



**UADY**  
UNIVERSIDAD  
AUTÓNOMA  
DE YUCATÁN

# Revista de Economía

Facultad de Economía • Universidad Autónoma de Yucatán

## Infraestructura de transporte y exportaciones en la frontera norte de México Transport Infrastructure and exports in the Northern border of Mexico

Salvador Corrales C.<sup>1</sup> Jorge Eduardo Mendoza Cota<sup>2</sup>

### Resumen

El objetivo del artículo es identificar la eficiencia de la infraestructura de transporte para facilitar las exportaciones en la frontera norte de México. La metodología utilizada se basó en el cálculo de varios indicadores de infraestructura y en el desarrollo de un modelo de datos panel, con el fin de analizar el impacto de la infraestructura de transporte en las exportaciones de la región. En los resultados se sugiere invertir en ferrocarriles para reducir los congestionamientos en los cruces fronterizos y mejorar las carreteras de acceso a los puertos. Además, se resalta la necesidad de aumentar el financiamiento en las aduanas para facilitar la verificación de la carga.

**Palabras clave:** infraestructura, competitividad, eficiencia aduanera, cruces fronterizos, modelos panel.

**Clasificación JEL:** C23, L91, L92, F10, R40

### Abstract

The objective of this article is to identify the efficiency of transportation infrastructure for facilitating the exports on the northern border of Mexico. The methodology used was based on the calculation of several infrastructure indicators and the estimation of a panel data model to analyze the impact of transportation infrastructure on the exports of the region. The results suggest that investments in railroads and highways would reduce congestion at border crossings and improve access roads to border ports. In addition, the results highlight the need to finance more customs to facilitate cargo verification.

1- El Colegio de la Frontera Norte, México.  
Correo electrónico: [corrales@colef.mx](mailto:corrales@colef.mx)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0508-5093>

2- El Colegio de la Frontera Norte, México.

Correo electrónico: [emendoza@colef.mx](mailto:emendoza@colef.mx)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9555-9581>

RECEPCIÓN: 24 de noviembre de 2020 ACEPTACIÓN: 22 de marzo de 2021  
REVISTA DE ECONOMÍA: Vol. 38- Núm 97 JULIO A DICIEMBRE DE 2021: Págs. 9-34

e-ISSN: 2395-8715

<http://www.revista.economia.uady.mx/index.php/reveco>

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. (CC BY-NC-SA 4.0)

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>

**Keywords:** infrastructure, competitiveness, custom efficiency, border crossings and panel models.  
**JEL classification:** C23, L91, L92, F10, R40

## 1. Introducción

Estudios recientes de especialistas del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), del Foro Económico Mundial y de diversas universidades, coinciden en la necesidad de modernizar y construir más carreteras, puertos, aeropuertos y aduanas para facilitar el comercio internacional, entre otras acciones de política encaminadas a fomentar el crecimiento económico, por ejemplo, impulsar la gobernanza participativa de todos los agentes y actores de la región binacional.

Al igual que sus economías, los países poseen un nivel de desarrollo de carreteras, puentes, puertos y aduanas en sus fronteras que los diferencian de sus vecinos. Estas diferencias marcan las pautas del comercio, como la rapidez del cruce fronterizo, las medidas de seguridad debidas al tráfico de drogas y al terrorismo, los procesos administrativos para el registro de la carga, los espacios para la verificación de la misma, los sistemas electrónicos para su monitoreo, entre otras.

Las actividades antes mencionadas determinan los costos de transacción en las aduanas. Dichos costos son bastante elevados en las aduanas fronterizas de México con Estados Unidos, tal como lo demuestran los congestionamientos en los cruces fronterizos. Por lo anterior, este artículo se propone como objetivo general identificar la eficiencia de la infraestructura de transporte para el cruce de las exportaciones hacia Estados Unidos<sup>1</sup>, mediante la construcción de indicadores sintéticos y el desarrollo de un modelo de datos panel.

Se asume como hipótesis que la capacidad de la infraestructura fronteriza para dar soporte a las exportaciones mexicanas ha sido insuficiente desde que entró en operaciones el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), en la década de los años noventa. Con la apertura comercial, las exportaciones mexicanas crecieron por encima de la capacidad operativa de la infraestructura que facilita la movilidad entre los tres países, propiciando problemas de congestionamiento en aduanas, así como también, costos de transacción y de competitividad para las empresas exportadoras mexicanas.

Este artículo fue escrito a partir de diferentes fuentes de información que resumen los principales problemas del transporte comercial hacia Estados Unidos. De esta manera, se construyeron indicadores de infraestructura de los estados fronterizos de México para identificar el potencial de desarrollo que cada uno posee en términos de movilidad de mercancías y personas. El concepto de infraestructura básica de transporte incluye carreteras, puertos, aeropuertos, libramientos, puentes de cruce, patios de revisión, entre otros, que permiten el desarrollo de las actividades económicas y sociales de la región fronteriza.

El artículo se compone de siete apartados incluyendo la presente introducción. El siguiente resume la discusión teórica entre los conceptos de infraestructura y economía; el tercero consiste en un análisis de indicadores de carreteras, ferrocarriles, puertos y aduanas en la frontera de

<sup>1</sup> De acuerdo con estimaciones del Banco de México, en 2020 las exportaciones mexicanas a Estados Unidos representaron el 81.2% del total de sus exportaciones (Banco de México, 2021).

México y Estados Unidos; el cuarto reúne la construcción de los indicadores sintéticos sobre las mismas variables; el quinto resume el modelo de datos panel para identificar el peso de las variables y su consistencia explicativa; el sexto muestra los resultados del modelo y el séptimo las conclusiones.

## 2. Infraestructura y economía en la discusión teórica-metodológica

Entender la relación entre la infraestructura y la economía no parece una tarea fácil cuando sus funciones no son coincidentes en el espacio y el tiempo; salvo que utilicemos un patrón de medición para identificar su correlación: el dinero. Mientras la economía tiene como objetivo producir para satisfacer necesidades de bienes y servicios a precios de mercado, la infraestructura hace posible el desplazamiento de las personas, el soporte de la producción industrial, el abastecimiento de agua a los hogares y tierras de cultivo, la facilitación de llamadas telefónicas y el apoyo a la educación de las nuevas generaciones.

La relación entre estas dos variables no es evidente y sus definiciones no bastan para entender sus contenidos en una relación de dependencia, a menos que transformemos la infraestructura en stock de capital (Zepeda, Carrillo y Ángeles, 2017). La interpretación teórica entre ambas variables despertó el interés de los economistas desde los tiempos de Adam Smith, al observar que el gobierno tiene que construir obras cuyos beneficios no atraen a la inversión privada por su lenta recuperación financiera, pero necesarias para el desempeño de la economía (Ortiz, Jiménez y Cruz, 2019).

Adolph Wagner, economista alemán de finales del siglo XIX, destacó la importancia de la inversión del Estado al crecer el ingreso per cápita de las naciones, lo que incrementa los costos administrativos a través de mayores obras de infraestructura y personal ocupado (Vázquez, 2004). Wagner identificó el potencial de la infraestructura para responder a la expansión propia de la economía, que demanda obras con externalidades positivas para el entorno macroeconómico.

Después de la Segunda Guerra Mundial, los economistas keynesianos consolidaron su pensamiento y atribuyeron al Estado una mayor participación en la economía por medio de inversiones en infraestructura económica, como sistemas de riego, carreteras y puertos, entre otras obras fundamentales para el desarrollo de las naciones, cuyo impacto propiciaría la distribución de la renta (Bustelo, 1999).

Como resultado del estancamiento de la economía estadounidense, en la década de los ochenta del siglo pasado, las investigaciones sobre infraestructura cobraron fuerza en la literatura económica (Vázquez, 2004; Aschauer, 1989). Paralelo a la crisis de infraestructura, Romer (1986) desarrolló la teoría del crecimiento endógeno, la cual hizo hincapié en las externalidades positivas de la infraestructura sobre el crecimiento económico.

Las notas anteriores describen la evolución histórica entre las variables de infraestructura y economía. Sin embargo, no explican si éstas poseen leyes propias, ya que pertenecen a distintas áreas del conocimiento. Mientras la infraestructura adquiere diversas formas para atender las necesidades que demanda la sociedad, la economía responde a otras tantas en atención a la estructura del mercado. Entre ambas, el dinero interviene como la variable explicativa, al convertir la infraestructura en stock de capital para incluirla en la función de producción (Zepeda *et al.*, 2017).

La infraestructura se diversifica en formas y objetivos como carreteras, ferrocarriles, puertos y aeropuertos; pero también como los edificios que conforman el sistema educativo de una nación. Sin duda, la poco visible red de internet es la infraestructura más moderna, que en nada se parece a la red hospitalaria para atender la salud. La mayoría, si no es que todos estos elementos, son construidos por el erario con inversiones multimillonarias y periodos muy prolongados de recuperación, con impactos decisivos en el desempeño económico a través de la industria de la construcción.

Mientras estén mejor construidas, las sociedades podrán transitar a niveles más elevados del desarrollo, pues les facilitará la movilidad, el confort y el comercio de mercancías a menores costos. Perroti y Sánchez (2011: 29) clasifican la infraestructura de acuerdo con su función, de la siguiente manera: “a) infraestructura económica (transporte, energía y telecomunicaciones); b) infraestructura social (presas y canales de irrigación, sistemas de agua potable y alcantarillado, educación y salud); c) infraestructura de medio ambiente, recreación y esparcimiento; y d) infraestructura vinculada a la información y el conocimiento.”

