



Frontera Norte

ISSN: 0187-7372

revista@colef.mx

El Colegio de la Frontera Norte, A.C.  
México

Álvarez Ayuso, Inmaculada C.; Becerril-Torres, Osvaldo U.; Moral-Barrera, Laura E. del  
Efectos derrame interestatales y transfronterizos de la red de carreteras: Un estudio para México  
Frontera Norte, vol. 23, núm. 46, julio-diciembre, 2011, pp. 61-89  
El Colegio de la Frontera Norte, A.C.  
Tijuana, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=13619212003>

- [Cómo citar el artículo](#)
- [Número completo](#)
- [Más información del artículo](#)
- [Página de la revista en redalyc.org](#)

 redalyc.org

Sistema de Información Científica  
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# Efectos *derrame* interestatales y transfronterizos de la red de carreteras: Un estudio para México

## Interstate and Transborder Spillover Effects in the Road Network: A Case Study for Mexico

*Inmaculada C. Álvarez Ayuso*

Profesora-investigadora de la Universidad Autónoma de Madrid

Dirección electrónica: [inmaculada.alvarez@uam.es](mailto:inmaculada.alvarez@uam.es)

*Oswaldo U. Becerril-Torres*

Profesor-investigador de la Universidad Autónoma del Estado de México

Dirección electrónica: [obecerrilt@uaemex.mx](mailto:obecerrilt@uaemex.mx)

*Laura E. del Moral-Barrera*

Profesora-investigadora de la Universidad Autónoma del Estado de México

Dirección electrónica: [lauraelena\\_toluca1@yahoo.com.mx](mailto:lauraelena_toluca1@yahoo.com.mx)

### RESUMEN

El objetivo de esta investigación es identificar la existencia de efectos *derrame* de la infraestructura carretera nacional y transfronteriza de Estados Unidos sobre la producción en México, a través de la implementación de un modelo de fronteras estocásticas. Para ello, se han elaborado indicadores espaciales que capturan estos efectos y que recogen la influencia de las entidades federativas contiguas a cada una de ellas. Los resultados muestran que tanto las carreteras nacionales como las transfronterizas generan un efecto favorable para la producción, reduciendo la ineficiencia técnica estatal, generando efectos *derrame* entre las entidades federativas contiguas.

*Palabras clave:* 1. Capital público, 2. infraestructura, 3. fronteras estocásticas, 4. eficiencia, 5. derrame.

### ABSTRACT

The purpose of this research is to identify the existence of the spillover effects of the US domestic and cross-border road infrastructure on production in Mexico, through the implementation of a stochastic frontier model. To this end, we have developed spatial indicators that record these effects and identify the influence of the states contiguous to each of them. The results show that both national and cross-border roads have a favorable effect on production, reducing government inefficiency and creating spillover effects between adjacent states.

*Keywords:* 1. Public capital, 2. infrastructure, 3. stochastic frontier, 4. efficiency, 5. spillover.

Fecha de recepción: 10 de noviembre de 2010

Fecha de aceptación: 10 de marzo de 2011

## INTRODUCCIÓN

Desde los primeros trabajos de Aschauer (1989 y 2000), en los que se incorpora el capital público a la función de producción, se ha desarrollado un sinnúmero de investigaciones relacionadas con su efecto sobre diferentes aspectos de la actividad económica; de manera particular, aquellas investigaciones que incorporan a las infraestructuras han mostrado su relevancia para la actividad económica (Eberts, 1997; Mas y Maudos, 2004; Pereira y Andraz, 2005; Feinberg y Meurs, 2007; Fay y Morrison, 2005 y 2007). Para el caso de México, Lächler y Aschauer (1998), Fuentes y Mendoza (2003), Fuentes (2003) y Mamatzakis (2007).

