

Inversión promovería eficiencia en red ferroviaria

La infraestructura actual no responde a las necesidades de sus principales demandantes

Gerónimo Ugarte Bedwell

Nueva forma de medir eficiencia ferroviaria ante una realidad cambiante

El rezago de la operación ferroviaria en México ha sido objeto de discusión en materia económica y de desarrollo regional.¹ La historia de los ferrocarriles en México data de finales del siglo XIX y su finalidad principal fue movilizar a la fuerza laboral y a la producción minera de la época.² Durante el siglo XX, el desarrollo de la red ferroviaria nacional siguió esta misma dirección, a pesar de que, paulatinamente, se contrajo la demanda de transporte ferroviario con el desarrollo del sistema carretero nacional y con la penetración automotriz en la red logística nacional. Asimismo, por el lado de la oferta, el transporte ferroviario como provisión estatal no facilitó el desarrollo y mantenimiento de la red para ajustarse a las necesidades cambiantes de la población y la industria nacional y, particularmente de 1986 a 1991, se hace evidente una crisis operativa en el subsector, lo que hace necesaria la apertura de los ferrocarriles a la inversión privada.³

El Instituto Mexicano del Transporte (IMT) divide el proceso de privatización de las actividades ferroviarias en México en tres etapas:

1. Una primera aproximación caracterizada por una mayor participación de equipo de arrastre privado necesario por la creciente demanda de transporte de carga originada por las actividades propias del comercio exterior (1988-1991).
2. La reestructuración del sistema ferroviario mexicano y la privatización de algunos de sus servicios auxiliares, acompañado de políticas enfocadas a la apertura comercial y al saneamiento de sus finanzas (1992-1994).
3. La concesión del servicio de transporte, reformas legislativas para adaptar la normatividad a la participación de capital privado en el servicio ferroviario de transporte (1995-1999).⁴

Aún con la participación de la iniciativa privada, la realidad actual de la red ferroviaria en México dista mucho – en cuanto a desarrollo y eficiencia – de las redes ferroviarias en el mundo desarrollado. Como punto de referencia, se puede considerar el transporte de carga por ferrocarril de Estados Unidos de América (EUA), nuestro principal socio comercial. Por ejemplo, en 2014, la red ferroviaria estadounidense transportaba 2.5 billones de toneladas-kilómetro, en contraste con los 78,770 millones de toneladas-kilómetro que se transportaron en nuestro país. Incluso al estandarizar con respecto a la actividad manufacturera, sabiendo que el valor agregado en la manufactura en México y EUA, fue de 209 y 2,085 billones de dólares,⁵ respectivamente, se obtienen 376.89 toneladas-kilómetro por cada mil millones de dólares para México y 1,199.04 para EUA.

Adicionalmente, el transporte ferroviario posee una ventaja en costos con respecto al autotransporte de carga, su principal sustituto para la movilización de carga por tierra. De hecho, los beneficios potenciales de una red ferroviaria que responda a las necesidades de la economía se deben en gran parte a esta ventaja en parte a esta

1: **Aspectos Regulatorios del Sector Ferroviario en México**, de Eduardo Romero, Coordinador General de Manifestaciones de Impacto Regulatorio Comisión Federal de Mejora Regulatoria, en el *Foro sobre la reforma a la Ley Reglamentaria del Servicio Ferroviario Comisión de Comunicaciones y Transportes del Senado de la República*, 5 y 6 de marzo de 2014.

2: Ramírez P., David. **Las contrapartidas de la difusión tecnológica: El impacto económico regional del ferrocarril durante la época del Porfiriato 1876-1911 en México**, en *Paakat: Revista de Tecnología y Sociedad*, no. 5 (3). México 2014.

3: Instituto Mexicano del Transporte, "Evolución creciente de algunos indicadores operativos y de eficiencia del ferrocarril mexicano", IMT, México, 2009.

4: *idem*

5: Con datos del Banco Mundial para el año 2014, el valor agregado en la manufactura en México y EUA, fue de 209 y 2,085 billones de dólares, respectivamente. Esto implica 376.89 toneladas-kilómetro por cada mil millones de dólares para México y 1,199.04 para EUA.