Si bien no hay una construcción teórica que comprima a las dos variables, los estudios empíricos y econométricos sobre el grado de correlación se han diversificado desde la década de los años ochenta, para encontrar respuestas a las necesidades del crecimiento económico. Aschauer (1989) realizó un primer estudio sobre la infraestructura y la economía de Estados Unidos entre 1949 y 1985, usando un modelo Cobb-Douglas que le permitió identificar los efectos del gasto público sobre el sector privado, así como las externalidades positivas de la infraestructura sobre el crecimiento económico.

Aschauer utilizó mínimos cuadrados ordinarios (OLS) como técnica para identificar la correlación entre las variables *stock* de capital público, ingreso nacional, servicios del gobierno, producción del sector privado, capital de trabajo, entre otras, y encontró que hay una relación significativa entre infraestructura y economía. Sus regresiones contribuyeron a explicar que la caída en el *stock* de infraestructura no militar, a mediados de la década de los años setenta, influyó en la productividad de la economía de Estados Unidos (Aschauer, 1989).

Noriega y Fontanela (2007) desarrollaron un proyecto de investigación para identificar los choques de infraestructura sobre la producción real en México y utilizaron derivadas de largo plazo para la infraestructura de carreteras, instalaciones eléctricas y telefonía. Por medio de series de tiempo, identificaron los efectos de largo plazo de la infraestructura sobre la producción en general. Su investigación demostró que las inversiones en infraestructura no son neutrales en el largo plazo, por el contrario, sus coeficientes son estadísticamente significativos para el crecimiento económico.

Los autores elaboraron un modelo tipo Cobb-Douglas donde la infraestructura es un insumo en la producción final, que se financia con impuestos sobre el producto y donde su tasa debe igualarse a la porción del ingreso destinado a la construcción de la misma. Mediante derivadas para periodos de 20 años, identificaron la no neutralidad de la infraestructura de electricidad y carreteras sobre el crecimiento económico. Concluyeron que, durante el periodo estudiado (1950-2003), la infraestructura de electricidad y carreteras no alcanzó los niveles para maximizar el crecimiento económico de México, mientras que los choques en la inversión en telefonía no tuvieron ningún efecto sobre la producción (Noriega y Fontanela, 2007).

Ortiz *et al.* (2019) utilizaron la misma técnica econométrica que Aschauer, pero con un enfoque smithiano para identificar el impacto de la infraestructura sobre el crecimiento económico colombiano. Algunos de los resultados de este estudio indican que el impacto de la infraestructura sobre el crecimiento económico nacional de largo plazo es significativamente mayor que el capital empresarial. El crecimiento económico colombiano ha sido extensivo porque el aporte al crecimiento multifactorial ha sido escaso. Para contrarrestarlo, se requieren mayores inversiones en infraestructura por parte del Estado y el sector privado.

Con el patrocinio del Banco Mundial y los conocimientos aportados por Aschauer, Calderón y Servén (2004) realizaron un estudio de 121 países para buscar explicaciones sobre la relación entre infraestructura y economía. Se propusieron como meta hacer una evaluación de los impactos que tiene la infraestructura sobre el crecimiento y la distribución del ingreso. Con la construcción de indicadores de desigualdad analizaron diversas variables, como el capital humano, el financiamiento, la apertura comercial, la carga gubernamental, la gobernanza, la inflación y la sobrevaluación del tipo de cambio real. Utilizaron un modelo de datos panel y su principal hallazgo reveló que existe una correlación entre crecimiento económico e infraestructura (Calderón y Servén, 2004).

Numerosos trabajos de investigación han incrementado la literatura al respecto, donde los resultados empíricos parten de la relación entre infraestructura y economía o concluyen sobre su significación estadística. Machado y Toma (2017), realizaron un estudio para Perú sobre el crecimiento económico y la infraestructura de transportes y comunicaciones, cuyos resultados son concluyentes sobre la importancia de la infraestructura del transporte y las comunicaciones para el desempeño económico de los países.

El estudio de Zepeda *et al.* (2017), sobre infraestructura portuaria y crecimiento económico regional en México, se compaginó con una diversidad de trabajos de investigación en torno al impacto de la infraestructura en el crecimiento económico regional. Los autores utilizaron un panel de datos y varios modelos de efectos fijos y aleatorios para explicar el impacto de la infraestructura portuaria sobre el crecimiento regional en México. Entre los principales hallazgos del estudio, los autores hacen evidente que las regiones que presentan un menor factor de infraestructura portuaria son también las de menor producto interno bruto (PIB). Para resolver este atraso, se requiere una inversión que permita mejorar la movilidad, los flujos comerciales y la localización industrial.

Con diversas técnicas econométricas se han realizado investigaciones sobre la infraestructura en el desempeño económico. Tal es el caso de la investigación desarrollada por Álvarez, Becerril y Moral (2011), cuyo objetivo consistió en identificar los efectos de la infraestructura sobre la productividad total de los factores para la economía mexicana, utilizando técnicas no paramétricas. Dichos autores calcularon el índice de Malmquist, que permite usar esta metodología y posibilita la descomposición del crecimiento en dos al combinarlo con datos panel: por un lado, los cambios en la eficiencia técnica; y por el otro, los cambios tecnológicos a lo largo del tiempo (Álvarez *et al.*, 2011).

El estudio antes mencionado fue realizado para el periodo de 1970 a 2003. Entre sus principales hallazgos destaca que el deterioro de la productividad fue causado por el modelo de sustitución de importaciones que se prolongó hasta finales de los años ochenta. En este sentido,

el índice de Malmquist demostró que las divergencias entre los estados aumentaron en varios aspectos económicos, lo que propició desigualdades regionales en México.

Fuentes y Mendoza (2003) estudiaron la pérdida de convergencia en el ingreso *per cápita* en México a partir de 1998. Los autores aplicaron un modelo de mínimos cuadrados no lineales para medir la convergencia del crecimiento regional, utilizando la infraestructura como variable explicativa. Con la construcción de indicadores sintéticos con la metodología de Biehl, identificaron desigualdades entre los estados de la república mexicana.

Para estos autores, las infraestructuras ligadas a las actividades productivas explican las disparidades en el ingreso per cápita y, en las regiones más atrasadas, los efectos en el bienestar social (Fuentes y Mendoza, 2003). Con base en estos razonamientos y después de calcular indicadores sintéticos, los autores corrieron un modelo de regresión con el que constataron desigualdades crecientes en infraestructura pública. Entre las conclusiones más apremiantes destaca una *política sostenida* de dotación de infraestructuras como propuesta para reducir las desigualdades regionales.

Los estudios regionales que identifican las potencialidades de la infraestructura en el crecimiento económico han documentado una cantidad importante de problemas de infraestructura sobre la frontera entre México y Estados Unidos; en este esfuerzo de análisis es pertinente mencionar el concepto de *brecha de infraestructura* que identifica las disparidades entre países y regiones (Perroti y Sánchez, 2011). Estas diferencias hacen necesaria la construcción de indicadores (Biehl, 1986) para identificar la calidad, el confort y la competitividad de las regiones en la movilidad de sus habitantes y el desempeño de sus economías.

Con respecto a la infraestructura del transporte, se pueden mencionar algunas notas sobre la investigación de Molina y Mesquita (2016), titulada *Infraestructura y desempeño de las exportaciones en la Alianza del Pacífico*. Los autores comprobaron que los costos del transporte no sólo tienen un impacto significativo sobre el desempeño exportador, sino que juegan un papel importante en la distribución regional de la actividad económica de un país (Molina y Mesquita, 2016). El estudio se realizó sobre cuatro países latinoamericanos: Chile, Colombia, Perú y México. Los autores analizaron distintas variables sobre el desempeño económico, particularmente las exportaciones y la infraestructura, para mitigar los costos de transporte. Mediante un ejercicio econométrico, encontraron que los costos de transporte pueden variar por cada categoría de producto, razón que también se expresa por país. En este ejercicio descubrieron que una reducción del 1% en los costos de transporte propiciaba el incremento de 3.1% en los productos exportados en Chile, el 0.5% en Colombia, el 1.6% en México y el 0.8% en Perú (Molina y Mesquita 2016). Estas diferencias testifican el atraso relativo de la infraestructura de transporte respecto a Chile y los esfuerzos encaminados hacia una mejor posición con los socios del Tratado México – Estados Unidos - Canadá (T-MEC).

Töngür, Türkcan y Ekmen (2020) realizaron un estudio para identificar el rendimiento (*performance*) de la logística en las exportaciones de Turquía. Después de revisar exhaustivamente una serie de estudios sobre la logística de cargas que resumen la relación inversa con los costos de transporte, aplicaron varios modelos dinámicos de panel de datos para calibrar el *performance* de la logística, donde una de las variables utilizadas es el índice de rendimiento logístico (LPI, por sus siglas en inglés), el cual resume las condiciones de la infraestructura de transporte, la

eficiencia aduanera y la calidad del transporte, entre otras variables cuya medición fluctúa entre el uno y el cinco (excelente, muy bueno, bueno, malo y muy malo).

Los autores buscaron la correlación entre estas variables y las exportaciones, las importaciones, el impacto de la crisis económica como una variable dicotómica, el PIB, etc. Los resultados del modelo indican que 1% del desempeño logístico aumentará el valor de las exportaciones del país exportador en alrededor del 8.2% y del 6.9% del país importador (Töngür *et al.*, 2020). Con estos cálculos los autores encuentran que una diversificación de las exportaciones es la clave para los países en desarrollo como Turquía, que demandan una logística capaz de reducir los costos para las empresas locales exportadoras, a fin de que puedan conectarse con éxito en los mercados globales.

