

## INFRAESTRUCTURA CARRETERA Y CRECIMIENTO ECONÓMICO EN MÉXICO

Isidro Enrique Zepeda-Ortega,<sup>a</sup> Gerardo Ángeles-Castro<sup>b</sup>  
y David Guillermo Carrillo-Murillo<sup>c</sup>

Fecha de recepción: 31 de agosto de 2018. Fecha de aceptación: 9 de enero de 2019.

<https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2019.198.66383>

**Resumen.** La relación entre infraestructura carretera y crecimiento económico regional ha sido estudiada con resultados poco concluyentes. En este documento se analiza el efecto de la disponibilidad de infraestructura carretera sobre la producción regional de los municipios de México. Se caracterizaron regionalmente las carreteras disponibles por municipio aplicando un Sistema de Información Geográfica (SIG) y mediante un análisis de mínimos cuadrados ordinarios, y se explica la relación positiva densidad carretera-producción para las regiones municipales. Se demuestra que las carreteras tienen sus mayores efectos en la producción bruta regional de las actividades manufactureras y el comercio minorista, mientras que en la agricultura, la ganadería, la pesca y la minería, no tienen influencia significativa; particularmente las carreteras libres brindan mayor beneficio regional en comparación con las carreteras de peaje.

**Palabras clave:** infraestructura carretera; municipios; crecimiento regional; análisis sectorial; extensión geográfica; modelo de mínimos cuadrados.

**Clasificación JEL:** H54, H76, R11, R15.

### ROAD INFRASTRUCTURE AND ECONOMIC GROWTH IN MEXICO

**Abstract.** Results from studies of the relationship between road infrastructure and regional economic growth have so far been inconclusive. This paper analyzes the effect of the availability of road infrastructure on regional production in Mexican municipalities. At a regional level, the extent of road availability in a municipality was determined using a Geographic Information System (GIS) and ordinary least squares analysis, which identified the existence of a positive relation between road density and production in municipal regions. It was shown that the most significant impact of roads on gross regional production is in the manufacturing and retail sectors, while roads have no significant impact on agriculture, livestock production, fishing, and mining. Toll-free roads in particular afford increased regional benefits in comparison to toll roads.

**Key Words:** road infrastructure; municipalities; regional growth; sectoral analysis; geographic extension; least square models.

<sup>a</sup> Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, <sup>b</sup> Instituto Politécnico Nacional (IPN), México, <sup>c</sup> Consultor independiente. Correos electrónicos: ing.isidroenrique@hotmail.com, gangeles@ipn.mx y dkdoctorat@hotmail.com, respectivamente.

## 1. INTRODUCCIÓN

La infraestructura ha sido señalada como un agente de crecimiento económico. El aumento o disminución de las redes de transporte afecta, a las actividades sociales y económicas que una región puede admitir; sin embargo, la dinámica de cómo se produce ese crecimiento es una de las áreas menos comprendidas en el transporte, la geografía, la economía urbana, y la ciencia regional (Zhang y Levinson, 2007).

Aunque existe una amplia literatura, es poco el consenso sobre los efectos exactos de la inversión en infraestructura de transporte y el desarrollo regional (véanse Chandra y Thompson, 2000 y Deng *et al.*, 2014). El debate sigue siendo polémico, estudios previos dan diferentes resultados debido a las fuentes de sus datos, la desagregación y la especificación del modelo. En la mayoría de los casos, los resultados afirman un impacto positivo y significativo, pero en otros estudios se concluye que es insignificante o significativamente negativo (Zepeda *et al.*, 2017).

Existe además una doble interrogante que merece ser estudiada. Por un lado, la infraestructura del transporte y el crecimiento parecen mantener un problema de causalidad inversa que continua en el plano de la controversia (IFMO, 2007); por otra lado, distintos niveles de inversión en infraestructura presentan diferentes grados de efectos, lo que hace pensar en que los niveles de infraestructuras disponibles en una región tienen un grado de eficiencia en su efecto económico, así nuevas infraestructuras de transporte en regiones bien dotadas no presentan los efectos esperados, lo que cuestiona la necesidad de nueva inversión. Esto nos conduce a la interrogante acerca de “si la infraestructura de transporte puede tener un grado de eficiencia en su impacto” (Zepeda *et al.*, 2017, p. 338).

Este estudio se enfoca en determinar el efecto espacial de las infraestructuras carreteras en el crecimiento regional a nivel municipal en México, a través del análisis de la producción bruta total municipal, y el análisis sectorial, principalmente en cuatro sectores económicos: Agricultura, ganadería y pesca, Comercio al menudeo, Manufactura y Minería, a fin de determinar si la infraestructura disponible puede ser un obstáculo para el crecimiento regional, particularmente en las regiones más pobres.

Distintos estudios explican los efectos de las carreteras en el crecimiento, sin embargo, no lo hacen considerando los sectores económicos ni usando como fuentes de información los agregados a nivel regional municipal. En el caso particular de México, este es el primer tipo de análisis que se prospecta y se considera que es posible de lograr mediante el uso de un SIG y un análisis

econométrico de mínimos cuadrados ordinarios empleando variables interactivas y de densidad geográfica.

El estudio abarca 2 456 municipios, con datos de 2010 que fueron publicados en 2014, y que corresponden al Censo Económico más reciente que se encuentra disponible, realizado a nivel de detalle de sectores económicos, en concordancia con los datos geográficos más actuales, y disponibles al momento a nivel de detalle municipal con características de tipos de vialidad y número de carriles. Finalmente, se identifican las regiones más rezagadas del país en cuanto a infraestructura carretera, y se determina que la densidad carretera es un factor que explica la producción de las unidades económicas dedicadas a la Manufactura y al Comercio al menudeo, mientras que no es posible afirmar lo mismo respecto a los sectores Agricultura, ganadería y pesca, ni a la Minería.

El estudio se organizó de la siguiente forma: en la sección 2 se realiza una revisión de la literatura y se presenta la disponibilidad de la infraestructura carretera en México, así como la producción del país. En la sección 3 se explican la metodología a emplear, la fuente de datos estadísticos y la forma en que fueron determinados los stocks de infraestructura carretera a partir de un SIG, realizando una descripción separada de las que son de pago (cuota) de las que son de circulación libre. Se explica la construcción del modelo de mínimos cuadrados ordinarios con variables dummies interactivas (OLSIDV, por sus siglas en inglés) para el análisis global, regional y sectorial. Se revisan los resultados de las pruebas de funcionalidad del modelo y los resultados del modelo econométrico. Los resultados obtenidos después de analizar coeficientes de la regresión, se reportan en la sección 4. Se presentan las conclusiones en las que se demuestra la relación positiva de las variables y se realizan recomendaciones que se derivan de los resultados.

## **2. REVISIÓN DE LA LITERATURA**

La teoría macroeconómica del crecimiento endógeno desarrolla un enfoque en el cual la tecnología es un agente que afecta el crecimiento económico. Una interpretación de la tecnología en un modelo endógeno, considera que es posible que los factores de producción tengan un origen público (Barro, 1990). De esta manera, las infraestructuras de transporte favorecen el cambio tecnológico en el modelo endógeno y, por lo tanto, contribuyen al crecimiento (Aschauer, 1989; García-Milà y McGuire, 1992). Bajo el criterio de Barro y Sala-i-Martin (2004), el capital público puede ser cualquier producto o bien

público como infraestructuras y puede ser analizado como un bien privado provisto por el gobierno.