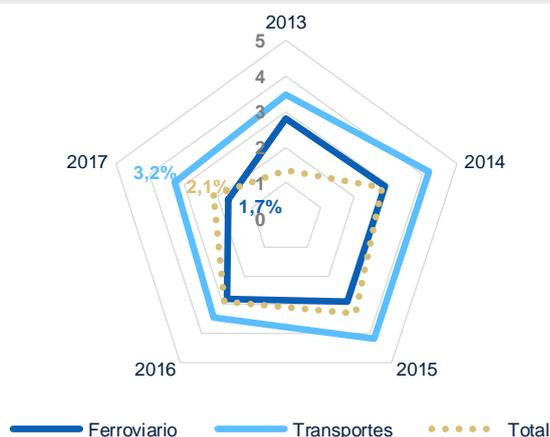
ventaja en costos, como ya se ha mencionado en el artículo *Inversión y eficiencia ferroviarias: vías hacia un mayor crecimiento* en la última entrega de la revista **Situación Regional – Sectorial México**.⁶

Por el lado de la demanda, la industria manufacturera es la principal demandante de transporte ferroviario; durante el siglo XX, la industria se consolidó como uno de los motores del crecimiento en México y paulatinamente comenzó a demandar más servicios de transporte ferroviario. Adicionalmente, la realidad económica de México y de la región se ha transformado desde 1994, con la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio de Norteamérica (Tlcan), consolidando cadenas regionales de valor que dependen fuertemente de la movilización de productos entre eslabones de las mismas, ya sea que pertenezcan al mismo país o impliquen un cruce de frontera. Bajo este nuevo paradigma, resulta útil analizar la forma en la que el sistema ferroviario de México responde ante las necesidades actuales de la economía nacional, especialmente con la firma del nuevo acuerdo comercial entre Estados Unidos, México y Canadá (USMCA), garantizando la permanencia de dichas cadenas productivas y representado oportunidades de complementariedad como insumo en la producción manufacturera para el sector ferroviario.

Un estudio realizado por De la Peña (2012), analiza las redes de transporte carretero y de transporte aéreo en México. Como principales resultados, se presentan medidas de jerarquización de zonas metropolitanas en cuanto a centralidad y coherencia de las redes estudiadas. En un contexto de redes, la centralidad es una característica de cada nodo de la red, que denota su grado de conectividad y posición en la misma. La coherencia, por su parte, está definida como una medida inversamente proporcional a la dispersión existente entre una red idónea (que responda perfectamente a las necesidades de conexión de los nodos que la conforman) y la red observada.

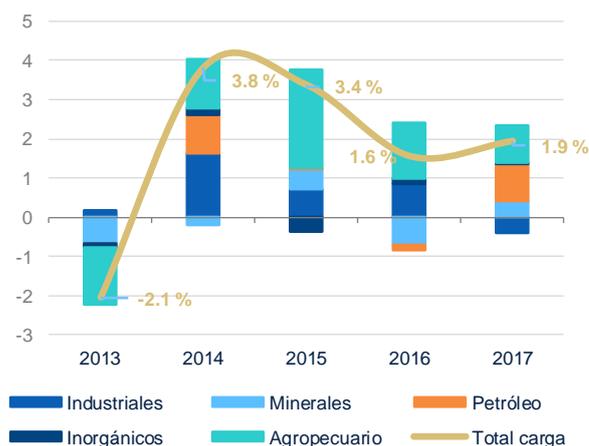
El análisis realizado permite encauzar la dirección de los recursos en materia de inversión, apuntando las localidades en donde una mayor inversión en infraestructura ferroviaria cubriría una demanda ya existente. En contraparte, una localidad que presenta una alta conectividad, implicaría su capacidad existente de satisfacer la demanda de una mayor producción manufacturera local, apuntando a oportunidades de inversión localizadas en manufacturas.