Entre los estudios sobre la frontera de México y Estados Unidos, podemos destacar el de Barajas y Gutiérrez (2012), cuyos objetivos consistieron en medir y analizar la importancia de la infraestructura física en el crecimiento económico de los municipios mediante la construcción de indicadores sintéticos y el uso de un modelo de datos panel. Los autores confirmaron que las infraestructuras en energía, transporte y telecomunicaciones son determinantes para el crecimiento de las ciudades fronterizas.

Asimismo, para la región fronteriza, Obregón, Chávez y Betanzo (2014) sometieron a prueba la relación entre la infraestructura del transporte de carretera con la localización de la manufactura en las ciudades de Tijuana y Nuevo Laredo. Después de hacer un resumen de los principales teóricos sobre localización industrial, utilizaron el modelo de MacFaden, cuyos resultados contribuyeron a la mejor localización de las empresas. Sus resultados confirman la importancia de la red de carreteras para alcanzar ese objetivo, ya que conectan los centros de producción con los de consumo.

### **3. Exportaciones e infraestructura fronteriza**

Las exportaciones son un componente relevante de la economía mexicana, especialmente de la frontera norte de México, donde operan el mayor porcentaje de las empresas maquiladoras. Desde la apertura comercial en la década de los años noventa, con la entrada en vigor del TLCAN, se convirtieron en determinantes del crecimiento económico, pues triplicaron el comercio con Estados Unidos y convirtieron a México en el tercer socio comercial de dicho país, después de Canadá y China (Stansel y Tuszynski, 2019).

Hasta antes de ingresar al Acuerdo General de Aranceles y Comercio (GATT, por sus siglas en inglés) en 1986, el promedio de los aranceles se acercaba al 50% del valor de las mercancías (Mendoza, 2018). Con el TLCAN, dicho promedio disminuyó considerablemente, propiciando el crecimiento del comercio exterior. También se eliminaron los permisos de importación y otros instrumentos de protección que hicieron crecer la competitividad de las empresas y generaron cambios radicales en las cadenas de suministro, en la calidad de los productos y el tamaño del mercado nacional.

Las exportaciones mexicanas experimentaron un crecimiento sin precedentes, con un impacto positivo en el comercio exterior con Estados Unidos, cuyo monto total pasó de 135 mil millones de dólares en 1994 a poco más de 500 mil millones en 2017 (Stansel y Tuszynski, 2019).

Lo anterior elevó 3.7 veces más el volumen de mercancías en el comercio exterior de ambas naciones. Las beneficiarias más importantes han sido las empresas transnacionales que operan en México, como la industria automotriz, las cuales poseen el mayor peso en el volumen de exportaciones. El éxito exportador de la economía mexicana propició el superávit comercial con Estados Unidos y el conflicto comercial que posteriormente condujo a la revisión del TLCAN y la firma del T-MEC en 2018.

La eliminación de los aranceles y otros instrumentos de protección fue gradual a lo largo de 15 años (Mendoza, 2018), en atención a la competitividad y el nivel tecnológico de los distintos sectores de la economía mexicana. Se eliminaron por completo los aranceles para aquellos sectores donde la producción nacional era prácticamente inexistente; mientras que los más vulnerables y de menor desarrollo tecnológico experimentaron períodos más prolongados para liberalizarse.

El crecimiento de las exportaciones ha tenido un impacto directo en la frontera norte de México porque el mayor porcentaje del comercio exterior se hace con Estados Unidos. En 2017 significaron el 57% del total de las exportaciones mexicanas (Gómez, 2017; INEGI, 2019). Este alto porcentaje también ha demandado una logística de cargas sin precedentes (Fujimura y Edmonds, 2006; Barbero, 2010; Corrales, 2015), para las exportaciones hacia Estados Unidos, lo que ha generado la necesidad de mejores obras de infraestructura y mayores simplificaciones aduaneras para evitar las demoras en los puentes de cruce internacionales.

Al compaginarse mayores volúmenes de exportaciones con intensas medidas de seguridad, que obligaron a los exportadores a certificarse ante el Departamento de Transporte de Estados Unidos y la autoridad mexicana (Corrales, 2014), se incrementaron las exigencias de mejores obras de infraestructura y facilitación aduanera para el cruce de carga; en particular para el gobierno mexicano, por su mayor volumen de exportaciones hacia Estados Unidos. Esto ha motivado a documentar los problemas del transporte de carga, la infraestructura necesaria y el impacto de las exportaciones en la economía, estudiado por distintos economistas e instituciones de fomento del desarrollo.

Entre estos estudios, destacan las investigaciones del BID y del Banco Mundial (Barbero, 2010; Molina y Mesquita, 2016) cuyas conclusiones enfatizan que la infraestructura y sus servicios son decisivos para el desarrollo del comercio y la economía de un país. Las condiciones de calidad con que operen estas obras determinan los costos de transacción y se expresarán en el precio final de los productos, así como su capacidad competitiva.

Las carreteras, los ferrocarriles, los puertos y los aeropuertos guardan una alta correlación con el transporte de carga, sin la cual no es posible operar. En efecto, *el Informe sobre el comercio mundial* del 2004 muestra que los costos de transporte de los países en desarrollo son en promedio un 70% superiores a los de los países desarrollados (OMC, 2004). Estos costos están determinados por varias causas, entre las que pueden mencionarse las siguientes: 1) mala calidad de carreteras, que incrementa los tiempos de entrega; 2) malas condiciones de los camiones, que incrementan los costos de mantenimiento; 3) revisiones y peaje en puentes de cobro frecuentes; 4) regreso de contenedores vacíos cuando las relaciones de intercambio son asimétricas; 5) poco kilometraje de carreteras, que impide tomar la ruta más corta; y 6) altos niveles de inseguridad, que obligan a pagar seguros más elevados para las cargas.

Los países con costas marítimas incurren en menores costos de transporte para acceder a los mercados internacionales. La infraestructura en estos países varía mucho porque poseen una ventaja relativa al transportar la carga por barco, que hoy día es el medio más rentable para el traslado de contenedores. En términos de costos de transporte por su posición geográfica, los costos de los países que no tienen costas son 55% superiores a los que tienen puertos marítimos (Limão y Venables, 2001). Bolivia es un ejemplo de país en desventaja, pues necesita el servicio de Chile para enviar sus exportaciones por mar.

Para medir la competitividad en infraestructura de carreteras, economistas de la Organización Mundial de Comercio (OMC) construyeron un indicador que asocia el kilometraje por cada 100 km<sup>2</sup> (OMC, 2004). En el informe de la OMC (2004: 129) se indica que “la diferencia de calidad de la infraestructura entre países pobres y ricos es grande. Los datos sobre disponibilidad de carreteras pavimentadas muestran que los países ricos tienen en promedio 13 veces más carreteras pavimentadas por 100 km<sup>2</sup> que los países pobres”. Además de estas disparidades, se calcula que el transporte de carga por tierra cuesta alrededor de siete veces más que por mar; 1 000 kilómetros adicionales por mar añaden en promedio 190 dólares, mientras que por tierra añaden 1 380 dólares al costo de transporte (Limão y Venables, 2001).

Con una superficie de 696 241 km<sup>2</sup>, el estado de Texas es el segundo más grande después de Alaska en Estados Unidos. Tiene una larga frontera con México y gran parte de su población es de origen mexicano; además, posee un comercio internacional intenso por vía terrestre con nuestro país. Texas tiene el mayor kilometraje de carreteras, con 1 095 930 km (680 981 millas), según estadísticas del 2018 (USDOT, 2019). Por cada 100 km<sup>2</sup> posee 157.41 km de carreteras, estadística superior al promedio de Estados Unidos, que en 2018 registró 144.21 (cuadro 1).

**Cuadro 1.** Carreteras por cada 100 km<sup>2</sup> entre ambas naciones y sus estados fronterizos, 2017-2018

| Localización    | Superficie km <sup>2</sup> | km de carreteras | km por cada 100 km <sup>2</sup> |
|-----------------|----------------------------|------------------|---------------------------------|
| Estados Unidos  | 9 857 306                  | 14 215 434       | 144.21                          |
| Texas           | 696 241                    | 1 095 930        | 157.41                          |
| Nuevo México    | 315 194                    | 260 309          | 82.59                           |
| Arizona         | 295 234                    | 234 011          | 79.26                           |
| California      | 423 970                    | 638 361          | 150.57                          |
| México          | 1 964 375                  | 398 149*         | 20.27                           |
| Baja California | 70 113                     | 12 014           | 17.14                           |
| Sonora          | 184 934                    | 25 230           | 13.64                           |
| Chihuahua       | 247 087                    | 13 905           | 5.63                            |
| Coahuila        | 151 571                    | 8 811            | 5.81                            |
| Nuevo León      | 64 555                     | 7 393            | 11.45                           |
| Tamaulipas      | 79 829                     | 14 053           | 17.60                           |

\*Incluye brechas mejoradas, terracería y carreteras revestidas; estadísticas del 2017.

Fuente: Elaboración propia con datos de U.S. Department of Transportation (2019) y Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2010-2016).

Como se puede apreciar, la estadística de Texas es superior al promedio de Estados Unidos; pero al comparar con la segunda sección del cuadro, es notoria la diferencia con México y sus estados fronterizos, cuyo promedio es inferior al nacional, que posee 20.27 km por cada 100 km<sup>2</sup> de superficie. En tales circunstancias, la competitividad por las actividades de transporte y logística de la economía mexicana es 7.2 veces inferior respecto a Estados Unidos, mientras que con Texas es 7.77.

