30,652	4.8%	22,046	1,307	7,298	55,116	28,765

La demanda potencial del TAV México-Guadalajara se determina con los datos del estudio de la SCT para el TAV México-Querétaro, cuya tasa de transferencia al TAV es de 19.3% para los pasajeros de automóvil y de 8.6% para los usuarios de autobús. Con los datos viales de 2018 se obtienen 19,868 pasajeros diarios provenientes del transporte por automóvil y 5,824 usuarios del autobús para un total de 25,692 pasajeros en el tramo México-Querétaro. En los tramos Querétaro-León y León-Guadalajara se utilizan los mismos porcentajes de transferencia modal con lo que se obtiene una demanda diaria total de 33,635 y 13,111 pasajeros, respectivamente (Tabla 7).

Tabla 7. Demanda potencial de pasajeros por carretera en el corredor México-Guadalajara

Tramo	Automóvil		Autobús		Demanda diaria total del TAV
	Pasajeros Diarios	Demanda del TAV (19.3%)	Pasajeros Diarios	Demanda del TAV (8.6%)	
México-Querétaro	102,943	19,868	67,719	5,824	25,692
Querétaro-León	137,068	26,454	83,493	7,180	33,635
León-Guadalajara	55,116	10,637	28,765	2,474	13,111

Debido a que el transporte por carretera es el medio dominante en México las tasas de transferencia de pasajeros al TAV pueden considerarse demasiado conservadoras. Para simplificar la demanda potencial del TAV México-Guadalajara se utilizan los pasajeros de automóvil y del autobús del tramo México-Querétaro de manera uniforme en todo el trayecto, es decir, un total de 25,692 pasajeros diarios.

Diversos estudios (Campos et al, 2009; Zhao et al, 2015) muestran que la transferencia modal del avión al TAV varía en función de la distancia entre pares de ciudades, las tarifas de cada medio de transporte, la disponibilidad de los servicios y el tiempo de viaje. Por ejemplo, el TAV capturó el 47% de la cuota de las aerolíneas en la ruta Madrid-Barcelona solo en un año y en la ruta Madrid-Sevilla capturó el 82% en el mismo tiempo (Albalade y Bel, 2015). Con base en estos porcentajes de captación de usuarios, en este artículo se utiliza una demanda de dos tercios del total de pasajeros de las rutas aéreas que pasan en el corredor México-Guadalajara, es decir el 66.7% de 10,407 pasajeros diarios arroja 6,942

pasajeros captados por el TAV. Esta cantidad de pasajeros coincide con el 80% de la ruta aérea México-Guadalajara sin considerar las otras rutas, que en 2018 movilizó 8,678 pasajeros diarios, por lo que resulta una demanda de 6,942 usuarios diarios atraídos por el TAV.

De esta forma, la demanda potencial del proyecto integrada por los 25,692 pasajeros captados del transporte terrestre más los 6,942 usuarios captados de las aerolíneas da un total de 32,634 pasajeros diarios en ambos sentidos, esto significa un total de 11,911,410 pasajeros por año (Tabla 8).

Tabla 8. Demanda potencial para el tren de alta velocidad México-Guadalajara

Demanda del transporte terrestre			Demanda del transporte aéreo		
Tramo	Automóvil	Autobús	Suma	Tramo	Avión
México- Guadalajara	19,868	5,824	25,692	México-Guadalajara	6,942
Demanda potencial (pasajeros diarios en ambos sentidos)					32,634

En la evaluación del proyecto se estima que la demanda aumente 2.4% los primeros diez años de operación del proyecto, 1.2% para los siguientes diez años y en los últimos diez años se mantenga sin crecimiento, con estas tasas la demanda anual del proyecto es de 11.9 millones de pasajeros el primer año de operación y de 14.7 millones de pasajeros en el año 30. Estos valores son excesivamente conservadores si se toma en cuenta que el tránsito terrestre en el corredor ha aumentado en la última década al 5.1% anual y el número de pasajeros por vía aérea al 6.7% anual, para una población que ronda los 29 millones de habitantes y que ha tenido una tasa media de crecimiento del 1.15% en los últimos quince años.