Por otro lado, se ha observado que las mejoras de transporte conducen a una reducción en los costos de insumos de las empresas, así como a una mayor productividad de los factores, lo que lleva a efectos de escala en niveles de competitividad que favorecen a las empresas más productivas (Baldwin y Okubo, 2006).

Desde el punto de vista espacial, cuando el transporte disminuye, las distancias producen economías de aglomeración en las que los agentes económicos se benefician de estar cerca de otros agentes.

En un inicio, las empresas deciden realizar inversiones privadas en un espacio global abierto y se rigen básicamente por las ventajas y desventajas que ofrece cada región, y que serán valoradas por el inversionista que espera un retorno de su capital privado. Así, la inversión privada o las empresas se sienten atraídas para ubicarse en regiones que tienen recursos e infraestructuras de calidad y capacidad innovadora, cuyo sistema local de empresas sea susceptible de generar economías de escala y de producir bienes y servicios en condiciones de competencia favorable (Vázquez Barquero, 1997).

Las decisiones de localización, por aspectos de infraestructura, tienen un componente principal de transporte, ya que la accesibilidad es una condición necesaria para la actividad comercial. Con los costos de transporte altos, las empresas deciden su localización por la necesidad de estar próximos al consumo final. A partir de ello es posible explicar la formación de aglomeraciones y la formación de regiones con mayores niveles de crecimiento (Fujita *et al.*, 2001) con la consecuencia de dejar otras regiones con la posibilidad de reducir su crecimiento.

La discusión al respecto es amplia, pues mejores condiciones de transporte hacen que las localizaciones se dispersen y disminuya la aglomeración; al mismo tiempo, las mejoras en transporte pueden hacer que agentes económicos logren estar más cerca, reduzcan sus costos e incrementen su potencial de interacción, lo que puede llevar a obtener beneficios de aglomeración a lo largo de áreas geográficas más amplias (Eberts y McMillen, 1999).

Estudios previos muestran que existen efectos directos e indirectos en la relación de la infraestructura como motor del crecimiento económico, y que existe una influencia positiva entre ambas variables (Moomaw y Williams, 1991; Garcia-Milà y McGuire, 1992; Rietveld y Nijkamp, 1992; Aschauer, 1998, Fujita *et al.*, 2001; Démurger, 2001; Cantos *et al.*, 2005; Berechman *et al.*, 2006; Lall, 2007; Ozbay *et al.*, 2007; Hong *et al.*, 2011; Singh y Bhanumurthy, 2014). Sin embargo, sus resultados presentan variaciones (Deng,

2013). Por ejemplo, en el caso de Ashauer (1998) encontró que entre la infraestructura y el crecimiento existía una elasticidad del producto de 0.39 a 0.56, los resultados de García-Milà y McGuire (1992) presentan elasticidad de 0.04, Ozbay *et al.* (2007) encuentran relaciones de entre 0.017 a 0.206; mientras que algunos otros (Moomaw y Williams, 1991; Evans y Karras, 1994; Chandra y Thompson, 2000) encontraron poca evidencia para apoyar una hipótesis de crecimiento económico liderado por el transporte con elasticidades que van desde -0.35 hasta 0.178. Las variaciones en los resultados de los distintos estudios empíricos tienen varias causas, entre las que se encuentran: los diferentes niveles de desagregación de los datos, la forma de medir las variables y la forma de especificar el modelo (Deng, 2013).

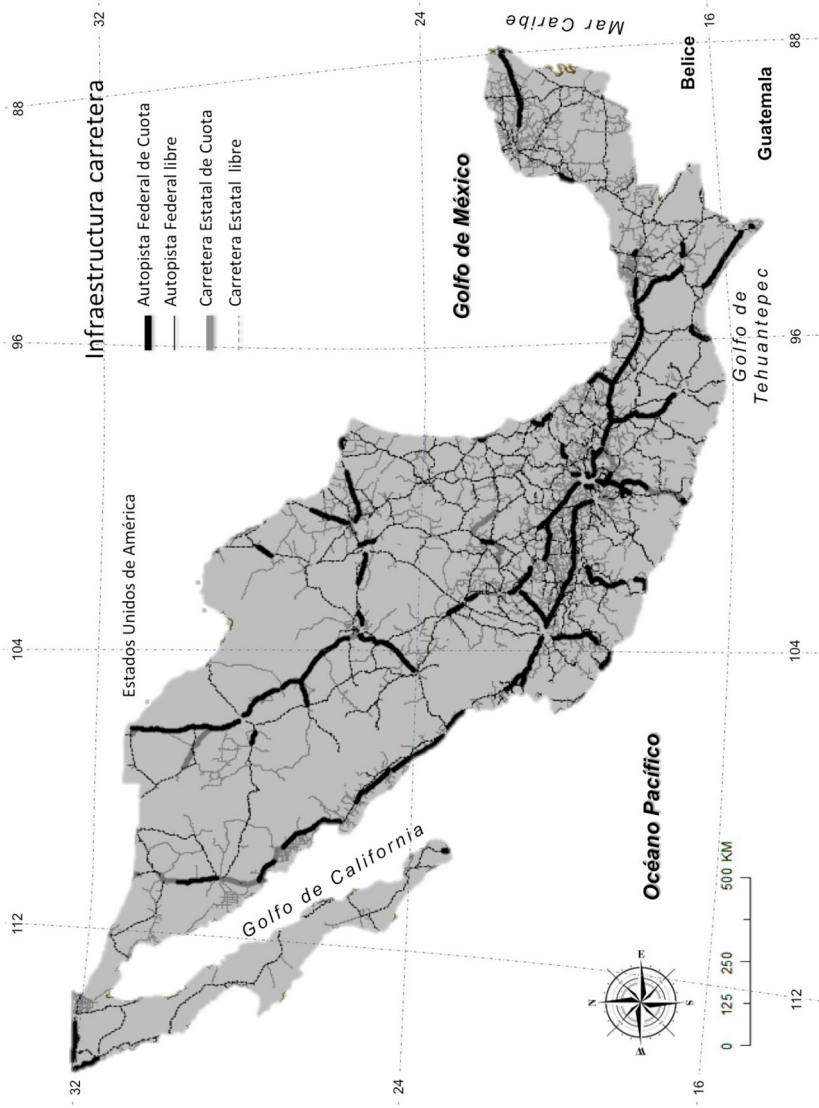
En cuanto a estudios regionales, para el caso de China, las investigaciones encontraron que el impacto del transporte en el crecimiento depende de la cantidad y de la calidad de carreteras existentes: cuando la densidad de carreteras es menor que 0.17 km/km<sup>2</sup>, la relación es insignificante, para densidades de entre 0.17 y 0.38 km/km<sup>2</sup> el impacto es positivo de 0.23, pero al superar la última densidad, el impacto se reduce a 0.09. De esta forma, en una primera provisión básica de carreteras o caminos rurales, ésta no constituye una red y, por tanto, no actúa como motor de la economía local. Por otro lado, por encima del cierto valor superior, los efectos positivos tienden a reducirse significativamente (Deng *et al.*, 2014).