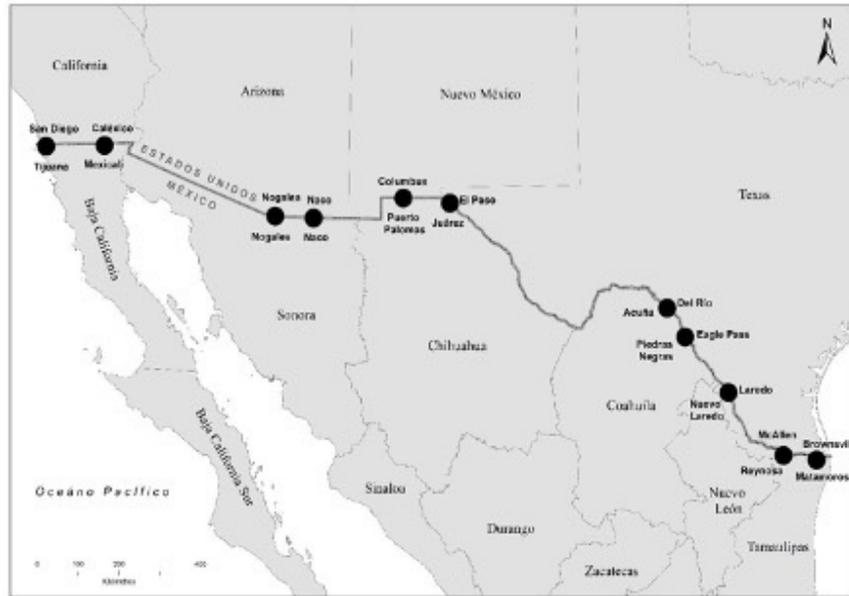
El estado con una mejor posición de carreteras por cada 100 km<sup>2</sup> es Tamaulipas, con 17.60 km. El segundo lugar lo posee Baja California, con 17.14 km de carreteras por cada 100 km<sup>2</sup>. Ambos se encuentran en los extremos en la región fronteriza y poseen un intenso cruce fronterizo hacia Estados Unidos, que demanda la construcción de carreteras para satisfacer las necesidades del comercio internacional. A la carencia de carreteras se suman sus deficiencias. A pesar de la creciente participación de la iniciativa privada para construir carreteras, el costo por transitarlas vía pagos a puentes, las multas y las pólizas de seguros para garantizar la carga, reducen la ventaja competitiva de los exportadores mexicanos.

Por su parte, el transporte ferroviario se ha rezagado considerablemente desde la privatización de los ferrocarriles en México iniciada en 1995. Por ello, ha habido una descoordinación entre el rápido crecimiento de las exportaciones mexicanas y el estancamiento de la infraestructura ferroviaria, lo que ha presionado al crecimiento del transporte carretero. Lo anterior genera limitaciones para el crecimiento del comercio internacional, en especial para las mercancías que tradicionalmente han sido transportadas por ferrocarril, como son las industriales, el petróleo y sus derivados y los minerales. El transporte ferroviario de dichos bienes es comparativamente menos costoso que el del autotransporte, pues puede manejar volúmenes y pesos elevados a costos más bajos. En ese sentido, el sistema ferroviario requiere expandirse para no generar restricciones en el transporte de mercancías (Ramírez, 2013).

Con el TLCAN aumentó el transporte de carga entre las tres naciones, lo que ha demandado construir más carreteras, expandir el sistema ferroviario y mejorar los accesos a los puertos fronterizos. Los cruces se han incrementado porque el comercio entre las partes se realiza principalmente por tierra. Desde 1994, la infraestructura transfronteriza ha cobrado vital importancia para el desempeño de las tres economías; en particular, México registra varios rezagos que se identifican con su nivel de desarrollo, expresándose en mayores costos de transporte y tiempos de espera en los puertos internacionales de cruce. El mapa 1 muestra los principales puertos de entrada a Estados Unidos.

Bradburry (2002) resume varias causas que propician los congestionamientos y sus costos de transacción para cruzar hacia Estados Unidos, en especial, la carencia de carreteras y sus malas condiciones. La autora señala que el marco institucional con el que operan los tres gobiernos impide los procesos de planeación multinacionales. México planifica cada seis años y posee una burocracia que encarece y alarga los procesos de planeación, lo que dificulta mantener el nivel de crecimiento en la infraestructura de transporte.

**Mapa 1. Principales puertos de entrada a Estados Unidos.**



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI.

Dada la importancia de la infraestructura asociada a los cruces fronterizos, que comprende puentes y edificios de aduanas para facilitar la logística del comercio internacional, en 2007 el Banco Mundial inició la elaboración de un índice de percepción que identifica la calidad de la infraestructura, la eficiencia de las aduanas y otras variables explicativas del comercio internacional. Este índice se construye en una escala del uno al cinco para captar las respuestas de los encuestados: excelente, muy buena, buena, mala y muy mala; donde el uno es la peor posición, mientras que el cinco es la excelente.

En 2014 participaron 160 países. Los tres más altos fueron: Alemania, con 4.12; Holanda, con 4.05; y Bélgica, con 4.04. En América Latina, los mejores indicadores fueron para Chile, con 3.26; Panamá, con 3.19; y México, con 3.13, esta puntuación significó para nuestro país una mejor posición con respecto de 2012 (Banco Mundial, 2014) en el rendimiento de la infraestructura, las aduanas y otros servicios asociados al comercio internacional.

Con base en estos indicadores se generan escalas que colocan a los países en distintas posiciones. La posición número uno es para Alemania, la dos para Holanda, la nueve para Estados Unidos y la 12 para Canadá. Chile, Panamá y México se colocaron en las posiciones 42, 45 y 50 respectivamente en el promedio del LPI. El funcionamiento de las aduanas y la infraestructura se miden por separado. En infraestructura, la posición número uno es para Alemania, la dos para Singapur, la cinco para Estados Unidos y la 10 para Canadá. México se encuentra en la posición número 50. Al igual que en la puntuación del LPI (Banco Mundial, 2014), Estados Unidos posee la posición de liderazgo en la región del T-MEC.

El cuadro 2 muestra un comparativo entre Estados Unidos, Canadá y México sobre los resultados de esta encuesta para varios años. Son contrastantes las posiciones de los tres países en el desempeño de su comercio exterior. El ranking para México ha empeorado en los últimos años, a pesar de los esfuerzos tecnológicos para verificar la carga y las inversiones en infraestructura de transporte.

**Cuadro 2.** *Estados Unidos-Canadá-México, Ranking en LPI\*, Aduanas e infraestructura.*

| Años | Estados Unidos |         |        | Canadá |         |        | México |         |        |
|------|----------------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|
|      | LPI            | Aduanas | Infra. | LPI    | Aduanas | Infra. | LPI    | Aduanas | Infra. |
| 2010 | 15             | 15      | 7      | 14     | 13      | 11     | 50     | 62      | 44     |
| 2012 | 9              | 13      | 4      | 14     | 17      | 12     | 47     | 66      | 47     |
| 2014 | 9              | 16      | 5      | 12     | 20      | 10     | 50     | 70      | 50     |
| 2016 | 10             | 16      | 8      | 14     | 6       | 9      | 54     | 54      | 57     |
| 2018 | 14             | 10      | 7      | 20     | 18      | 21     | 51     | 53      | 57     |

\*Logistics Performance Index.

Fuente: Elaboración propia con base en: Banco Mundial (2010, 2012, 2014, 2016, 2018).

Canadá mejoró su posición en 2016, pero al año siguiente empeoró su posición relativa frente a Estados Unidos, tanto en aduanas como en infraestructura. México pasó de la posición 70 en aduanas en 2014, a la 53 en 2018, mientras que en infraestructura cayó 13 posiciones en el ranking. Las diferencias son contrastantes y testifican ventajas para los exportadores canadienses y estadounidenses, que se expresan en beneficios netos para los exportadores. Por tanto, la infraestructura de carreteras y la infraestructura aduanera son indicadores importantes del nivel de cobertura y facilitación del transporte de carga para las exportaciones.

Estos indicadores expresan un ambiente desolador para los exportadores mexicanos y explican los cuellos de botella en las aduanas mexicanas para cruzar la carga a Estados Unidos, con largos tiempos de espera que fluctúan de una hora y media a tres horas (Del Castillo, Peschard-Sverdrup y Fuentes, 2007). Estos tiempos varían en función del horario de cruce y el estado de alerta en las aduanas, que propicia revisiones discrecionales a camiones de carga para detectar drogas y migrantes indocumentados. La conexión de muchas otras variables coloca a las aduanas mexicanas en desventaja, como lo indica el cuadro 2. Construir más infraestructura y mejorar la existente es sólo una estrategia entre otras tantas para facilitar el comercio internacional.

Los tres países que integran el T-MEC tienen capacidades financieras diferentes para encarar las necesidades de infraestructura y aduanas. Mientras Estados Unidos invertía a finales de la década pasada 250 billones de dólares anuales para construir infraestructura, Canadá invertía aproximadamente 12 billones y México raramente excedía los 10 billones por este concepto. De acuerdo con el estudio de Anderson (2008) México necesita invertir el 5% del PIB en infraestructura si quiere mejorar su competitividad, ya que en la actualidad sólo invierte el 1.5% de su PIB, mientras que China, por ejemplo, destina el 9% (Anderson, 2008).