5. Resultados

Evaluación financiera. Se espera una mayor proporción de usuarios del tren de alta velocidad derivada de los pasajeros de autobús, siempre que las tarifas sean parecidas entre ambos servicios. Al respecto, se realizó un estudio exhaustivo para diversos servicios de autobús y por avión en el corredor México-Guadalajara, los resultados arrojaron una tarifa en dólares por kilómetro de: 0.07 en autobús primera clase, 0.09 en autobús clase especial y 0.24 por avión en clase económica. Los ingresos del proyecto se estiman usando la tarifa en autobús clase especial y la del transporte aéreo. También, se ha incluido un costo por kilómetro de 0.15 dólares, que corresponde con tarifas de 0.13 euros por kilómetro utilizadas en algunos países de Europa y en su momento fue la tarifa propuesta para el TAV México-Querétaro (Tabla 7).

Tabla 7. Estimación de ingresos del tren de alta velocidad México-Guadalajara

Tarifa por km (Dólares/km)	0.09	0.15	0.24
Costo por viaje (Dólares)	54.90	91.50	146.40
Pasajeros diarios	32,634	32,634	32,634
Ingresos año 1 (Millones de dólares)	653.9	1,089.9	1,743.8
Ingresos año 30 (Millones de dólares)	809.7	1,349.6	2,159.3

La factibilidad financiera del tren de alta velocidad México-Guadalajara considera: 8,880.1 millones de dólares de inversión total, de los que 8,505.5 son costo de construcción y 374.6 para la adquisición de 15 trenes. Los costos de mantenimiento y operación (109 mil dólares por kilómetro al año) son de 72.0 millones de dólares el primer año del proyecto y de 99,2

millones de dólares para el último año, con tasa de aumento igual a la utilizada en la demanda. Los ingresos se calculan para las tres diferentes tarifas en un horizonte de 30 años

Los resultados de la evaluación financiera indican la viabilidad del proyecto del TAV México-Guadalajara para la tarifa más alta comparable al costo de viajar por avión con una TIR del 15.5% y para la tarifa intermedia con TIR del 10.2%. La tarifa equivalente al autobús (\$0.09/km) arroja una TIR de 5.5%, que si bien es baja al no ser negativa, indica que la línea es autofinanciable y no requiere el empleo de subsidios públicos (Tabla 8).

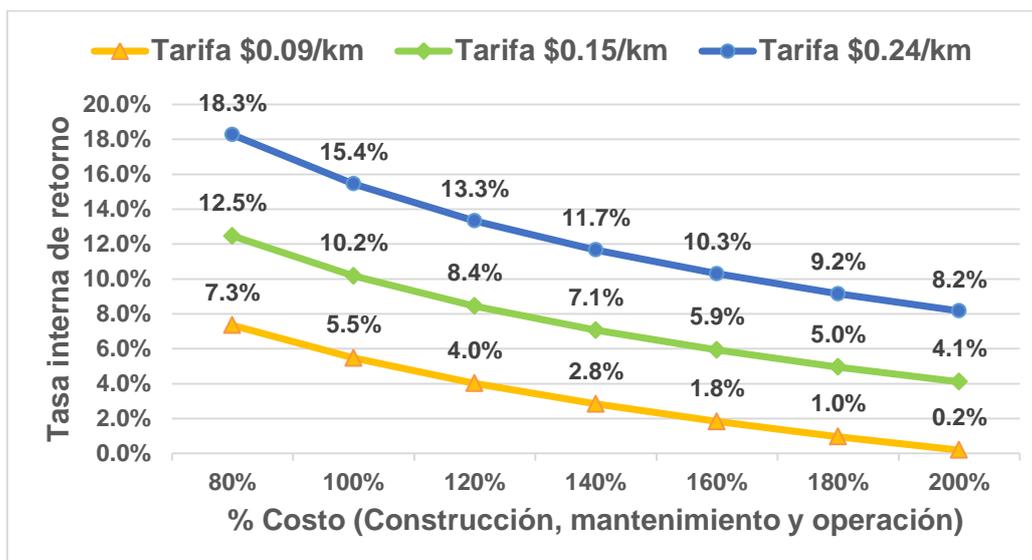
Tabla 8. Evaluación financiera del tren de alta velocidad México-Guadalajara