En el caso particular de México, los resultados indican que la infraestructura de transporte impacta más a las regiones intermedias que a las pobres (Looney y Frederiksen, 1981), particularmente en el sureste mexicano, pues los impactos en la productividad regional se dan cuando la infraestructura de transporte vincula áreas urbanas (Deichmann *et al.*, 2004). Sin embargo, el estudio en el plano regional municipal, a nivel sectorial, y referente a los distintos tipos de carreteras continúa abierto, es ahí donde se enfoca este estudio. Estas líneas siguen abiertas como se sugiere en estudios que analizan la investigación sobre el tema (Deng, 2013).

### **Infraestructura carretera en México**

La SCT (INEGI, 2014) reportó que en 2010 había de 138 404 kilómetros de carreteras estatales y federales pavimentadas propias y concesionadas (véase mapa 1). Las carreteras de cuota también llamadas concesionadas se encuentran bajo control de una institución financiera (63.5%), de administración privada (25.8%), del gobierno estatal (5.9%) o del gobierno federal (4.7%).

Mapa 1. Infraestructura carretera según tipo de administración en 2010



Fuente: elaboración propia con datos de 2010 reportados por INEGI (2014).

En el cuadro 1 se muestran el número de regiones municipales de cada entidad federativa, su superficie, la longitud de carreteras con que cuenta cada una clasificada por de pago (cuota) y libres, por tipo de administración federal o estatal, así como el número de unidades económicas de todos los sectores económicos que fueron analizadas. Se indican también, la densidad de carreteras totales (longitud por unidad de área) y la densidad de unidades económicas.

### **Crecimiento económico y regiones**

Determinar un espacio geográfico de análisis o definir una región, es un aspecto complejo debido a la falta de unanimidad para delimitarla (Marín, 2015).

Numerosos estudios han hecho delimitaciones políticas, a diferencia de otros estudios en que se analizan regiones más amplias y menos numerosas (véanse Deichmann *et al.*, 2004; Hong *et al.*, 2011 y Jiwattanakupaisarn *et al.*, 2011). En este estudio se delimitó la extensión geográfica empleando como regiones de estudio a los 2 456 municipios que componían los 32 estados en que se dividía la República mexicana antes de 2016<sup>1</sup> como se muestran en el cuadro 1.

En la gráfica 1 se muestra la densidad promedio de unidades económicas en las macro regiones (estatales) y la densidad carretera promedio de éstas, con excepción de la Ciudad de México que tiene poca densidad carretera y alta densidad de unidades económicas. Se observa que las regiones con menor densidad de infraestructura carretera corresponden con las de menor densidad de unidades económicas.

<sup>1</sup> En el 2017 se creó un nuevo municipio para contabilizar 2 457 municipios en total.

Cuadro 1. Número de municipios de los estados que componen la República mexicana, longitud y tipo de infraestructura carretera, unidades económicas y densidades

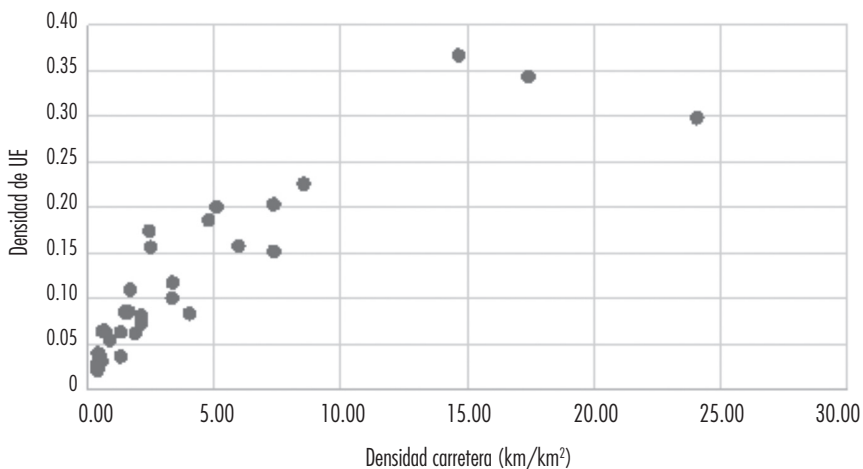
Región estatal	Municipios 2010	Superficie Km <sup>2</sup>	Longitud carretera en 2010 (km)				UE		Densidad
			Estatal		Federal		Carretera	UE	
			Libre	Cuota	Libre	Cuota			
Aguascalientes	11	5 558	762	-	496	-	47 449	0.2263	8.54
Baja California	5	73 551	914	-	1 350	463	95 882	0.0371	1.30
Baja California Sur	5	73 970	636	-	1 429	23	28 114	0.0282	0.38
Campeche	11	57 278	2 196	2	1 423	95	32 628	0.0649	0.57
Coahuila	38	150 671	2 332	-	1 999	519	83 639	0.0322	2.11
Colima	10	5 755	568	-	384	205	29 273	0.2010	0.39
Chiapas	118	73 582	2 837	-	2 340	516	155 280	0.0774	0.56
Chihuahua	67	246 969	2 453	155	1 528	1 300	97 044	0.0220	5.09
Ciudad de México	16	1 487	69	15	30	35	415 481	0.1003	256.93
Durango	39	122 131	1 795	76	2 295	800	50 452	0.0407	0.41
Guajuato	46	30 338	4 043	35	1 770	335	222 969	0.2038	7.35
Guerrero	81	63 567	2 120	359	2 302	437	135 564	0.0821	2.13
Hidalgo	84	20 655	2 506	9	1 196	145	98 567	0.1867	4.77
Jalisco	125	77 964	3 348	10	2 139	1 060	313 013	0.0841	4.01



México	125	22 227	4 903	50	991	689	534 838	0.2984	24.06
Michoacán	113	58 301	3 836	-	2 248	800	195 355	0.1181	3.35
Morelos	33	4 861	1 018	-	308	347	84 651	0.3442	17.41
Nayarit	20	27 817	1 275	-	1 327	458	46 958	0.1100	1.69
Nuevo León	51	63 560	2 610	128	1 405	535	135 482	0.0736	2.13
Oaxaca	570	93 960	1 563	-	3 733	581	177 954	0.0625	1.89
Puebla	217	34 151	3 263	144	1 332	470	251 318	0.1525	7.36
Querétaro	18	11 591	1 037	-	485	309	69 022	0.1580	5.95
Quintana Roo	9	5 1717	1 621	-	1 014	181	45 488	0.0545	0.88
San Luis Potosí	58	60 500	2 917	211	1 968	77	88 154	0.0855	1.46
Sinaloa	18	56 803	2 919	-	924	1 033	93 242	0.0858	1.64
Sonora	72	180 844	3 904	506	1 641	718	90 642	0.0374	0.50
Tabasco	17	24 697	3 474	-	661	175	59 973	0.1745	2.43
Tamaulipas	43	79 423	2 354	-	2 640	83	104 334	0.0639	1.31
Tlaxcala	60	3 975	818	0	570	71	58 245	0.3670	14.65
Veracruz	212	71 461	3 498	27	2 490	1 186	239 392	0.1008	3.35
Yucatán	106	39 533	4 150	-	1 590	450	98 478	0.1566	2.49
Zacatecas	58	74 479	2 508	-	2 086	235	51 864	0.0648	0.70
Total	2 456	1 963 376	74 248	1 728	48 097	14 331	4 230 745		

Fuente: elaboración propia con datos reportados por INEGI y SCT.