#### 4. Indicadores de infraestructura básica en la frontera norte de México

Para identificar el impacto de la infraestructura en el desarrollo regional, es necesario construir indicadores que resuman el desempeño de las obras con las que cuenta cada región y analizarlos antes de tomar decisiones de inversión. En este apartado, se construyen indicadores de infraestructura del norte de México que servirán para estimar el efecto de la infraestructura de transporte en las exportaciones.

El valor de las inversiones (ajustadas por el deflactor y la depreciación) puede utilizarse como variable para construir los indicadores. No obstante, el costo de la obra no siempre soporta una relación directa con el valor de su servicio (Cancelo y Uriz, 1994; Becerril *et al.*, 2009), el cual varía en función de la topografía, la concentración de la población y la localización de los mercados.

Otra metodología consiste en utilizar las unidades físicas por cada obra de infraestructura y calcular medias aritméticas y geométricas (Biehl, 1986; Becerril *et al.*, 2009) para obtener el indicador. De acuerdo con Becerril *et al.* (2009: 386):

La mayor ventaja de los indicadores en términos físicos radica en que, además de evitar el problema de la sobreestimación, proporcionan una riqueza informativa muy útil para valoraciones en detalle. Sin embargo, la construcción de índices físicos de infraestructuras plantea el problema del tratamiento de las unidades de medida, la ponderación asignada a cada componente del índice y el establecimiento de la forma de agregación (Becerril *et al.*, 2009: 386).

Delgado y Álvarez (2001) aseguran que los dos métodos pueden ser complementarios. En esta investigación utilizamos medidas físicas de las obras de infraestructura para el transporte, el cual se compone de carreteras, ferrocarriles, puertos y aeropuertos. En los dos primeros se selecciona la información en kilómetros lineales; mientras que, en los dos últimos, en metros cuadrados. La metodología para calcular los índices parte de seleccionar las obras  $W_{ij}$ , donde  $W$  es la variable infraestructura e  $i$  es la obra específica que posee la región  $j$ . Posteriormente se procede a reducir el efecto tamaño a través de la superficie o la población.

Para conocer el efecto del indicador sobre la economía regional, se requiere relativizar respecto a la región que posee el indicador más elevado; en este caso, el estado que concentra la mejor dotación de infraestructura. Con datos originales depuramos el efecto tamaño.

$$d_{ij} = (W_{ij}/S_j) * 100 \quad (1)$$

$$d_{ij} = (W_{ij}/P_j) * 100 \quad (2)$$

$S_j$  y  $P_j$  son la superficie y la población de la región. El cálculo de estas variables no comparables necesita un proceso de normalización a través de la variable con el más alto valor (Delgado y Álvarez, 2001).

$$S_{ij} = (d_{ij}/d_{imax.}) * 100 \quad (3)$$

Donde:

$S_{ij}$ , es dato normalizado para la obra  $i$  de la región  $j$ .

$d_{ij}$ , es la dotación de infraestructura relacionada con la población o la superficie de la obra  $i$  para la región  $j$ .

$dimax$ , es la dotación de infraestructura relacionada con la población o superficie de la categoría  $i$  de la región mejor equipada.

Una vez realizados los cálculos, pueden introducirse ponderaciones mediante medias aritméticas para variables sustitutivas, como ferrocarriles y carreteras, y geométricas para las que no lo son, como electricidad y aeropuertos (Delgado y Álvarez, 2001). En el cuadro 3 se aprecian las estadísticas de infraestructura de transporte. En términos absolutos, Sonora es el más importante en carreteras, Chihuahua en ferrocarriles, Tamaulipas en aeropuertos y Chihuahua en puertos. La ventaja de Tamaulipas en aeropuertos se explica porque posee más ciudades que el resto de los estados y cada una tiene un aeropuerto. La posición de Chihuahua en ferrocarriles es explicable por su tamaño y porque cuenta con varios cruces fronterizos de ferrocarriles.

**Cuadro 3.** *Región fronteriza, estadísticas sobre infraestructura de transporte, 2018.*

| Localización    | Carreteras, km* | Ferrocarriles, km | Aeropuertos, m <sup>2**</sup> | Puertos, m <sup>2**</sup> |
|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------------------|---------------------------|
| México          | 407 959         | 26 914            | 17 944.11                     | 4 770.74 <sup>e</sup>     |
| Frontera        | 81 489          | 9 215.1           | 4 008.67                      | 211.16                    |
| Baja California | 12 043          | 282.3             | 636.79                        | 43.98                     |
| Sonora          | 25 278          | 2 008.4           | 773.27                        | 14.33                     |
| Chihuahua       | 13 899          | 2 677.7           | 674.98                        | 78.62                     |
| Coahuila        | 8 817           | 2 218.1           | 248.15                        | 7.64                      |
| Nuevo León      | 7 398           | 1 091.9           | 603.15                        | 17.31                     |
| Tamaulipas      | 14 054          | 936.7             | 1 072.33                      | 49.29                     |

\* Incluye todo tipo de carreteras y caminos vecinales, \*\* en miles, <sup>e</sup> solo incluye puertos marítimos.

Fuente: Elaboración propia con datos de: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Anuario Estadístico (2018) e INDABBIN.

La estadística del cuadro 3 consiste en insumos para calcular los indicadores, cuyos resultados se resumen en el cuadro 4 con los cuatro indicadores de infraestructura básica. En carreteras, Tamaulipas tiene la mejor posición relativa, a pesar de su menor número de kilómetros en comparación con Sonora. Baja California se encuentra en segundo lugar con 97.57%. Nuevo León tiene la mejor infraestructura de ferrocarriles, seguido de Coahuila, con 86.52%. En puertos, Chihuahua sobresale por encima de los demás; le sigue Tamaulipas en un retirado segundo lugar, con 64.71%, a pesar de ser la principal región de cruce de nuestro comercio internacional. En aeropuertos, la mejor posición es de Tamaulipas. En segundo lugar, se encuentra Baja California con 85.10%.

**Cuadro 4.** Indicadores de infraestructura básica para estados fronterizos, 2018.

| Estados         | Carreteras | Ferrocarriles | Puertos | Aeropuertos |
|-----------------|------------|---------------|---------|-------------|
| Baja California | 97.57      | 23.80         | 57.92   | 85.10       |
| Sonora          | 77.64      | 64.21         | 22.62   | 95.49       |
| Chihuahua       | 31.95      | 64.07         | 100.0   | 84.77       |
| Coahuila        | 33.04      | 86.52         | 11.31   | 64.60       |
| Nuevo León      | 65.09      | 100.0         | 15.38   | 72.31       |
| Tamaulipas      | 100.0      | 69.37         | 64.71   | 100.0       |

Fuente: Elaboración propia con datos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2018) e INDAABIN.

Por estados, Tamaulipas posee los mejores indicadores porque es líder en carreteras y aeropuertos, Nuevo León lo es en ferrocarriles y Chihuahua en puertos. Los estados fronterizos que tienen desventaja relativa son Baja California, Sonora y Coahuila, por su menor posición relativa de los cuatro indicadores de infraestructura analizados. Estos indicadores son un referente para identificar posiciones de competitividad en los servicios de logística y transporte. A la postre, son útiles para proponer políticas selectivas de construcción y mantenimiento.

Baja California y Sonora están bien dotados de carreteras, pero poseen desventaja en ferrocarriles, en especial la primera. Si bien los indicadores no dan cuenta de la calidad de las obras, testifican la posición de los estados fronterizos en esta importante actividad del comercio internacional y la movilidad de sus habitantes. Las desigualdades que se observan a través de sus indicadores sugieren la necesidad de buscar el equilibrio en la dotación de infraestructura.

Las carreteras hacia los estados fronterizos poseen diferencias en kilometraje, así como en calidad hacia los puertos de entrada a Estados Unidos. El modesto indicador sobre carreteras en la frontera norte contrasta con un fuerte aforo de camiones en dirección a Nuevo Laredo, Tamaulipas, por donde cruza el 40% del comercio con Estados Unidos (cuadro 1), lo que provoca congestionamientos similares a los de otras ciudades de intenso cruce fronterizo, como Tijuana y Ciudad Juárez. Tamaulipas es el estado mejor dotado en carreteras (cuadro 3). La ciudad de Reynosa posee la mejor posición con múltiples conexiones hacia Monterrey, desde Ciudad Acuña a Matamoros y hacia sus puentes internacionales.

Después de los atentados del 11 de septiembre del 2001, las medidas de seguridad fronteriza pasaron al primer nivel en las políticas de Estados Unidos, por lo que aumentaron las revisiones y los tiempos de espera. Para evaluar el impacto de este fenómeno, se hicieron varias investigaciones con levantamiento de encuestas, donde 78.9% de los transportistas de Nuevo Laredo hicieron énfasis en las largas colas. Lo mismo ocurrió con 58.9% de los transportistas de Nogales, Sonora, por donde cruzan hortalizas frescas de Sinaloa. Otro énfasis de los encuestados consistió en la falta de infraestructura y medidas administrativas-aduaneras para facilitar el cruce fronterizo (Del Castillo *et al.*, 2007).

En este estudio se aplica un modelo econométrico que busca identificar cuál de las infraestructuras de transporte necesita mayores inversiones para facilitar el cruce de carga hacia

Estados Unidos. Con el análisis de los indicadores sintéticos pudimos identificar las diferencias entre los estados fronterizos. Utilizamos estos mismos indicadores en un modelo de datos panel y los contrastamos con el PIB regional y sus exportaciones. En los apartados 2 y 3 se describieron importantes hallazgos sobre infraestructura y se identificó la necesidad de mejores carreteras, aduanas y otras obras de infraestructura para competir con Estados Unidos. Para profundizar estos resultados, en el siguiente apartado se desarrolla un modelo econométrico con datos de panel para buscar explicaciones más detalladas sobre la posición competitiva actual en infraestructura de transporte.