Año	Costos (mdd)			Tarifa \$0.09/km		Tarifa \$0.15/km		Tarifa \$0.24/km	
	Inversión	Operación y mantto.	Total	Ingresos (mdp)	Flujo de efectivo	Ingresos (mdp)	Flujo de efectivo	Ingresos (mdp)	Flujo de efectivo
1 al 5	-8,880.1		-8,880.1		-8,880.1		-8,880.1		-8,880.1
6		-72.0	-72.0	653.9	581.9	1,089.9	1,017.9	1,743.8	1,671.8
35		-99.2	-99.2	809.7	710.5	1,349.6	1,250.4	2,159.3	2,060.1
Valor presente neto (VPN)				-3,075.3 mdd		137.4 mdd		4,956.5 mdd	
Tasa interna de retorno (TIR)				5.5%		10.2%		15.5%	

Los factores que más influyen en la rentabilidad financiera de los proyectos ferroviarios de alta velocidad son: los costos de construcción y la demanda de pasajeros, en menor medida los costos de operación y mantenimiento. Los datos de las líneas de alta velocidad en el mundo reflejan una gran variabilidad de costos, el costo medio de construcción por kilómetro de vía doble de TAV fluctúa entre 10 y 70 millones de dólares, siendo los valores más bajos en Europa los de España con 20.3 millones de dólares y Francia con 24.8 millones de dólares, y el más alto el de Italia con 68.8 millones de dólares (Albalade y Bel, 2015). En Asia, los trenes de alta velocidad de Corea, Japón y Taiwán tienen costos entre 40 y 60 millones de dólares por kilómetro, mientras que China emplea en promedio 10.0 millones de dólares por kilómetro para construir líneas de 250 km/h y 18.6 millones de dólares para líneas de 350 km/h con lo cual ha logrado los valores más bajos de construcción a escala mundial (Wu, 2013).

El TAV México-Guadalajara se presupuestó con el costo actualizado de la licitación del tren de alta velocidad México-Querétaro, el valor de 13.9 millones de dólares por kilómetro está dentro de los parámetros de construcción de China pero por debajo de los otros países. Para revisar la viabilidad del proyecto se realizaron ejercicios financieros modificando al mismo tiempo los costos de construcción, operación y mantenimiento del TAV México-Guadalajara para las tres tarifas propuestas (Figura 2).

Figura 2. Variación de la rentabilidad para diferentes costos del TAV México-Guadalajara



Los resultados del análisis de sensibilidad muestran baja rentabilidad del proyecto conforme aumentan los costos de construcción, mantenimiento y operación hasta duplicarse estos valores. No obstante, no se alcanzan a obtener tasas negativas, lo que claramente indica que no se requieren subsidios públicos. Por último se realizó a costo base el análisis con una reducción de un tercio de la demanda que resulta en 21,918 pasajeros diarios (8 millones de pasajeros anuales) y la TIR obtenida para la tarifa baja es de 2.3%, para la tarifa intermedia de 6.4% y para la tarifa más alta de 10.9%. Por último, se duplicaron los costos de inversión y operación con la demanda disminuida en un tercio, las tasas internas de retorno obtenidas son de -2.8%, 1.0% y 4.7%, respectivamente para las tarifas baja, intermedia y alta.