Así mismo, como muestran los estudios que analizan los efectos *derrame* de las infraestructuras (Holtz-Eakin y Schwartz, 1995; Álvarez y Delgado, 2004a y 2004b; Cantos *et al.*, 2005; Delgado y Álvarez, 2007a y 2007b), es acertado pensar que la red carretera nacional así como la red de las entidades fronterizas estadounidenses afecta a la actividad económica interestatal, provocando un efecto desbordamiento o *derrame* entre ellas, dinamizando la actividad económica entre los estados y a nivel internacional, en cuya idea se centra nuestro estudio.<sup>1</sup>

Así, en el apartado dos se realiza una revisión de la literatura relacionada con las infraestructuras, de manera particular la correspondiente a carreteras; en el apartado tres se presenta un diagnóstico de la infraestructura carretera en México, considerando el papel que desempeña el Estado en las decisiones de inversión en este rubro; en el cuatro se presenta el modelo de fronteras estocásticas de referencia para medir el efecto de las infraestructuras sobre la producción y la eficiencia técnica; en el apartado cinco se presenta la información sobre las fuentes de datos utilizadas y la estimación de los efectos *derrame* de la red de carreteras en México y la transfronteriza y su influencia sobre la producción y la eficiencia técnica en México. Por último, en el apartado seis se presenta las principales conclusiones obtenidas.

## REVISIÓN DE TEXTOS SOBRE EL TEMA

Las más recientes publicaciones identifican a la infraestructura como una variable que desempeña un papel destacado en la actividad económica, ya que permite que

<sup>1</sup>Los efectos *derrame* son externalidades de la actividad económica o de los procesos que no participan directamente en ella.

el intercambio de mercancías tenga mayor fluidez entre regiones, que se incremente la productividad atrayendo más capital, o bien que sea considerada como un factor de producción más. La relevancia de las infraestructuras es mostrada en diferentes investigaciones de temas relacionados con la competitividad, con la convergencia regional, con el crecimiento económico, así como por los efectos desbordamiento que ellas generan.<sup>2</sup>

Entre los trabajos más relevantes se encuentra el de Eberts (1997), quien analiza la infraestructura carretera en Estados Unidos, identificando que más de 70 por ciento de las manufacturas son transportadas por carretera. Así mismo, Lawrence (1997) realiza un estudio sobre la competitividad de las empresas australianas, encontrando que entre 7 y 17 por ciento de los insumos del sector servicios lo constituye las infraestructuras. De igual manera, Kim *et al.* (1999) elaboran un estudio de la industria manufacturera coreana y la relación entre las infraestructuras y la eficiencia productiva, argumentando que el capital público tiene un impacto sobre la función de producción. Por su parte, Aschauer (2000) relaciona el *output*,  $Y$ ; con varias formas de capital,  $K$ ; y trabajo,  $L$ ; considerando tres tipos de capital que serán incorporados como *inputs* en el proceso de producción: capital físico privado, capital humano y capital físico público.

Mas y Maudos (2004) realizan un análisis de los resultados obtenidos de las estimaciones para el caso español sobre el impacto de las infraestructuras sobre el crecimiento. Pereira y Andraz (2005), al igual que Albala-Bertrand y Mamatzakis (2004), investigan para la economía de Portugal y Chile, respectivamente, los efectos de la inversión pública en infraestructuras de transporte sobre la inversión privada, el empleo y la producción, identificando que la inversión pública tiene un fuerte efecto positivo sobre la producción.

Así mismo, Feinberg y Meurs (2007) analizan los determinantes de la inversión en infraestructura física derivada de las reformas de mercado en Europa central y oriental y economías del desaparecido bloque soviético. En su estudio

<sup>2</sup>La definición de infraestructuras que se considera en esta investigación es la propuesta por Biehl (1988), quien expresa que “las infraestructuras se definen como aquella parte del capital global de las economías que, debido a su carácter público, generalmente no es suministrada por el mercado o éste sólo la suministra de manera ineficiente, por lo que su provisión queda fundamentalmente confiada a las decisiones políticas”. Además, en Herrera (1994) se expone cuáles son las razones por las que se da la participación del sector público en la provisión de infraestructuras y se lleva a cabo una revisión bibliográfica acerca del impacto de las infraestructuras sobre el crecimiento; destacan dos trabajos de especial interés para el ámbito geográfico que nos ocupa: Looney *et al.* (1981) y Shah (1988). En el trabajo de De la Fuente (2010) se realiza una extensa revisión de los textos al respecto.

encuentran que las reformas de mercado probablemente obligan a los inversionistas a desarrollar infraestructura cuando las reformas políticas y de mercado van acompañadas.