### **5. Efecto de la dotación de infraestructura en las exportaciones estatales de la región Frontera norte**

Con la finalidad de analizar la relación entre la dinámica de las exportaciones de los estados de la frontera norte de México con la dotación de infraestructura en dichos estados, se estableció un modelo econométrico de datos de panel para el periodo 2007-2017. La importancia de la metodología empleada permite considerar los efectos regionales de la infraestructura de comunicación en la dinámica de las exportaciones de la frontera. El modelo permite obtener más información, al considerar tanto los datos de sección cruzada como los datos en el tiempo, lo que enriquece el análisis econométrico. Asimismo, se obtienen más grados de libertad, menor colinealidad y una mayor eficiencia. El presente estudio aplica el modelo de panel al estudio del impacto de las diferentes infraestructuras de comunicación en las exportaciones de los estados fronterizos, con el fin de estimar la importancia de la dotación de infraestructura en las exportaciones de esa región.

A fin de minimizar los sesgos de las estimaciones, se evaluará qué tipo de efectos se pueden modelar. Los efectos fijos asumen que las observaciones individuales en el grupo y tiempo tienen diferentes interceptos, mientras que los efectos aleatorios consideran que las observaciones en el grupo y tiempo tienen diferentes perturbaciones. El modelo de efectos fijos trata de controlar los sesgos de la heterogeneidad individual de una unidad de análisis. Por su parte, los efectos aleatorios son útiles cuando las variaciones entre unidades de análisis no se correlacionan con la variable independiente y son aleatorias, por lo que podrían existir variaciones en el tiempo de las características de la unidad de análisis.

Con el objeto de determinar cuál modelo es más apropiado, se calcularán las pruebas de Hausman y de Breusch-Pagan. La hipótesis nula de la prueba de Hausman evalúa si los efectos fijos o aleatorios están correlacionados con otros regresores. Si se rechaza la hipótesis nula los efectos aleatorios son inconsistentes y sesgados, por lo que el modelo de efectos fijos es el indicado. Por su parte, la hipótesis nula de la prueba Breusch-Pagan asume que las varianzas entre las unidades son iguales a cero. Si la hipótesis no se rechaza, deberá estimarse el modelo de efectos aleatorios.

El objetivo del modelo econométrico es estimar el impacto de los índices de infraestructura de carreteras, vías férreas y aeroportuarias, y una variable de control en el crecimiento de las exportaciones es el PIB. La metodología econométrica se basa en la estimación de un modelo de panel con efectos fijos y aleatorios y se estableció en logaritmos, con el objetivo de mostrar el

cambio porcentual de la variable dependiente debido a un cambio en las variables explicativas. Con base en esta especificación, la ecuación empírica del modelo se presenta de la siguiente manera:

$$LN(X_{it}) = (\beta_0 + \lambda_i) + \beta_1 LN(IC_{1it}) + \beta_2 LN(IF_{2it}) + \beta_3 \ln(IA_{3it}) + \beta_4 LN(PIB_{4it}) + \beta_5 LN(FBCF_{5it}) + v_{it}$$

$$i = 1...6, t = 4 \quad (4)$$

Donde:

$LN$ , es la transformación logarítmica.

$\lambda_i$ , son los efectos individuales en el término de error ( $\epsilon_{it} = \lambda_i + v_{it}$ ).

$X$ , son las exportaciones estatales  $i$  en el tiempo  $t$ .

$IC$ , es el **índice de infraestructura carretera**.

$IF$ , es el **índice de infraestructura ferroviaria**.

$IA$ , es el **índice de infraestructura aeroportuaria**.

$PIB$ , es el producto interno bruto estatal.

$FBCF$ , es la formación bruta de capital fijo al nivel estatal.

En adición, se estimó un modelo de panel dinámico. La principal diferencia de los modelos de panel dinámicos con respecto a los modelos de panel estáticos es que los primeros tienen mayor contenido de información, pues permiten estimar los efectos de las variables explicativas en la variable dependiente, en el corto y largo plazo.

El modelo de panel dinámico incluye como regresores a los niveles rezagados de la variable dependiente. Esta técnica viola la exogeneidad estricta debido a la asociación de la variable dependiente rezagada con el error. Por ello, el modelo de Arellano-Bond toma las primeras diferencias de la regresión para eliminar los efectos individuales y toma los rezagos de la variable dependiente. El modelo utiliza el método generalizado de momentos y variables instrumentales. La especificación formal del modelo se presenta de la siguiente manera:

$$LN(X_{it}) = (\beta_0 + \lambda_i) + \delta X_{it-1} + LN\beta_1(IC_{1it}) + \beta_2 LN(IF_{2it}) + \beta_3 LNIA_{3it}) + \beta_4 LN(PIB_{4it}) + \beta_5 LN(FBCF_{5it}) + v_{it}$$

$$(5)$$

Donde  $i = 1...n$

Tomando la primera diferencia de la ecuación 5, para eliminar el efecto individual resulta en:

$$LN(\Delta X_{it}) = X_{it} - X_{it-1} = \Delta(\beta_0 + \lambda_i) + \Delta\delta X_{it-1} + LN\beta_1(\Delta IC_{1it}) + \beta_2 LN(\Delta IF_{2it}) + \beta_3 \ln(\Delta IA_{3it}) + \beta_4 \ln(\Delta PIB_{4it}) + \beta_5 LN(\Delta FBCF_{5it}) + \Delta v_{it}$$

$$(6)$$

La estimación del modelo de panel dinámico utiliza al estimador *one-step* de Arellano-Bond, con base al método generalizado eficiente de momentos. La base de datos para la estimación econométrica de los modelos de panel se compone de las siguientes variables: el producto interno

bruto (base 2018) y la formación bruta de capital fijo de los seis estados fronterizos 2007-2017. Las exportaciones estatales en millones de dólares para el mismo periodo fueron obtenidas del *Banco de Información Económica* del INEGI; mientras que los indicadores de carreteras, ferrocarriles y aeropuertos fueron obtenidos del *Anuario Estadístico* de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

## 6. Resultados de la estimación econométrica con datos de panel

Se estimaron dos modelos de efectos fijos y efectos aleatorios con el fin de determinar cuál de los dos es más apropiado para presentar los resultados de las estimaciones. Asimismo, se realizaron pruebas para decidir qué modelo de panel es más apropiado para la base de datos existente. La prueba Breusch-Pagan se basa en la hipótesis nula que considera a las varianzas entre las unidades iguales a cero y no es rechazada, indicando que el modelo de efectos aleatorios es preferible para estimaciones de datos agrupados (cuadro 5).

**Cuadro 5.** Prueba de Breusch-Pagan del multiplicador Lagrangeano para efectos aleatorios.

| Resultados de las estimaciones  |       |               |
|---|-------|---------------|
|   | Var   | sd =sqrt(var) |
| X   | 0.134 | 0.366         |
| E   | 0.033 | 0.181         |
| U   | 0.001 | 0.000         |
| Prueba: $\text{Var}(u) = 0$   |       |               |
| Prob >chibar2 = 1   |       |               |
| LNGDP = LNPIB, LNFBCF= formación bruta de capital fijo, LNIC = indicador carretero, LNIF= indicador ferroviario, LNIA= indicador aeroportuario. |       |               |
| Fuente: Elaboración propia.   |       |               |

En adición, se realizó la prueba de Hausman. Dicha prueba compara los coeficientes estimados de los dos modelos para corroborar si la hipótesis nula (que plantea que los efectos aleatorios no están correlacionados con las variables explicativas) se cumple y, por lo tanto, los efectos aleatorios y los fijos no difieren significativamente. Los resultados del estadístico chi-cuadrado no rechazan la hipótesis nula, sugiriendo que el modelo de efectos fijos es el apropiado para realizar estimaciones del modelo panel (cuadro 6).