Gráfica 1 PIB total, PIB transportes y PIB ferroviario (variación % real anual, series originales)



Fuente: BBVA Research
 Nota: Las tasas de crecimiento se calcularon con base en las series originales del PIB

Gráfico 2 Carga total ferroviaria y por tipo de producto (contribuciones y variación % anual)



Fuente: BBVA Research
 Nota: Las contribuciones corresponden a la variación de toneladas-kilómetro transportadas por tren en el año

En este **Observatorio Regional – Sectorial**, se presenta un análisis equivalente para 55 zonas metropolitanas de México. Después de identificar la producción bruta total de las industrias manufactureras y la población de las mismas, se elaboró una matriz de adyacencia para el sistema ferroviario, la cual refleja las conexiones directas de

6: Según datos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y de Transportes Universales, en 2016, el costo de transportar un automóvil de 1.2 toneladas era de 5,114.3 pesos por autotransporte de carga y de 2,760 pesos por ferrocarril.

cada nodo⁷ – o zona metropolitana – en la red ferroviaria, así como las distancias entre los mismos. El análisis presentado se refiere a la producción manufacturera y no capta el efecto de los centros de entrada y salida de mercancías de territorio nacional. Lo anterior no afecta el resultado del análisis, como se hará patente posteriormente al analizar las conclusiones del modelo utilizado.

Modelo de redes para cálculo de coherencia de la red ferroviaria

Siguiendo la metodología del estudio de De la Peña (2012) y utilizando el Teorema de Perron-Frobenius⁸, se calculó el vector propio de la matriz de adyacencia correspondiente al radio espectral de la matriz (el mayor de los valores propios) para medir la complejidad de la red ferroviaria en cada una de las zonas conectadas por el ferrocarril.

- Identificar las N poblaciones (ciudades o zonas metropolitanas) conectadas por la red ferroviaria y construir una matriz de adyacencia $D = [d_{11} \dots d_{1N} \dots d_{N1} \dots d_{NN}]$: $d_{ij} = d_{ji}, d_{ii} = 0 \forall i, j \in G$, en la que cada elemento d_{ij} represente la distancia entre dos poblaciones (en kilómetros) si existe conexión de forma directa entre las mismas. En caso de que la conexión sea por vía de otra población incluida en la matriz de adyacencia, la distancia se iguala a cero. Asimismo, la distancia de una población a sí misma se define como cero (las entradas en la diagonal de la matriz simétrica D).
- Identificar la producción bruta total de las industrias manufactureras, m_i , de los municipios – o conjuntos de municipios – representados por cada nodo en la matriz D descrita en el punto anterior y definir un vector de producción $m = [m_1, m_2, \dots, m_N]$, ordenando los elementos del mismo de igual forma que en la matriz de adyacencia.
- Análogamente, definir un vector de población total $p = [p_1, p_2, \dots, p_N]$, en donde cada p_i represente la población en el nodo i .
- Calcular los eigenvalores e_i de la matriz de adyacencia D y definir E^i como el eigenvector asociado a cada e_i ; ubicar el radio espectral S de D (el mayor de los eigenvalores, es decir $S = e_j: e_j \geq e_i \forall i, j \in N$) y calcular el eigenvector $U = E^S = [u_1, u_2, \dots, u_N]$ correspondiente. Por el Teorema de Perron-Frobenius, se puede garantizar que este vector contará con elementos mayores o iguales a cero para todos los nodos involucrados.
- Realizar el cálculo de un vector de centralidad comparada dividiendo la entrada del vector de Perron, u_i , entre la variable exógena a comparar en ese nodo, ya sea población, p_i o producción bruta total de las industrias manufactureras, m_i . Con el fin de estandarizar y eliminar las unidades de medida, se divide la medida resultante entre el cociente del promedio de complejidad en la red y el promedio de la variable exógena en cuestión; es decir que, para cada nodo i , se calcula la medida:

$$v_i(x, u) = \frac{\frac{u_i}{\sum_{j=1}^N u_j}}{\frac{x_i}{\sum_{j=1}^N x_j}}, \quad x \in \{p, m\}$$

Este cociente representa la centralidad comparada o el grado relativo de conexión del nodo i .