En esta misma línea atraen la atención los estudios sobre infraestructuras del Banco Mundial. Los trabajos pioneros se identifican en relación con los determinantes del gasto público en infraestructura, particularmente en transportes y comunicaciones (Randolph *et al.*, 1996), en relación con la inversión pública (Lächler y Aschauer, 1998). A partir de ellos, en esta línea han ido surgiendo nuevos documentos que se vinculan con temas de regulación, privatización y crecimiento (Estache, 1999; Alexander y Estache, 1999; Calderón y Servén, 2004a y 2004b). Con la participación del sector privado (Trujillo *et al.*, 2002), con el acceso, calidad y costos (Briceno *et al.*, 2004), con los mercados mundiales (Benítez y Estache (2005), con las reformas y los países en desarrollo (Briceno *et al.*, 2004; Estache y Goicoechea, 2005), con efectos regionales (Ebinger, 2006; Van Ryneveld, 2006, y Su y Quanhou, 2006) y transportes y comunicaciones (Estache *et al.*, 2007).

Así mismo, Fay *et al.* (2005, 2007) muestran en su reporte para América Latina y el Caribe que las infraestructuras favorecen el clima de inversión en el que operan las empresas y tienden a elevar su nivel de competitividad. De acuerdo con este reporte, 55 por ciento de las empresas en América Latina considera que las deficiencias en las infraestructuras son el mayor obstáculo para el crecimiento de los negocios. Por su parte, Baffes y Shah (1998) llevan a cabo estimaciones acerca del impacto económico de las infraestructuras para 26 países, incluido México.

Los estudios para México que relacionan el capital público, las infraestructuras y el crecimiento económico se encuentran en los trabajos de Lächler y Aschauer (1998), Castañeda (2002), Castañeda *et al.* (2002), Fuentes y Mendoza (2003) y Fuentes (2003), quienes se han centrado en analizar el efecto de la inversión pública, así como el impacto de las infraestructuras sobre la convergencia en renta per cápita.

Dos años después, Noriega y Fontenla (2007) analizan la relación entre infraestructura pública y crecimiento para el caso de México. Desarrollan un modelo en donde la inversión en infraestructura complementa a la inversión privada, proporcionando evidencia del impacto de la infraestructura pública sobre la producción y analizan los efectos de largo plazo de *shocks* en infraestructura sobre la producción real. Mamatzakis (2007), por su parte, analiza el impacto de la infraestructura pública sobre el comportamiento de la productividad de la economía

mexicana. Más recientemente, en el trabajo de Becerril *et al.* (2010) se analiza el impacto de las infraestructuras sobre la eficiencia en el uso de los factores productivos privados, empleando en el cálculo de la eficiencia la metodología de fronteras estocásticas, en línea con el presente análisis.

Así, estas referencias permiten identificar estudios que incorporan el capital público, calculando su efecto sobre diferentes indicadores como el crecimiento, la regulación, la privatización, los mercados mundiales, las reformas estructurales y los efectos regionales, entre otros.

Así mismo, el gobierno de México, a través del *Programa nacional de infraestructura 2007-2012*, reconoce que la infraestructura es un requisito imprescindible para avanzar en el desarrollo del país por las siguientes razones:<sup>3</sup> 1) las infraestructuras son un factor esencial para elevar la competitividad de las regiones porque reduce los costos y tiempos de transporte, facilita el acceso a mercados distantes, fomenta la integración de cadenas productivas e impulsa la generación de los empleos; 2) las infraestructuras son un instrumento clave para contar con insumos energéticos suficientes, de calidad y a precios competitivos que amplíen los horizontes de desarrollo de las familias, de los emprendedores, de los productores, de los artesanos y de los prestadores de servicios, y 3) las infraestructuras son un recurso poderoso para igualar las oportunidades de superación de las familias más pobres porque rompe el aislamiento y la marginación de las comunidades, promueve la educación, la salud y la vivienda, favorece la introducción de servicios básicos y multiplica las posibilidades de ingreso.

En este contexto, una vez examinado el ámbito en el que se desarrolla el análisis de infraestructuras, se realiza esta investigación sobre los efectos derrame de la infraestructura carretera para determinar si éstas generan efectos desbordamiento en México. En este sentido, el estudio se torna de interés debido a la relevancia que adquiere la inversión en infraestructuras para el gobierno federal, como se expresa en el *Plan nacional de desarrollo 2007-2012*, al constituir un aspecto prioritario para el desarrollo del país.

<sup>3</sup>El *Programa nacional de infraestructura 2007-2012* establece los objetivos, las metas y las acciones que impulsará el gobierno federal para aumentar la cobertura, calidad y competitividad en este sector estratégico para el desarrollo nacional.