Gráfica 1. Densidades de carreteras por regiones estatales, excepto Ciudad de México



Fuente: elaboración propia con datos del cuadro 1.

### 3. METODOLOGÍA

#### Especificación del modelo

La teoría macroeconómica del crecimiento endógeno desarrolla un enfoque en el cual la infraestructura pública se considera que contribuye al cambio tecnológico, considerado un recurso de crecimiento económico, por lo que en diversos estudios se ha empleado una función de producción tipo Cobb-Douglas donde la inversión en infraestructura es interpretada como un capital con retornos de inversión positivos (Aschauer, 1989; Garcia-Milà y McGuire, 1992, Garcia-Milà *et al.*, 1996; Aschauer, 1998; Song y van Geenhuizen, 2014). Se empleó esta función para probar la infraestructura carretera como entrada en la función de producción y por su facilidad de comparación con otros estudios. De esta manera, la función de producción se especifica como:

$$Y_i = Af(K_i, L_i) = AK_i^\alpha L_i^\beta \quad (1)$$

Donde  $Y_i$  es la producción (producto bruto total) de la región espacial  $i$ ,  $A$  una mejora tecnológica que afecta el total de la función,  $K_i$  es el stock de capital y  $L_i$  la masa laboral de la región  $i$ , respectivamente.

Estudios recientes usan de forma exitosa variables proxy para medir cuantitativa y cualitativamente las características de la infraestructura de transporte y comparar su impacto en el crecimiento (Hong *et al.*, 2011; Song y van Geenhuizen, 2014), por lo que, siguiendo estos modelos, se puede incorporar en la función de producción el stock de capital utilizando variables proxy de la inversión física en infraestructura carretera a través de su longitud y carriles existentes en cada región municipal.

Para ello se ubicaron los tramos carreteros estatales libres (EL) y de cuota (EC), así como los federales libres (FL) y de cuota (FC) con sus respectivos carriles disponibles, y se determinó la longitud  $l_i$  correspondiente a cada municipio  $i$ . Dicha longitud fue afectada por el número de carriles  $n$ , y por el inverso de la superficie geográfica  $S_i$  para obtener la densidad de cada tipo de carretera de cada región que se utilizó como variable proxy del stock de capital. Para ello, se emplearon las siguientes ecuaciones:

$$D\_EL_i = \frac{\sum_{i=1}^i (n_i \times IEL_i)}{S_i} \quad (2)$$

$$D\_EC_i = \frac{\sum_{i=1}^i (n_i \times IEC_i)}{S_i} \quad (3)$$

$$D\_FL_i = \frac{\sum_{i=1}^i (n_i \times IFL_i)}{S_i} \quad (4)$$

$$D\_FC_i = \frac{\sum_{i=1}^i (n_i \times IFC_i)}{S_i} \quad (5)$$

Dónde  $i$  es la región de análisis;  $n$  es número de carriles disponibles en el tramo carretero dentro de la región;  $D\_EL$  densidad de carretera estatal libre;  $IEL$  longitud del tramo carretero estatal libre;  $D\_EC$  densidad estatal de cuota;  $IEC$  longitud del tramo estatal de cuota;  $D\_FL$  densidad federal libre;  $IFL$  longitud del tramo federal libre;  $D\_FC$  densidad federal de cuota; y  $IFC$  longitud del tramo federal de cuota.

En cuanto a la fuerza laboral, se consideró del Personal Ocupado  $P_i$  en las unidades económicas de la región. Además, se incorporó como capital la Inversión  $Inv_i$  realizada por las unidades económicas de la región y el valor de su Activo fijo  $Act_i$

La función de producción de la región  $i$  queda definida como:

$$Y_i = f(P_i, Inv_i, Act_i, D_{EL_i}, D_{EC_i}, D_{FL_i}, D_{FC_i}) \quad (6)$$

$$=(P_i Inv_i Act_i D_{EL_i} D_{EC_i} D_{FL_i} D_{FC_i})^\alpha$$

Mediante la linealización en términos logarítmicos de la función de producción, se pueden obtener una ecuación cuyos parámetros pueden ser determinados mediante un modelo de mínimos cuadrados ordinarios:

$$\ln Y_i = \beta_0 + \beta_1 P_i + \beta_2 Inv_i + \beta_3 Act_i + \beta_4 D_{EL_i} + \beta_5 D_{EC_i} \quad (7)$$

$$+ \beta_6 D_{FL_i} + \beta_7 D_{FC_i} + \varepsilon_i$$

## Datos

Se elaboró un tabulado con los valores de las variables para el periodo 2010 a partir de los datos publicados en el Censo Económico y en el Marco Geográfico Estadístico Nacional para los 2 456 municipios, lo anterior debido a las limitaciones de datos a niveles municipales y de las características de las carreteras que permitiera construir series cronológicas o un panel de datos.

Los datos de las unidades económicas ubicadas en cada municipio, su producción bruta, personal ocupado, inversión y activo fijo, fueron agrupados según su actividad económica, dando resultados que merecen su mención relativos al Comercio al menudeo, Agricultura, ganadería y pesca, Manufactura y Minería.

Para analizar las longitudes de carretera de cada municipio, se utilizó un SIG que permitió determinar las longitudes de cada segmento de carretera dentro de cada región municipal ( $Li$ ), esta longitud fue afectada por las características de carriles de cada tramo y por el área geográfica de cada región para obtener la densidad, como se explicó anteriormente. En el cuadro 2, se muestra la estadística descriptiva de las variables del modelo:  $Y$  (millones de pesos),  $P$  (miles),  $Inv$  (millones de pesos),  $Act$  (millones de pesos), y las densidades ( $\text{km}/\text{km}^2$ )  $D_{EL_i}$ ,  $D_{EC_i}$ ,  $D_{FL_i}$ ,  $D_{FC_i}$ .

Cuadro 2. Estadística descriptiva de las variables empleadas en el modelo

<i>Variable</i>	<i>Obs.</i>	<i>Media</i>	<i>Des. Std.</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
(Y) Prod_bruto (millones de pesos)	2 456	5 693.939	34 575.49	0.103	792 318.9
P (miles)	2 456	8 785.162	39 769.32	5	733 557
Act (millones de pesos)	2 456	3 286.941	44 739.94	0.02	2 082 621
Inv (millones de pesos)	2 456	224.291	2 345.46	-2 108.222	9 0795.27
Densidades (km/km <sup>2</sup> )					
D <sub>ELi</sub>	2 456	0.0001281	0.0001709	0.0000000	1.6388630
D <sub>ECi</sub>	2 456	0.0000022	0.0000225	0.0000000	0.5437317
D <sub>FLi</sub>	2 456	0.0000696	0.0001251	0.0000000	1.6672872
D <sub>FCi</sub>	2 456	0.0000241	0.0000984	0.0000000	1.8893679

Fuente: elaboración propia con resultados de los cálculos realizados.