En el caso de ser igual a uno, se dice que el nodo está conectado de forma eficiente, respondiendo a las necesidades de la variable exógena en cuestión en ese punto. Si es mayor a uno, el nodo se encuentra sobreconectado, existiendo infraestructura ferroviaria excesiva para la producción manufacturera o población local; y si es menor a uno, el nodo se encuentra subconectado, no siendo suficientes las conexiones dentro de la red ferroviaria para atender las necesidades de la población o de la manufactura en ese punto.

7: Un nodo puede definirse como un elemento de una lista enlazada de una gráfica; éstos a su vez se encuentran interrelacionados de una manera no jerárquica y conforman una red. De esta forma, la red sería un "conjunto de nodos interconectados".

8: El teorema de Perron-Frobenius garantiza la existencia de un eigenvalor positivo (radio espectral de la matriz), que acota en módulo al resto de eigenvalores de la matriz, y tiene asociado un eigenvector positivo, garantizando ciertas condiciones de existencia, unicidad, positividad y estabilidad de las soluciones en modelos lineales multisectoriales estáticos y dinámicos

- Calcular una medida de coherencia definida como $C(G) = \frac{1}{1+\sigma(G)}$, en donde $\sigma(G) = \sqrt{\sum_{i \in G} [v_i(p_i, u_i) - 1]^2}$.

Como se puede observar, si la medida de dispersión, $\sigma(G)$, es mayor, la medida de coherencia será menor. Asimismo, por construcción, $0 \leq C(G) \leq 1 \forall G$. Además, si la red responde perfectamente a las necesidades de cada nodo en la red, $v_i(p_i, u_i; G) = 1$ y $\sigma(G) = 0$, lo cual implica que $C(G) = 1$. La coherencia, por lo tanto, mide el grado de respuesta de la red ferroviaria a las necesidades de la variable considerada – manufactura o población – en la red ferroviaria en su conjunto.

Red de ferrocarriles no responde a las necesidades de la manufactura

Los resultados del modelo y los cálculos anteriores, así como las características exógenas – población y producción bruta total de las manufacturas – utilizadas en cada caso, se incluyen en los siguientes cuadros:

Gráfica 3 Calidad en términos de coherencia en la conectividad de los principales nodos de la red ferroviaria



Fuente: BBVA Research, con base en datos del Inegi y la SCT

En el mapa anterior, se pueden observar los nodos en la red ferroviaria que se encuentran subconectados de acuerdo a la producción manufacturera que utiliza ese nodo como medio de transporte. Asimismo, en el caso de la sobreconexión, la infraestructura resulta excesiva para las necesidades locales.

Cuadro 1 Centralidad y coherencia por población en la red ferroviaria

Localidad	Población (millones)	Centralidad comparada
Valle de México	20.1	0.0019
Guadalajara	4.8	0.0122
Monterrey	4.4	0.4689
Puebla - Tlaxcala	2.6	0.0024
León	1.9	0.0975
La Laguna	1.2	2.6182
Aguascalientes	0.9	1.7402
Tijuana	1.8	0.0009
Nuevo Laredo	0.4	1.2732
Ojinaga	0.0	23.2941
Tapachula	0.3	0.0000
Topolobampo	0.4	4.1690
Lázaro Cárdenas	0.2	0.0017
Salina Cruz	0.1	0.0000
Tampico	0.9	1.5459
Coherencia de la red ferroviaria		0.24

Fuente: BBVA Research

Cuadro 2 Centralidad y coherencia por producción manufacturera en la red ferroviaria