**Cuadro 6. Prueba de Hausman para efectos aleatorios correlacionados**

| Pruebas comparativas de efectos aleatorios de sección cruzada   |           |            |           |
|---|-----------|------------|-----------|
| Variable  | Fijos     | Aleatorios | Var(Dif.) |
| GDP   | 0.4260412 | 0.4112496  | 0.04794   |
| FBCF  | -0.3273   | -0.248     | -0.078    |
| IC  | 2.807     | -2.173     | 0.634     |
| IF  | -0.236    | 0.173      | -0.41     |
| IA  | 0.4557652 | -0.005     | 0.4613    |
| hipótesis nula: la diferencia de los coeficientes no es sistemática   |           |            |           |
| Prob chi cuadrada = 0.1024  |           |            |           |
| GDP = PIB, FBCF= Formación Bruta de Capital Fijo, IC = indicador carretero, IF= indicador ferroviario, IA= indicador aeroportuario. |           |            |           |
| Fuente: Elaboración propia.   |           |            |           |

**Cuadro 7. Estimaciones de panel. Variable dependiente: exportaciones de los estados fronterizos, 2007-2017.**

| 66 observaciones, 6 grupos  |          |                      |          |
|---|----------|----------------------|----------|
| Efectos fijos   |          | Efectos aleatorios   |          |
| C   | 3.560    | C                    | 17.694   |
|   | 0.340    |                      | 2.433    |
| LNPIB   | 0.41 **  | PIB                  | 0.426 *  |
|   | 1.930    |                      | 0.432    |
| LNFBFCF   | -0.248 * | FBCF                 | -0.327 * |
|   | -5.33    |                      | -5.73    |
| LNIA  | -0.005   | IA                   | 0.455    |
|   | 0        |                      | 1.260    |
| LNIC  | 2.800**  | IC                   | -0.521 * |
|   | 1.861    |                      | -4.55    |
| LNIF  | 0.173    | IF                   | -0.236 * |
|   | 0.250    |                      | -2.653   |
| R cuadrada (within)   | 0.375    | R cuadrada (within)  | 0.469    |
| R cuadrada (between)  | 0.159    | R cuadrada (between) | 0.411    |
| R cuadrada (overall)  | 0.104    | R cuadrada (overall) | 81.260   |
| F-statistic   | 11.580   | Wald chi2(5)         | 8.161    |
| Prob>F  | 0.000    | Prob>chi2            | 0.000    |
| F(5,55)   | 6.6      | F(5,55)              | 1.91     |
| *Estadísticamente significativo al 1% del nivel de confianza, ** al 5 del nivel de confianza. Todas las variables se transformaron a logaritmos. LNPIB= producto interno bruto, LNFBFCF= formación bruta de capital fijo, IA= indicador de aeropuertos, IC= indicador de carreteras, IF = indicador de ferrocarriles. |          |                      |          |
| Fuente: Elaboración propia.   |          |                      |          |

Los resultados del análisis de los modelos de panel mostraron un nivel adecuado de explicación de acuerdo con la R cuadrada, tanto del modelo de efectos fijos como el modelo de efectos aleatorios. La variable del PIB real presentó un coeficiente positivo y estadísticamente

significativo al 1% de confianza. El resultado corrobora que el crecimiento económico está positivamente relacionado con las exportaciones en la región de la frontera norte de México. El coeficiente de la variable de control de la formación bruta de capital fijo mostró un signo negativo y significativo, donde ambos sugieren que la falta de capital fijo en los estados de la frontera genera problemas para impulsar el proceso de exportaciones (cuadro 7).

Por su parte, el índice de infraestructura carretera mostró un coeficiente positivo y estadísticamente significativo en el modelo de efectos fijos y negativo en el modelo de panel aleatorio. En la medida que el modelo de efectos fijos es el que se considera más apropiado para la estimación, los resultados sugieren un efecto positivo del sistema carretero de los estados de la frontera en sus exportaciones. En lo que toca a la infraestructura aeroportuaria, se obtuvo un coeficiente negativo en ambos modelos, siendo también estadísticamente no significativo. Se aprecia que la infraestructura aeroportuaria no ha sido un factor importante en la expansión del comercio entre México y Estados Unidos. Aun con las mejoras de los aeropuertos de las ciudades fronterizas, éstos no han logrado tener efectos favorables en el comportamiento de las exportaciones en México. Finalmente, el indicador de infraestructura ferroviaria mostró un coeficiente negativo y estadísticamente significativo en el modelo de efectos aleatorios. Ello corrobora que la relativamente menor dotación de una infraestructura ferroviaria comparada con la de carreteras, no ha sido un factor que haya apoyado significativamente la expansión del comercio de México con Estados Unidos. Las estimaciones confirman la limitada capacidad de infraestructura ferroviaria para promover un mayor volumen de exportaciones de los estados fronterizos hacia los puertos en México.

Adicionalmente, se aplicó un modelo de panel dinámico para incluir retrasos en la variable exportaciones como regresores para poder analizar el efecto dinámico del comportamiento de la variable exportaciones. Con el fin de verificar si el modelo de panel dinámico tiene problemas de correlación serial de los residuos diferenciados, se aplicó la prueba del estimador de Arellano-Bond. Las estimaciones de dicha prueba no muestran evidencia de correlación en la primera diferencia de los errores AR(1), por lo que se considera que el modelo es adecuado (cuadro 8). Asimismo, se estimó la prueba de Sargan para investigar si existen restricciones de sobre identificación de los instrumentos exógenos. Los valores  $p$  del estadístico de Sargan fueron de 0.66 para un rezago, de 0.66 para dos rezagos y de 0.74 para tres rezagos, por lo que se considera que el modelo tiene instrumentos que son exógenamente válidos.

**Cuadro 8. Prueba de Arellano-Bond de autocorrelación y prueba de Sargan de heterocedasticidad.**

| Rezagos      | Prueba de autocorrelación de la primera diferencia de los errores |        |        | Prueba de Sargan de sobre identificación de restricciones |           |
|--------------|---|--------|--------|---|-----------|
|              | Orden   | Z      | Prob>z | Chi   | Prob>chi2 |
| Un rezago    | 1   | -2.112 | 0.034  | 19.754  | 0.657     |
|              | 2   | -1.041 | 0.297  |   |           |
| Dos rezagos  | 1   | -2.178 | 0.0293 | 16.955  | 0.659     |
|              | 2   | -1.596 | 0.115  |   |           |
| Tres rezagos | 1   | -2.292 | 0.0219 | 33.806  | 0.744     |
|              | 2   | -1.326 | 0.186  |   |           |

Hipótesis nula de la prueba Arellano-Bond: no existe correlación en los errores diferenciados de orden 1.  
 Hipótesis nula de la prueba de Sargan: Las restricciones de sobre-identificación son válidas.  
 Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de las estimaciones del panel dinámico al utilizar tres rezagos muestran un coeficiente positivo del PIB al 1% del nivel de confianza, corroborando la importancia de dicha variable. Adicionalmente, el indicador del sistema carretero de los estados de la frontera norte mostró un coeficiente positivo en los tres rezagos y estadísticamente significativo, pero con un valor notoriamente menor. Finalmente, la variable de formación bruta de capital fijo reveló un signo positivo y estadísticamente significativo, lo que sugiere la posibilidad de efectos positivos de la formación bruta de capital fijo rezagados en el tiempo (cuadro 9).

Por tanto, es posible deducir que el sistema carretero ha sido el medio de transporte fundamental que ha permitido un crecimiento de las exportaciones de los estados fronterizos de México. Sin embargo, tanto el sistema ferroviario como el aeroportuario no han sido factores determinantes de apoyo logístico a la expansión del comercio en México.

**Cuadro 9.** Estimaciones de panel dinámico. Variable dependiente: exportaciones de los estados fronterizos, 2007-2017.

| 66 observaciones, 6 grupos |   |                                      |                                      |
|----------------------------|---|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Variabales                 | Rezago 1 en la variable instrumental <sup>1</sup> | Rezago 2 en la variable instrumental | Rezago 3 en la variable instrumental |
| C                          | 6.910   | 6.900                                | 6.910                                |
|                            | 0.000   | 0.000                                | 0.000                                |
| LNPIB                      | 0.97 *  | 0.96 *                               | 0.97 *                               |
|                            | 0.000   | 0.008                                | 0.003                                |
| LNFBFC                     | 0.003   | 0.001                                | 0.002 *                              |
|                            | 1.32  | 0.61                                 | 1.69                                 |
| LNIA                       | -0.005  | -0.008                               | 0.007                                |
|                            | 0.151   | -1.020                               | -0.84                                |
| LNIC                       | 0.001 **  | 0.000                                | 0.002 *                              |
|                            | 1.91  | 1.53                                 | 2.321                                |
| LNIF                       | -0.006  | -0.006                               | 0.007                                |
|                            | -0.240  | -0.430                               | 0.032                                |
| Número de instrumentales   | 49  | 47                                   | 42                                   |
| Wald chi2(8) =             | 0.002   | 0.001                                | 0.001                                |
| Prob > chi2                | 0.000   | 0.000                                | 0.000                                |

<sup>1</sup> Variable instrumental X/PIB (% exportaciones del PIB).  
 Todas variables fueron transformadas logarítmicamente.  
 \* Estadísticamente significativa al 1% del nivel de confianza, \*\* Estadísticamente significativa al 5% del nivel de confianza, LNPIB = producto interno bruto, FBCF = formación bruta de capital fijo, LNIA = indicador de aeropuertos, LNIC= indicador de carreteras, LNIF = indicador de ferrocarriles.  
 Fuente: Elaboración propia.

## 7. Conclusiones

Los indicadores de infraestructura analizados colocan a la frontera norte de México en desventaja frente a Estados Unidos e identifican capacidades diferentes para atender las necesidades de la logística de cargas y sus exportaciones. Determinados por el peso específico de las exportaciones, los indicadores de carreteras, ferrocarriles y aeropuertos de la frontera norte registran un impacto significativo en el comercio exterior, pero no explican los cuellos de botella con sus largas filas en las aduanas mexicanas.

La evidencia empírica testifica que no basta demostrar la relación positiva y significativa entre infraestructura y crecimiento económico, es necesario estudiar la brecha entre países y regiones para encontrar soluciones a la competencia por los mercados. Si bien el norte de México se encuentra mejor posicionado por sus obras de ingeniería de carreteras, libramientos y puentes de cruce, éstas son insuficientes para atender las necesidades del crecimiento de las exportaciones hacia Estados Unidos.

Por su parte, el modelo econométrico con datos de panel sugiere que el rezago relativo de la infraestructura, particularmente en el sistema ferroviario nacional, ha impactado de forma negativa la posibilidad de expansión de las exportaciones de México. Por ello, es conveniente impulsar programas tendientes a desarrollar el transporte de carga ferroviario y consolidar las redes de carreteras que se dirigen hacia la frontera norte de México. Asimismo, el sistema de puertos en los estados fronterizos, tanto por el limitado espacio de carga como por el tipo de exportaciones, tampoco ha logrado influir positivamente en las exportaciones de la región.