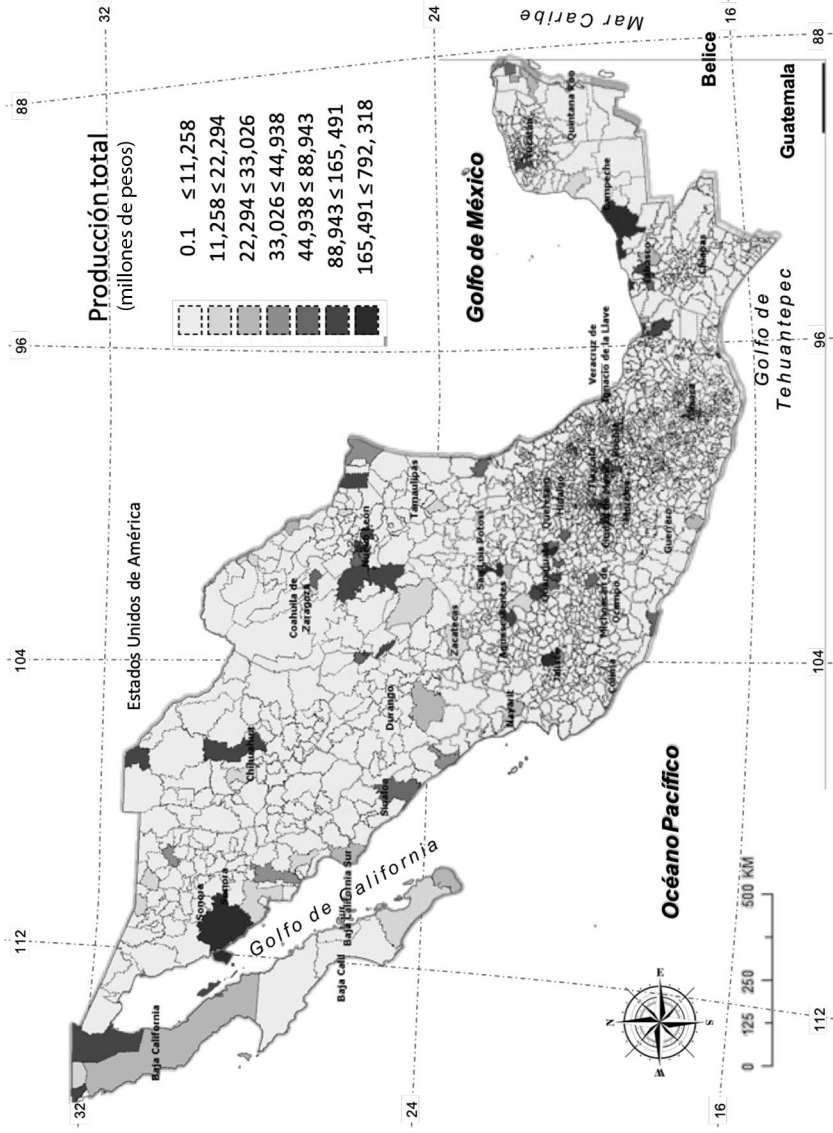
El producto bruto total (Y) de las regiones se muestra en el mapa 2, mientras que en el mapa 3 se presenta la densidad acumulada de infraestructura carretera de cada región municipal en donde se observa la concentración de los valores de las variables en clústeres.

Se aplicaron a los datos pruebas para garantizar la fiabilidad de los resultados de la regresión. La prueba general de especificación para el modelo de regresión lineal (Prueba RESET de Ramsey) verificó si las combinaciones no lineales de los valores ajustados ayudan a explicar la variable de respuesta (los resultados de la prueba se muestran en el cuadro 3).

Para contrastar la homocedasticidad se utilizó la prueba de Breusch y Pagan. Los resultados se muestran en el cuadro 4.

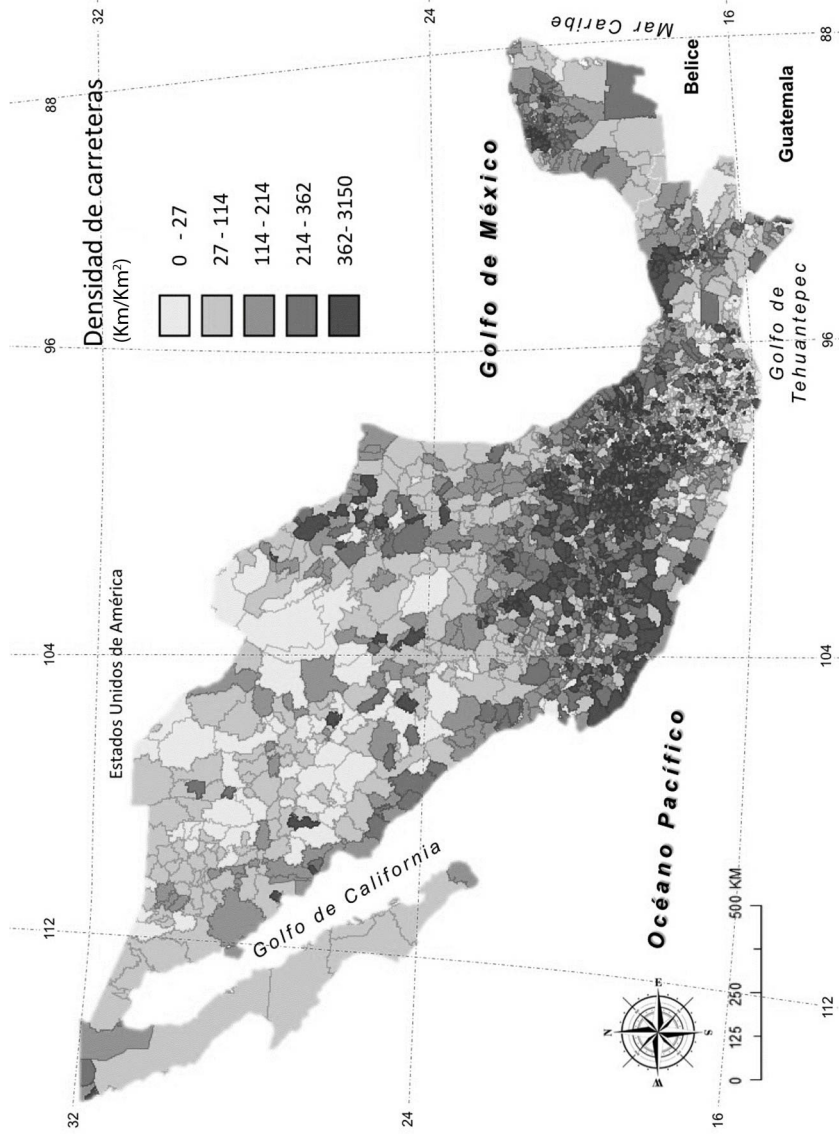
La prueba muestra alto valor de p (0.1363), lo que sugiere que no se puede rechazar la hipótesis nula de que los residuos sean homocedásticos. A fin de validar el supuesto de normalidad en la distribución de las perturbaciones, esto es que los errores tengan distribución normal, se realizó la prueba de Jarque-Bera. En el cuadro 5 se observa que, como las probabilidades son menores a uno, se rechaza la hipótesis nula, por lo que los errores no se distribuyen de manera normal; sin embargo, considérese que se cuenta con una muestra suficientemente amplia (2 456 obs.).