Localidad	Producción manufacturera (Mdp)	Centralidad comparada
Valle de México	856.1	0.0006
Guadalajara	329.5	0.0022
Monterrey	734.8	0.0347
Puebla - Tlaxcala	297.1	0.0003
León	194.3	0.0120
La Laguna	154.1	0.2529
Aguascalientes	134.6	0.1476
Tijuana	101.2	0.0002
Nuevo Laredo	10.6	0.5637
Ojinaga	1.6	4.7443
Tapachula	3.0	0.0000
Topolobampo	7.8	2.7357
Lázaro Cárdenas	46.0	0.0001
Salina Cruz	213.7	0.0000
Tampico	177.2	0.0918
Coherencia de la red ferroviaria		0.16

Fuente: BBVA Research

En los cuadros 1 y 2, se puede observar que la coherencia de la red ferroviaria es mayor en el caso de la población que en el caso de la industria manufacturera. Sin embargo, el movimiento de personas tiene una participación muy baja en el uso del transporte ferroviario, mientras que las manufacturas representan el principal componente de la demanda ferroviaria.⁹

Como resultado del modelo, entonces, la red actual de ferrocarriles no sólo no es acorde a las necesidades de su principal demandante, sino que puede estar determinada por una condición inicial que respondió a necesidades históricas que hoy en día no son vinculantes en la composición de la demanda del subsector: el movimiento de la población, junto con los productos mineros, como uno de los motivos para la construcción de la misma.

Incompatibilidades ferroviarias señalan oportunidades de inversión

En seguimiento a los resultados del análisis de la red ferroviaria, se pueden vislumbrar los puntos de conexión de la red ferroviaria que requieren de mayor inversión, promoviendo la movilidad de su producción manufacturera; es decir, las localidades que están subconectadas de acuerdo al análisis presentado.

Por otra parte, la sobreconexión en un nodo específico de la red ferroviaria puede traducirse como capacidad instalada que no ha sido explotada; en otras palabras, existe la infraestructura ferroviaria suficiente para satisfacer las demandas de una mayor actividad manufacturera en la localidad. Esta sobreconexión se puede observar en localidades que representan puntos de interconexión ferroviaria, con baja población o producción manufacturera, como es el caso de Oriental, en Puebla, y de Benjamín Hill, en Sonora. Un caso sobresaliente es el de Ojinaga, Chihuahua, con la mayor sobreconexión de la red ferroviaria de acuerdo al análisis. Sin embargo, este análisis únicamente toma en cuenta la movilización de mercancías producidas en la localidad, sin tomar en cuenta los flujos de comercio internacional. Por lo tanto, es natural concluir que Ojinaga está “menos sobreconectada” de lo que apuntan las cifras, ya que responde también a una demanda de flujos de mercancías internacionales.

Por lo tanto, una de las aplicaciones directas de este análisis es el direccionar los recursos a invertir hacia las actividades que implican un mayor beneficio en el margen, de acuerdo a la estructura logística dentro de la red

9: Anexo estadístico ferroviario 2017, SCT.

estudiada. Estos recursos pueden ser dirigidos hacia mayor infraestructura ferroviaria o hacia el aumento de la capacidad manufacturera instalada en localidades que impliquen un aprovechamiento de las complementariedades existentes por su alto grado de conectividad en el sistema ferroviario nacional.

Integración ferroviaria / portuaria: México como plataforma logística mundial

Además del análisis de la red ferroviaria en el interior del territorio nacional, y de acuerdo a la producción manufacturera, se debe tomar en cuenta la oportunidad que el ferrocarril representa por la ventaja en costos antes mencionada en cuanto a su integración en los flujos de mercancías y valor dentro y fuera del territorio nacional.

Adicionalmente a las consideraciones mencionadas anteriormente sobre los cruces fronterizos y las entradas de productos no manufactureros (como los granos), se debe de analizar la interacción del ferrocarril con las terminales portuarias en México y las oportunidades de generación de valor que las mismas representan. Por medio de terminales intermodales, se observa una integración de los puertos con la red ferroviaria nacional que favorece el desplazamiento de mercancías que se transportan por vía marítima hacia el interior del país y de productos nacionales hacia el exterior.