## DIAGNÓSTICO DE LA RED CARRETERA EN MÉXICO

Tradicionalmente, la escasa inversión en infraestructuras de transporte ha condicionado la localización de la actividad económica. Por ese motivo, en el área metropolitana de la ciudad de México se produce una tercera parte del total de los bienes manufacturados generados en México. Así, los patrones de desarrollo han ido estimulando obras de infraestructura de alcance parcial, restringiendo la creación y difusión de articulaciones intersectoriales y regionales, limitando que la infraestructura se convirtiera en motor del desarrollo intra e interregional.

En aquellos años, en los que predominaba el modelo de industrialización vía sustitución de importaciones, el Estado tuvo una participación activa y relevante en la inversión en diversos sectores, entre ellos, el de las comunicaciones y transportes y, de manera particular, en la infraestructura carretera, la cual, por su calidad de bien público, justificaba la intervención de las autoridades en la planificación, financiamiento y operación de las obras. De ello, un análisis económico y político más flexible podría fundamentar la instrumentación de diversos modelos o alternativas en estas actividades. En el caso de México, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) es la encargada de conducir las políticas públicas en el sector. En Hernández (2006) se puede identificar algunos rubros en los que el sector privado tiene intervención en aspectos relacionados con las infraestructuras.

### *El papel del Estado en las comunicaciones y transportes*

De acuerdo con la *Ley orgánica de la administración pública federal*, la SCT es responsable de formular y conducir las políticas y programas para el desarrollo del transporte y las comunicaciones acordes con las necesidades del país; otorgar concesiones y permisos para la explotación de servicios de autotransportes en las carreteras federales y vigilar técnicamente su funcionamiento y operación, así como el cumplimiento de las disposiciones legales respectivas; fijar normas técnicas del funcionamiento y operación de los servicios públicos de comunicaciones y transportes y las tarifas para el cobro de los mismos, y otorgar concesiones o permisos para construir las obras que le corresponda ejecutar.<sup>4</sup>

<sup>4</sup>Estas responsabilidades son otorgadas a la SCT por la *Ley orgánica de la administración pública federal* en su artículo 36, fracciones I, IX y XII.

La SCT elabora el *Programa anual del sector* y establece los proyectos a ejecutar en el ejercicio con base en un programa de jerarquización de inversiones, sujeto a la disponibilidad de recursos. El presupuesto de la SCT es parte del presupuesto de egresos de la federación (PEF) que se elabora cada año y debe ser aprobado por el Congreso de la Unión (Hernández, 2006).<sup>5</sup> Así, la planeación, la fijación de metas anuales y la estimación de requerimientos de recursos en los programas sectoriales dejan de ser realistas por no tener como punto de partida la restricción presupuestal.

En este contexto, la SCT sigue un conjunto de criterios generales para priorizar sus proyectos a nivel nacional. Los más importantes son los siguientes: que se encuentren dentro de alguno de los 14 corredores carreteros; que la obra esté en proceso; verificar el grado de avance en la integración del proyecto; la preferencia subregional y estatal; la rentabilidad socioeconómica; la posibilidad de recibir inversión privada; la contribución a otros proyectos de desarrollo; el impacto sobre el medio ambiente; la contribución a la integración territorial; la participación de inversión estatal; las etapas operativas; alcances de los beneficios del proyecto; el grado de pobreza y marginación, y las obras de compromiso del ejecutivo federal en la entidad. Estos criterios determinan la situación actual de las infraestructuras en México.

### *La infraestructura carretera en México*

La infraestructura carretera en México ha adquirido importancia en la última década como factor de vinculación entre diferentes regiones del país, ya que por esta vía se realiza 98.5 por ciento del tráfico doméstico de pasajeros y 85 por ciento de la carga y mercancías. Así mismo, la actividad del transporte creció 32.5 por ciento con la entrada en vigor del *Tratado de Libre Comercio de América del Norte* en 1994 (World Bank, 2005).