Mapa 2. Distribución espacial de la producción total regional a nivel municipal en 2010



Fuente: elaboración propia con datos de INEGI (2014).

Mapa 3. Distribución espacial de la densidad de carreteras en México, 2010



Fuente: elaboración propia con los valores determinados en el cuadro 2.

Cuadro 3. Resultados de la prueba de especificación del modelo (Ramsey)

<i>Índice</i>	<i>Valor determinado</i>
F (3, 2445) =	2.0500
Prob > F =	0.1045

Ho: el modelo no tiene variables omitidas.

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 4. Resultados de la prueba de Breusch y Pagan

<i>Índice</i>	<i>Valor determinado</i>
chi2(1) =	2.2200
Prob > Chi2 =	0.1363

Ho: la varianza es constante.

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 5. Resultados de la prueba de Jarque-Bera

<i>Variable</i>	<i>Observaciones</i>	<i>Pr(Skewness)</i>	<i>Pr(Kurtosis)</i>	<i>Prob &gt; chi2</i>
Residual	2 456	0.0000	0.0000	0.0000

Ho: normalidad.

Fuente: elaboración propia.

#### 4. RESULTADOS

Se realizó un análisis mediante el modelo de mínimos cuadrados ordinarios, para determinar los coeficientes de las variables (los resultados se presentan en el cuadro 6).

Las elasticidades obtenidas resultan estadísticamente significativas al 99% en su mayoría, con excepción de la densidad de carreteras estatales de cuota que es significativa al 95%. Los activos fijos de las unidades económicas brindan el mayor impacto en la producción bruta total (0.6676) para las regiones donde se establecen, en segundo lugar, se identifica al personal ocupado (0.4010) y en tercero la inversión realizada (0.0699), las carreteras tienen un impacto positivo menor.



Cuadro 6. Resultados de la regresión mediante el modelo OLS sobre los observaciones regionales de la producción total de todos los sectores económicos

<i>lnProd_bru~t</i>	<i>Coef.</i>	<i>P &gt;   t  </i>	<i>Prob &gt; F =</i>	<i>0.0000</i>
<i>ln_PerOCU</i>	0.4010	0.0000***	Adj.R-squared =	0.9588
<i>ln_inver</i>	0.0699	0.0000***	R-squared =	0.9589
<i>ln_AcFij</i>	0.6676	0.0000***		
<i>ln_D_FL</i>	0.0088	0.0000***		
<i>ln_D_FC</i>	0.0121	0.0000***		
<i>ln_D_EL</i>	0.0135	0.0000***		
<i>ln_D_EC</i>	0.0174	0.0200*		
<i>_cons</i>	-1.248431	0.0000***		

Nota: \* estadísticamente significativo al 95%; \*\*\*estadísticamente significativo al 99%.

Fuente: elaboración propia.

Asimismo, la elasticidad de la densidad de carreteras estatales, tanto libres como de cuota (0.0088 y 0.0121, respectivamente), es mayor a la obtenida para la densidad de carreteras federales tanto libres como de cuota (0.0135 y 0.0174, respectivamente).

Para observar el efecto que tienen las carreteras sobre algunos sectores económicos en particular, se realizó la regresión de mínimos cuadrados ordinarios con variables dummies interactivas (OLSIDV) sobre el conjunto de unidades económicas de todos los sectores económicos, siendo que únicamente cuatro Agricultura, ganadería y pesca, Comercio al menudeo, Manufacturas y Minería presentaron resultados que merecen mención y se presentan en el cuadro 7.

En el cuadro anterior se puede observar que los coeficientes obtenidos para el sector primario son menos significativos, comparados contra los resultados de la regresión global. En este caso, únicamente los referentes al personal ocupado (0.7111), activos fijos (0.4448) son estadísticamente significativos al 99%, derivado de este resultado no es posible asegurar que la densidad carretera tenga efectos sobre la producción agropecuaria.

Este comportamiento se repite en el sector minero donde los coeficientes de la regresión aplicada a las observaciones en su mayoría no son significativos para el caso de la infraestructura carretera, y sólo los referentes al personal ocupado (0.6235), activos fijos (0.5857) son estadísticamente significativos

Cuadro 7. Efectos desagregados de las variables explicativas sobre la dependiente para distintos sectores económicos mediante modelo OLSIDV

	Agricultura, ganadería y pesca		Comercio al menudeo		Manufacturas		Minería	
Breusch y Pagan	Prob > F =	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002		
Ramsey	Prob > F =	0.2291	0.7901	0.0003	0.0003	0.5007		
Obs.		483	2433	2302	186			
Prob > F		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000		
Adj. R-squared		0.8133	0.9565	0.9562	0.8437			
R-squared		0.816	0.9566	0.9563	0.8496			
<i>lnProd_bnu-t</i>	Coef.	<i>P&gt; t </i>	Coef.	<i>P&gt; t </i>	Coef.	<i>P&gt; t </i>	Coef.	<i>P&gt; t </i>
<i>ln_PerOCU</i>	0.7111	0.0000***	0.6383	0.0000***	0.4975	0.0000***	0.6235	0.0000***
<i>ln_inver</i>	0.0196	0.3510	0.1038	0.0000***	0.0294	0.0000***	0.0121	0.7430
<i>ln_ACFij</i>	0.4448	0.0000***	0.4330	0.0000***	0.6342	0.0000***	0.5857	0.0000***
<i>ln_D_FL</i>	0.0018	0.9300	0.0284	0.0000***	0.0139	0.0200*	0.0361	0.3730
<i>ln_D_FC</i>	-0.0085	0.7370	-0.0039	0.5500	0.0305	0.0000***	0.0277	0.5200
<i>ln_D_EL</i>	-0.0536	0.0620*	0.0299	0.0000***	0.0344	0.0000***	0.0143	0.7870
<i>ln_D_EC</i>	0.0211	0.7640	0.0069	0.6760	0.0284	0.1700	0.1206	0.1560
_cons	-2.3295	0.0000***	-2.2249	0.0000***	-1.0447	0.0000***	-1.8356	0.0000***

Nota: \* estadísticamente significativo al 95%; \*\*\* estadísticamente significativo al 99%.

Fuente: elaboración propia con los resultados obtenidos del análisis mediante *Stata*.

al 99%. Esto se explica debido a que la producción minera depende fundamentalmente del personal ocupado y de los activos que las empresas emplean en la extracción minera, en la que la localización de las unidades económicas no está determinada por la existencia de carreteras, sino de la localización de los bancos y vetas naturales.