Beneficios ambientales. Las emisiones contaminantes del transporte terrestre se calculan en función del número de automóviles y de autobuses que dejan de circular diariamente, la distancia del proyecto y los factores de emisión por distancia para cada contaminante. Una determinación más precisa de las emisiones contaminantes requiere la información detallada de la composición de los vehículos que circulan en el corredor en estudio, como: marca, antigüedad, potencia y estado mecánico. Debido a que no se cuentan con esos datos, se han seleccionado factores de emisión promedio para automóviles de potencia intermedia con motores de gasolina y autobuses de pasajeros con motores diésel (SEDEMA, 2012; SEDEMA, 2016). Los resultados muestran una reducción de emisiones del transporte terrestre de casi 440 mil toneladas anuales con la construcción del proyecto, de las cuales el 89.4% corresponden a las emisiones contaminantes de los automóviles y el 10.6% restante a las emisiones de los autobuses (Tabla 9).

Tabla 9. Reducción de emisiones del transporte terrestre en el corredor México-Guadalajara

Emisiones en g/km		Emisiones de automóviles				Emisiones de autobuses			
		0.010	0.017	222		0.015	0.025	788	
Corredor	km	Número	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	Número	CH ₄	N ₂ O	CO ₂
México-Guadalajara	610	7,947	18	30	392,817	265	1	1	46,446
Totales en toneladas anuales					392,864	46,448			

Las emisiones de bióxido de carbono (CO₂) del transporte aéreo se evalúan con la metodología desarrollada por la OACI cuyo enfoque se fundamenta en la distancia recorrida, consumos de combustible, factores de ocupación y tipos de aeronaves que operan actualmente en las rutas comerciales de todo el mundo (OACI, 2018).

Las bases de datos de las aeronaves y de las rutas se actualizan y mejoran de manera permanente con el objeto de obtener estimaciones precisas de los gases contaminantes por medio de una calculadora en la que se indica el origen y el destino para estimar la magnitud de la huella ambiental en kilogramos de CO₂ por pasajero.

La calculadora arroja un resultado de 78.4 kg de CO₂ por cada pasajero que utiliza la ruta aérea México-Guadalajara en viaje sencillo, para los más de dos y medio millones de viajeros que dejarán de utilizar el avión la reducción total de emisiones anuales serán de casi 200 mil toneladas anuales (Tabla 10).

Tabla 10. Reducción de emisiones del transporte aéreo en la ruta México-Guadalajara

Ruta	Pasajeros diarios	Pasajeros anuales	CO ₂ /pasajero (kg)	CO ₂ (Toneladas/año)
México-Guadalajara	6,942	2,533,830	78.4	198,652

La reducción total de emisiones contaminantes por la transferencia de usuarios del transporte terrestre y aéreo a la línea de alta velocidad es de 637,964 toneladas anuales. Sin embargo, es necesario estimar las emisiones originadas por el nuevo medio de transporte, las cuales se calculan con el factor de emisiones de CO₂ por pasajero-kilómetro que se utiliza en el tren español de alta velocidad AVE (OCCC, 2019). Las emisiones anuales de la operación del tren de alta velocidad México-Guadalajara con la demanda anual de 11.9 millones de pasajeros resulta en 227,279 toneladas anuales, por lo que la reducción neta de emisiones del proyecto es de 410,685 toneladas cada año (Tabla 11).

Tabla 11. Emisiones de la operación del tren de alta velocidad México-Guadalajara

Línea	Pasajeros diarios	Pasajeros anuales	g CO ₂ /pasajero-km	CO ₂ (Toneladas/año)
México-Guadalajara	32,634	11,911,410	31.28	227,279

6. Conclusiones

Los sistemas ferroviarios de alta velocidad generan los siguientes beneficios a la sociedad: proporcionan menores tiempos de viaje, contribuyen a mitigar la congestión de las carreteras, reducen la contaminación ambiental, tienen mayor capacidad de transporte, disminuyen los costos de operación vehicular, promueven un mejor uso del espacio público y son más seguros que otros modos de transporte.

El corredor de transporte México-Guadalajara reúne las condiciones técnicas y económicas para justificar la introducción de una nueva línea de tren de alta velocidad para pasajeros, entre las que se pueden mencionar: ciudades densamente pobladas, carreteras con niveles elevados de tránsito, demanda aérea de pasajeros, economía regional en constante crecimiento y distancia apropiada entre ciudades.