Si se considera la posibilidad de llevar a cabo un traslado de mercancías intercostal por tierra, como en el caso del corredor transistmico, la ventaja en costos del ferrocarril podría representar una ventaja comparativa con alternativas de transporte que implicaría un mayor desplazamiento por mar y el pago de tarifas de paso, como es el caso del canal de Panamá. De hecho, en el análisis realizado, ya se observaba que el puerto de Salina Cruz es una de las localidades más subconectadas; si se añade a esto la posibilidad del traslado de mercancías del Pacífico hacia el Golfo de México y viceversa, el desarrollo ferroviario en el istmo implicaría una vía alternativa de transporte de productos entre Asia y la costa Este de EUA.

En el caso del canal de Panamá, un estudio realizado por la Administración del Canal de Panamá, indica que los costos de transporte resultantes de transportar un TEU de 20 pies por el canal es de 65 dólares, mientras que el equivalente por el istmo sería de aproximadamente 350 dólares.¹⁰ Sin embargo, en un análisis costo – beneficio que incluya otros costos además del de transporte interoceánico, se debe considerar que el desplazamiento de aproximadamente 2,000 kilómetros por mar hacia el cruce por el Canal implica un costo en combustibles que no ha sido considerado por dicho estudio. Adicionalmente, si se considera la congestión en el Canal de Panamá (incluso con su ampliación) derivada de la mayor demanda por transporte interoceánico y, particularmente de gas natural líquido (GNL), el corredor transistmico parece una opción mucho más coherente en términos de logística de comercio internacional.

Otro importante factor que puede determinar la viabilidad del proyecto y generar una demanda potencial que requiriese del transporte ferroviario transistmico, sería el plan de desarrollo de la nueva administración en torno al mismo, incluyendo la modernización del puerto de Coatzacoalcos, la apertura de una nueva terminal portuaria en Salina Cruz y la rehabilitación y expansión de las vías ferroviarias entre ambos puertos, así como la construcción de una autopista entre los mismos.

Si se toma en cuenta el tratamiento de zonas económicas especiales, se podría ver una motivación para el surgimiento de nuevas zonas industriales en el corredor y para la utilización de las localidades en el mismo como puerto de envío de la producción nacional hacia el exterior, ya sea por el Golfo de México o por el Pacífico. De acuerdo con el análisis de infraestructura ferroviaria realizado, el establecimiento de parques industriales en el istmo haría más patente su necesidad de desarrollo ferroviario, al generarse una mayor demanda por los nuevos parques manufactureros establecidos en la región.

10: Canal de Panamá es hasta cinco veces más barato que ferrocarril, en *Mundo Marítimo*, 3 de marzo de 2006.

Ante la puesta a cabo del plan de infraestructura y, en particular, del corredor transístmico, los beneficios potenciales que se ganarían en términos de flujos de comercio internacional, son importantes; adicionalmente, se debe considerar la generación de empleo y alza en la producción regional, lo cual puede generar una disminución del rezago del Sureste con respecto al resto del país. Este fenómeno, a pesar de no contenerse en el estudio, reafirmaría los beneficios potenciales de la red ferroviaria en la región del istmo y promovería ganancias en términos tanto productivos como distributivos que reafirmarían la necesidad del desarrollo de la red ferroviaria en estas localidades que resulta del estudio realizado.

AVISO LEGAL

Este documento ha sido preparado por BBVA Research del Banco Bilbao Vizcaya Argentaria, S.A. (BBVA) y por BBVA Bancomer. S. A., Institución de Banca Múltiple, Grupo Financiero BBVA Bancomer, por su propia cuenta y se suministra sólo con fines informativos. Las opiniones, estimaciones, predicciones y recomendaciones que se expresan en este documento se refieren a la fecha que aparece en el mismo, por lo que pueden sufrir cambios como consecuencia de la fluctuación de los mercados. Las opiniones, estimaciones, predicciones y recomendaciones contenidas en este documento se basan en información que ha sido obtenida de fuentes estimadas como fidedignas pero ninguna garantía, expresa o implícita, se concede por BBVA sobre su exactitud, integridad o corrección. El presente documento no constituye una oferta ni una invitación o incitación para la suscripción o compra de valores.