En el caso de las actividades económicas identificadas como Comercio al menudeo y Manufacturas, podemos observar que los coeficientes de la regresión son positivos y en su mayoría estadísticamente significativos al 99%. Al evaluar el producto bruto total de las unidades económicas del sector Comercio al menudeo, la elasticidad del personal ocupado es mayor que para las manufacturas, en contraste, en las manufacturas la elasticidad de los activos fijos es mayor (0.6342) que en el comercio (0.4330). Esto significa que, en las manufacturas, los activos fijos de las empresas brindan mayores efectos de crecimiento regional.

El impacto de la densidad de carreteras libres, tanto estatales como federales, sobre el comercio resultan positivos (0.0284 y 0.0299, respectivamente) y estadísticamente significativos al 99%, a diferencia de las densidades de carretera de cuota las cuales no son estadísticamente significativas. Esto obliga a pensar sobre los efectos de túnel que las carreteras de cuota pueden llegar a tener sobre este sector.

Respecto al impacto sobre la producción manufacturera debido a la densidad de carreteras libres, tanto estatales como federales resultan positivos (0.0139 y 0.0344, respectivamente) de igual forma la densidad de carreteras de cuota federales (0.0305) siendo todas ellas estadísticamente significativos al 99%. Se puede observar que las carreteras libres están más relacionadas de forma positiva con la producción de las empresas manufactureras que las carreteras de cuota, debido a que el uso de estas últimas genera costos para las empresas que tienen que ser valorados y pueden ser restrictivas en términos de competitividad, lo que entorpece el crecimiento en lugar de facilitararlo.

Para considerar efectos que pueden tener las carreteras de las áreas urbanas sobre la producción de estas regiones, se realizó un análisis considerando variables dummies con la clasificación de los municipios, según el tamaño de las localidades: ME, Metropolitano (más del 50% de la población reside en localidades de más de un millón de habitantes), UG, Urbano Grande (más del 50% de la población reside en localidades entre 100 mil y menos de un millón de habitantes), UM, Urbano Medio (más del 50% de la población vive en localidades entre 15 mil y <100 mil habitantes), SU, Semi urbano (más del 50% de la población radica en localidades entre 2 500 y <15 mil habitantes), RU, Rural (más del 50% de la población vive en localidades con menos de

2 500 habitantes), MI, Mixto (se distribuye en las categorías anteriores sin que sus localidades concentren un porcentaje de población mayor o igual al 50%).

De la misma forma, se analizaron la consolidación de regiones municipales en macro regiones considerando las regiones definidas por el INEGI para México: Noroeste, Noreste, Oeste, Este, Centro-Norte, Centro-Sur, Suroeste, y Sureste. En ambos casos, no se encontraron resultados que merezcan su mención.

## Discusiones

Dentro de una región municipal, la densidad de la red carreteras estatales libres ( $D_{EL}$ ), estatales de cuota ( $D_{EC}$ ), federales libres ( $D_{FL}$ ) y federales de cuota ( $D_{FC}$ ) tienen influencia positiva en la producción bruta total de las empresas de dichas regiones, sin embargo, no son los elementos con mayor influencia cuando se les compara con los activos fijos, el personal ocupado y la inversión que influyen positivamente en mayor medida. En el plano regional municipal, se observa que algunos sectores económicos son más beneficiados por las carreteras.

El sector agropecuario y el sector minero presentan un comportamiento similar, en el que las densidades carreteras no presentan influencia positiva y estadísticamente significativa sobre su producción bruta, ya que estos sectores tienen su mayor impulso derivado de la ubicación de los centros productivos en las regiones de vocación agropecuaria y minera que le brinda la localización de recursos hídricos, suelos productivos, vetas o depósitos minerales y no minerales.

En contraste, los efectos que la densidad de carreteras presenta en la producción del sector de Comercio al menudeo han podido ser determinados. El mayor impacto sobre la producción de las regiones municipales se presenta asociado a las carreteras estatales libres y a las carreteras federales libres, ya que éstas entre poblaciones y localidades permiten el acceso a los servicios administrativos, financieros y al comercio menor para los habitantes de dichas regiones, así como también, construyen una red para el acceso desde otras entidades federativas sin agregar costos excesivos por su uso.

En el caso de la actividad manufacturera, las carreteras estatales libres permiten el flujo a bajo costo de insumos y la salida comercial de productos terminados hacia otras regiones en entidades federativas contiguas. Es en este caso en el que las autopistas de cuota toman importancia, posiblemente por la necesidad de las empresas de transportar sus productos terminados de alto valor en mejores condiciones de tiempo, manejo y seguridad.

Se observa la construcción de núcleos de alta productividad en municipios puntuales, debido a que tienen vocaciones muy particulares definidas por su localización o su historia económica: Tijuana en Baja California (sector manufacturero por su cercanía con Estados Unidos de América), Guaymas en Sonora (industria manufacturera de producción de alimentos de origen pesquero con conexión portuaria), Ciudad del Carmen en Campeche (explotación petrolera), Paraíso en Tabasco (explotación petrolera), Salina Cruz en Oaxaca (industria derivada del petróleo), Ciudad de México (centralización política y económica), Guadalajara en Jalisco y Monterrey en Nuevo León (industria manufacturera), sólo por mencionar algunos.

En el mapa 3, se observa una conformación central-radial de la densidad de carreteras en su conjunto, ubicando la mayor densidad de carreteras en el centro del país (con origen en la Ciudad de México) y creando un corredor horizontal desde la región portuaria de Colima y Michoacán y desde la Ciudad de México hacia los Puertos de Veracruz y Tuxpan en el estado de Veracruz. En un sentido vertical se observa la construcción de un corredor desde la Ciudad de México y hasta la frontera con Estados Unidos de América que pasa por Nuevo León. Merecen mención los clústeres de alta densidad carretera en la región de Mérida, Yucatán, por su cercanía con puerto Progreso y desde Reforma en Chiapas hacia los puertos de Dos Bocas y Frontera, pasando por Villa Hermosa en Tabasco y en conexión con Ciudad del Carmen en Campeche, estas últimas, ciudades cuya actividad económica está asociada al petróleo.

## **5. CONCLUSIONES**

La disponibilidad de infraestructura carretera tiene una influencia positiva en el crecimiento económico regional municipal a través de la producción. Los efectos de la infraestructura carretera son mayores cuando se pone a disposición de los agentes productivos sin una carga impositiva (cuota), lo que les permite generar condiciones de competitividad regional al reducir los costos implícitos en el transporte, así como la diversificación en la localización y disminuye la concentración en regiones ya favorecidas.

Los efectos de la inversión en infraestructura carretera son distintos variando en cada sector económico, siendo el sector agropecuario y minero los que obtienen menor beneficio, mientras el sector industrial resulta ser el mayor beneficiario.

Por ello, la dotación de infraestructura debe estar vinculada con proyectos y políticas públicas que fomenten la explotación, uso económico y beneficio

social de la infraestructura, realocalice la actividad económica y el desarrollo urbano.