De esta manera, deben sumarse esfuerzos no solamente en ampliar el financiamiento para la construcción y ampliación de infraestructura. Debe buscarse eliminar las ineficiencias que se encuentran en los factores institucionales del funcionamiento de las aduanas, pues provocan mayores tiempos de espera y se expresan en los costos del transporte, como son las medidas extremas de seguridad nacional.

Construir los módulos de revisión fuera de la mancha urbana podría ser una solución a largo plazo, que obligará a introducir medidas de seguridad para llevar la carga hasta los puentes de peaje, donde consumirán tiempo para el pago de la cuota, particularmente ahí donde no existe el servicio electrónico de cruce. Esta estrategia estará determinada por las presiones de la competencia y la necesidad de reducir los costos de transporte y cruce fronterizo.

Una solución para los cruces entre México y Estados Unidos puede ser que las empresas tengan la posibilidad de monitorear los tiempos de cruce a través de internet. Los sistemas electrónicos y de inteligencia satelital serán necesarios para los transportistas; sin su uso, no habrá cambios en la infraestructura del transporte y los tiempos de espera continuarán como una constante, a pesar de que se construyan más libramientos, puentes y otras vías de acceso a los puentes de cruce.

## Referencias

- Anderson, N. 2008. "The Future of North America, 2025: Outlook for Infrastructure", en A.B. Peschard, *The Future of North America 2025: Outlook and Recommendations*, Washington D. C., USA, Center for Strategies.
- Aschauer, D.A. 1989. *Is public expenditure productive?*, Federal Reserve Bank of Chicago, IL 60, 690.
- Álvarez, I.C., O.U. Becerril y L.E. Moral. 2011. "The effect of infrastructures on total factor productivity and its determinants: a study of Mexico", *Estudios Económicos*, 26 (51): 97-122.
- Banco Mundial. 2010. *Connecting to Compete 2010: Trade Logistics in the Global Economy-The Logistics Performance Index and Its Indicators*, en: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/24599>

- ● ● ●
- Banco Mundial. 2012. *Connecting to Compete 2012: Trade Logistics in the Global Economy*, en: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/12689>
- Banco Mundial. 2014. *Connecting to Compete 2014: Trade Logistics in the Global Economy- The Logistics Performance Index and Its Indicators*, en: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/20399>
- Banco Mundial. 2016. *Connecting to Compete 2016: Trade Logistics in the Global Economy- The Logistics Performance Index and Its Indicators*, en: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/24598>
- Banco Mundial. 2018. *Connecting to Compete 2018: Trade Logistics in the Global Economy*, en: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/29971>
- Barbero, José A. 2010. "La logística de cargas en América Latina y el Caribe, una agenda para mejorar su desempeño", *Integración y Comercio*, Banco Interamericano de Desarrollo, No. 31: 63-70,
- Barajas, H. y L. Gutiérrez. 2012. "La importancia de la infraestructura física en el crecimiento económico de los municipios de la frontera norte", *Estudios fronterizos*, 13 (25): 57-88.
- Banco de México. 2021. *Sistema de Información Económica, Exportaciones de mercancías por países*, en <https://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?accion=consultarCuadroAnalitico&idCuadro=CA7&sector=1&locale=es>
- Becerril, O., I. Álvarez, L.E. del Moral y R. Vergara. 2009. "Indicador de infraestructuras productivas por entidad federativa en México, 1970-2003", *Gestión y Política Pública*, XVIII (2): 379-438.
- Biehl, D. 1986. *The contribution of infrastructure to the regional development, final report of the infrastructure study group document*, Commission of the European Communities, parts I and II, Office for the Official Publications of the European communities, Luxemburgo.
- Bradburry, S.L. 2002. "Planning transportation corridors in post-NAFTA North America", *Journal of the American Planning Association*, 68 (2): 137-150.
- Bustelo, P. 1999. *Teorías contemporáneas del desarrollo económico*, Editorial Síntesis, España.
- Calderón, C. y L. Servén. 2004. *The Effects of Infrastructure Development on Growth and Income Distribution*, Washinton D.C., Banco Mundial.
- Cancelo, J.R. y P. Uriz. 1994. "Una metodología general para la elaboración de índices complejos de dotación de infraestructuras", *Estudios Regionales*, 40: 167-188.
- Corrales, S. 2014. "Infraestructura y facilitación aduanera México Estados Unidos", *Revista Integración y Comercio*, 38: 65-71.
- \_\_\_\_\_. 2015. *Economía e infraestructura en la frontera noreste de México*, Tijuana, El Colegio de la Frontera Norte.
- Delgado, M. e I. Álvarez. 2001. "Metodología para la elaboración de índices de equipamientos de infraestructuras productivas", *Momento Económico*, 117: 20-34.
- Del Castillo, G., A. Peschard-Sverdrup y N.A. Fuentes (coordinadores). 2007. *Estudio de Puertos de Entrada México-Estados Unidos: Análisis de Capacidades y Recomendaciones para Incrementar su Eficiencia*, Tijuana, El Colegio de la Frontera Norte.
- Fuentes, N.A. y J.E. Mendoza. 2003. "Infraestructura pública y convergencia regional en México 1980-1998", *Comercio Exterior*, 53 (2): 178-187.

- Fujimura, M. y C. Edmonds. 2006. *Impact of Cross-border Transport Infrastructure on Trade and Investment in the GMS*, Asian Development Bank Institute, Hawaii, Manoa.
- Gómez C. 2017. "Perspectivas del Comercio México-Estados Unidos ante el resurgimiento del proteccionismo y la renegociación del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN)", *Revista CIMEXUS*, XII (1): 81-100.
- INDAABIN, *Listado de Puertos Fronterizos y Centros de Atención Integral al Tránsito Fronterizo*, Instituto de Administración y Avalúos de Bienes Nacionales, en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/213123/pf\\_cait.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/213123/pf_cait.pdf)
- INEGI, 2019. *Exportaciones por entidad federativa*, en: <https://www.inegi.org.mx/temas/exportacionesef/#Tabulados>
- Limão, N. y Anthony J. Venables. 2001. "Infrastructure, Geographical Disadvantage, Transport Costs, and Trade", *The World Bank Economic Review*, 15 (3): 451-479.
- Machado, R. y H. Toma. 2017. "Crecimiento económico e infraestructura de transportes y comunicaciones en el Perú", *Economía*, XXXIX (78): 9-46.
- Mendoza, E. 2018. "Economic integration in North America: Changes in US trade policy and the effects on Texas regional exports to Mexico", *Mission Foods Texas-Mexico Center*, 10.
- Molina, C. y M. Mesquita. 2016. *Infraestructura y desempeño de las exportaciones en la Alianza del Pacífico*, Banco Interamericano de Desarrollo, Washington D.C.
- Noriega, A. y M. Fontanela. 2007. "La Infraestructura y el crecimiento económico en México", *El Trimestre Económico*, LXXIV (4), 296: 885-900.
- OMC. 2004. *Informe sobre el comercio Mundial 2004*, en [http://www.wto.org/spanish/res\\_s/booksp\\_s/anrep\\_s/wtr04\\_2b\\_s.pdf](http://www.wto.org/spanish/res_s/booksp_s/anrep_s/wtr04_2b_s.pdf)
- Ortiz, C., D. Jiménez y G. Cruz. 2019. "El Impacto de la infraestructura en el crecimiento económico colombiano: un enfoque smithiano", *Lecturas de Economía*, 90: 97-126.
- Obregón, S., J.M. Chávez y E. Betanzo. 2014. "Road Transport Infrastructure and Manufacturing Location: An Empirical Evidence and Comparative Study between Tijuana and Nuevo Laredo, Mexico", *Frontera Norte*, 26 (52): 109-133.
- Perroti, D. y R.J. Sánchez. 2011. *La Brecha de Infraestructura en América Latina y el Caribe*, CEPAL, serie 153, Santiago de Chile.
- Ramírez, S. M. 2013. "El transporte ferroviario en México". *Comercio Exterior*, 63(4): 7-13
- Romer, P. 1986. "Increasing returns and long-run growth", *Journal of Political Economy*, 94: 1002-1037.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. *Anuarios Estadísticos 2010-2018*, en: <http://www.sct.gob.mx/planeacion/estadistica/anuario-estadistico-sct/>
- Stansel, D. y M. Tuszynski. 2019. "Institutions, Trade, and Economic Prosperity: An Examination of the U.S. and Mexican States", *Mission Foods Texas-Mexico Center Research*, 4.
- Töngür, Ü., K. Türkcan y S. Ekmen. 2020. "Logistics performance and export variety: Evidence from Turkey", *Central Bank Review*, 20 (3): 143-154
- U.S. Department of Transportation. 2019. *Federal Highway Administration, Table HM-14-Highway Statistics 2018*. Office of Highway Policy Information, en: <http://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/statistics/2018/pdf/hm48.pdf>

- Vázquez, A. 2004. *Los vínculos entre el crecimiento económico y la Infraestructura eléctrica en el Perú, 1940-2000*, Organismo Superior de la Inversión en Energía, Documento de trabajo núm. 17.
- Zepeda, I.E., D. G. Carrillo y G. Ángeles. 2017. "Infraestructura portuaria y crecimiento económico regional en México", *Economía, Sociedad y Territorio*, 17 (54): 337-366.