Los cambios en la demanda no se toman en cuenta en la evaluación financiera debido a que la cantidad de pasajeros del TAV México-Guadalajara se determinó con la tarifa intermedia, semejante a la de los trenes de alta velocidad europeos, esto significa que la demanda potencial será mayor en caso de aplicar la tarifa más baja, comparable a la de autobús, y para la tarifa más alta, similar a la del transporte aéreo, la demanda del proyecto será menor. Asimismo, no se considera la cuantificación de demanda inducida tanto en el

corredor original como en la ruta alterna a Guadalajara que atraviesa el Estado de Michoacán.

Los resultados de la evaluación financiera señalan buena rentabilidad para tarifas del TAV comparables a las del transporte aéreo, adecuada rentabilidad en el caso de tarifas por kilómetro similares a las empleadas en algunos países europeos y baja rentabilidad con el uso de la tarifa por kilómetro que cobra el autobús en el país. El análisis de sensibilidad con la demanda fija y el aumento de costos de inversión y operación proporciona como resultado tasas de retorno positivas para todos los rangos tarifarios, situación que indica que el proyecto es autofinanciable. Solamente se obtiene retorno negativo al disminuir la demanda en un tercio y duplicar los costos del proyecto para el caso de la tarifa equivalente al autobús.

También se muestran los beneficios ambientales que caracterizan a este tipo de tecnologías, así como el ahorro en tiempo de los pasajeros del corredor. De esta forma, los resultados expresan una reducción neta de emisiones contaminantes superior a las 410 mil toneladas anuales; mientras que el ahorro en tiempo de los usuarios procedentes del transporte por automóvil es del orden de 30 millones de horas por año y el de los pasajeros del transporte por autobús de casi 11 millones de horas al año. Finalmente, se considera que el tiempo de viaje es equivalente entre los pasajeros del tren de alta velocidad y los usuarios del transporte aéreo, para los cuales no hay ahorro en el tiempo de viaje.

Bibliografía

- Albalade, D. y Bel, G., (2015), La experiencia internacional en alta velocidad ferroviaria, FEDEA Universidad de Barcelona, España
- Campos, J., De Rus, G. y Barrón, I., (2009), El transporte ferroviario de alta velocidad-Una visión económica, Documento de Trabajo No. 3, Fundación BBVA, España
- Crozet, Y., (2014), Performance in France: From appraisal methodologies to ex-post evaluation, The Economics of Investment in High-Speed Rail, International Transport Forum,
- Gorostiza, F., (2011), Renacimiento de los ferrocarriles mexicanos de carga, Asociación Mexicana de Ferrocarriles, México
- OACI, (2018), ICAO Carbon Emissions Calculator Methodology, Canadá.
- Oficina Catalana del Cambio Climático, (2019), Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero-Versión de marzo de 2019, España
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes, (2014), Análisis costo-beneficio tren de alta velocidad México-Querétaro, Informe final de Modelística, versión pública.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes, (2019a), Estadística mensual de diciembre de 2018, México.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes, (2019b), Estadística operativa de la aviación civil, México.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes, (2019c), Datos viales, México
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público, (2012), Metodología global de las etapas que componen el ciclo de inversiones, México,
- Secretaría del Medio Ambiente, (2012), Registro de emisiones de gases de efecto invernadero del Distrito Federal.

Secretaría del Medio Ambiente, (2016), Inventario de emisiones de la Ciudad de México.

Todorovich, P., Schned, D., y Lane, R. (2011). High-Speed Rail International Lessons for U.S. Policy Makers, Lincoln Institute of Land Policy, USA.

UIC-Union Internationale des Chemins de Fer. (2019). High speed lines in the world, actualizado al 28 de enero de 2019

Wu, Jianhong, (2013), The Financial and Economic Assessment of China's High Speed Rail Investments, Roundtable on The Economics of Investment in High Speed Rail, International Transport Forum

Zhao, J., Zhao, Y. y Li, Y., (2015), The variation in the value of travel-time savings and the dilemma of high-speed rail in China, Transportation Research Part A 82, pp. 130-140