En cuanto a los efectos de la densidad carretera sobre otros sectores de la economía, se realizaron análisis econométricos con los tres modelos sin encontrar resultados consistentes o significativos que merezcan su mención. No obstante, sería recomendable profundizar el estudio con otra metodología, así como ampliar el periodo de análisis de la presente investigación. Un estudio temporal podría brindar elementos de comprensión más efectiva que valore las relaciones de las variables a lo largo del tiempo, particularmente, como ha sido señalado por otros autores (Jiwattanakupaisarn *et al.*, 2011), un estudio con efectos dinámicos podría brindar resultados empíricos relevantes. En tanto, la integración de regiones municipales a regiones más amplias o macro regiones queda abierta como línea futura, ya que la metodología empleada y los datos disponibles no resultaron adecuados para captar estos efectos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aschauer, D. (1989), "Is public expenditure productive?", *Journal of Monetary Economics*, vol. 23, núm. 2, Holanda, Elsevier, marzo.
- \_\_\_\_\_ (1998), "The role of public infrastructure capital in mexican economic growth", *Economía Mexicana, Nueva Época*, vol. VII, núm. 1, México, Centro de Investigación y Docencia Económicas, primer semestre.
- Baldwin, R. y Okubo, T. (2006), "Agglomeration, offshoring and heterogeneous firms," *CEPR Discussion Paper No. 5663*, London, Centre for Economic Policy Research.
- Barro, R. J. (1990), "Government spending in a simple model of endogenous growth", *Journal of Political Economy*, vol. 98, núm. 5, part 2, USA, The University of Chicago Press, octubre.
- Barro, R. J. y Sala-i-Martin, X. (2004), *Economic growth*, USA, MIT Press.
- Berechman, J., Ozmen, D. y Ozbay, K. (2006), "Empirical analysis of transportation investment and economic development at state, country and municipality levels", *Transportation*, vol. 33, núm. 6, USA, Springer Science+Business Media, noviembre.
- Cantos, P., Gumbau-Albert, M. y Maudos, J. (2005), "Transport infrastructures, spillover effects and regional growth: evidence of the Spanish case", *Transport Reviews*, vol. 25, núm.1, United Kingdom, Taylor & Francis, febrero.

- Chandra, A. y Thompson, E. (2000), "Does public infrastructure affect economic activity? evidence from the rural interstate highway system", *Regional Science and Urban Economics*, vol. 30, núm. 4, Holanda, Elsevier, julio.
- Deichmann, U., Fay, M., Koo, J. y Lall, S. (2004), "Economic structure, productivity, and infrastructure quality in southern Mexico", *The Annals of Regional Science*, vol. 38, núm. 3, USA, Springer, septiembre.
- Démurger, S. (2001), "Infrastructure development and economic growth: an explanation for regional disparities in China?", *Journal of Comparative Economics*, vol. 29, núm. 1, Holanda, Elsevier, septiembre.
- Deng, T. (2013), "Impacts of transport infrastructure on productivity and economic growth: recent advances and research challenges", *Transport Reviews*, 33(6).
- Deng, T., Shao, S., Yang, L. y Zhang, X. (2014), "Has the transport-led economic growth effect reached a peak in China? A panel threshold regression approach", *Transportation*, vol. 41, núm. 3, USA, Springer Science+Business Media, mayo.
- Eberts, R. y McMillen, D. (1999), "Agglomeration economies and urban public infrastructure", en P. Cheshire y E. Mills, *Handbook of Regional and Urban Economics*, 3.
- Evans, P. y Karras, G. (1994), "Is government capital productive? evidence from a panel of seven countries", *Journal of Macroeconomics*, vol. 16, núm 2, Holanda, Elsevier, Summer.
- Fujita, M., Krugman, P. y Venables, A. (2001), *The spatial economy: cities, regions and international trade*, USA, MIT Press.
- García-Milà, T. y McGuire, T. (1992), "The contribution of publicly provided inputs to states' economies", *Regional Science and Urban Economics*, vol. 22, núm. 2, Holanda, Elsevier, junio.
- \_\_\_\_\_, McGuire, T. y Porter, R. (1996), "The effect of public capital in state-level production functions reconsidered", *Reviews on Economics Statistics*, vol. 78, núm. 1, USA, Elsevier, marzo.
- Hong, J., Chu, Z. y Wang, Q. (2011), "Transport infrastructure and regional economic growth: evidence from China", *Transportation*, vol. 38, núm. 5, USA, Springer, septiembre.
- Institut für Mobilitätsforschung (IFMO) (2007), *Transport, trade and economic growth. Coupled or decoupled?*, Alemania, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) (2014), *Anuario Estadístico y Geográfico de los Estados Unidos Mexicanos 2014*, México, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.

- Jiwattanakulpaisarn, P., Noland, R. y Graham, D. J. (2011), “Highway infrastructure and private output: evidence from static and dynamic production function models”, *Transportmetrica*, 7 (5).
- Lall, S. (2007), “Infrastructure and regional growth, growth dynamics and policy relevance for India”, *The Annals of Regional Science*, vol. 41, núm. 3, Berlín-Heidelberg, Alemania, Springer, septiembre.
- Looney, R. y Frederiksen, P. (1981), “The regional impact of infrastructure investment in Mexico”, *Regional Studies*, vol. 15, núm. 4, United Kingdom, Routledge, noviembre.
- Marín, C. (2015), “Anotaciones en torno al concepto de región”, *Nimbus*, vol. 67, núm. 11-12, Almería, Universidad de Almería.
- Moomaw, R. y Williams, M. (1991), “Total factor productivity growth in manufacturing: further evidence from the States”, *Journal of Regional Science*, vol. 31, núm. 1, USA, Wiley-Blackwell, febrero.
- Ozbay, K., Ozmen-Ertokiny, D. y Berechman, J. (2007), “Contribution of transportation investments to country output”, *Transport Policy*, vol. 14, núm. 4, United Kingdom, Elsevier, julio.
- Rietveld, P. y Nijkamp, P. (1992), “Transport and regional development”, *Research Memorandum*, núm. 50, Serie Research Memoranda, VU University Amsterdam, Holanda, diciembre.
- Singh, P. y Bhanumurthy, N. R. (2014), “Infrastructure development and regional growth in India”, en G. Ambar y K. Asim (coords.), *Analytical Issues in Trade, Development and Finance*, India, Springer.
- Song, L. y van Geenhuizen, M. (2014), “Port infrastructure investment and regional economic growth in China: panel evidence in port regions and provinces”, *Transport Policy*, vol. 36, United Kingdom, Elsevier, noviembre.
- Vázquez Barquero, A. (1997), “Gran empresa y desarrollo endógeno: la convergencia estratégica de las empresas y territorios ante el desafío de la competencia”, *EURE*, 23(70).
- Zepeda, I., Ángeles, G. y Carrillo, D. (2017), “Infraestructura portuaria y crecimiento económico regional en México”, *Economía, sociedad y territorio*, vol. 17, núm. 54, México, El Colegio Mexiquense, mayo-agosto.
- Zhang, L. y Levinson, D. (2007), “The economics of transportation network growth”, en P. Coto-Millán y V. Inglada (eds.), *Essays on Transport Economics*, Germany, Physica-Verlag HD.