De acuerdo con el informe del Banco Mundial, la inversión pública ha fluctuado sustancialmente con los ciclos políticos federales, con amplias inversiones en las elecciones federales de 1994 y del 2000 y en las del Congreso, en 1997 y en 2003. Así mismo, la inversión en infraestructura pública como porcentaje de la inversión

<sup>5</sup>En el caso de infraestructura carretera, la elevada dependencia de recursos públicos presupuestales implica que las metas sectoriales se supeditan a los objetivos macroeconómicos. Son claros los objetivos sectoriales, pero el ritmo de avance depende de los recursos que se autorizan anualmente en el PEF.

pública pasó de 39, en 1998, a 28 por ciento, en 2003. Esto correspondió a 1.06 por ciento del producto interno bruto (PIB) en 1998 y 1.23 por ciento en 2003.<sup>6</sup>

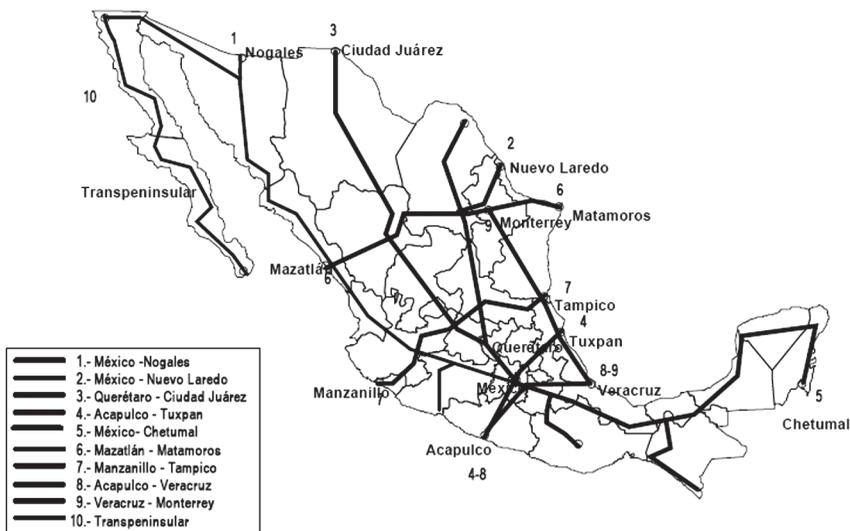
La participación del sector privado en el financiamiento de las infraestructuras ha recibido un fuerte impulso en los últimos años a partir de los procesos de apertura a la inversión privada a través del sistema de concesiones. Esto se origina en 1989, después de la recuperación económica posterior a la crisis de 1982. Esto permitió la inversión privada en la construcción, operación y transferencia de carreteras de cuota. Después de la crisis de 1995, el Fondo de Inversión en Infraestructura (Finfra) se convirtió en uno de los principales programas para promover la inversión privada en diferentes sectores, entre ellos el de infraestructuras, logrando la participación de inversores tanto nacionales como externos.<sup>7</sup>

De acuerdo con el estudio del Banco Mundial sobre la infraestructura en México, los indicadores de calidad de las carreteras, entre ellos el estándar de operación, seguridad y mantenimiento, muestran que 61 por ciento puede ser considerado moderno, 39 por ciento con requerimientos de mejoras y únicamente una cuarta parte de las carreteras en buenas condiciones (World Bank, 2005).

En lo que se refiere a infraestructura carretera, de acuerdo con información de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, a finales de 2000 los principales corredores carreteros de México mostraban un grado de modernización de 60.8 por ciento. Su diagnóstico mostraba en algunos casos niveles de aforo y saturación de determinados tramos de los corredores troncales; la insuficiencia de la infraestructura carretera que comunicaba a los puertos marítimos y fronterizos ante el crecimiento del comercio exterior; la saturación de los accesos a ciudades ubicadas sobre las principales rutas carreteras y, en muchas ciudades, la geometría se había diseñado para vehículos con distintas especificaciones a las actuales. Como consecuencia de ello y con el objetivo de responder a esa insuficiencia, una de las líneas estratégicas del *Programa sectorial 2001-2006* fue modernizar los corredores carreteros del país, que permitiera articular la geografía de México. Las principales obras de modernización en 2001 se efectuaron en los corredores carreteros que son la columna vertebral del autotransporte, ya que por ellos circula 55 por ciento del tránsito vehicular, así como en obras de impacto regional (SCT, 2001). Así, el mapa 1 muestra los principales ejes carreteros del país que vinculan los puertos marítimos, las fronteras y las ciudades más importantes.

<sup>6</sup>Por ejemplo, en ese año representó cinco por ciento del PIB, en tanto que el previo fue de 3.7 y el posterior 3.7 por ciento.

<sup>7</sup>Este fondo es administrado por el Banco Nacional de Obras y Servicios (Banobras).



Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2009).

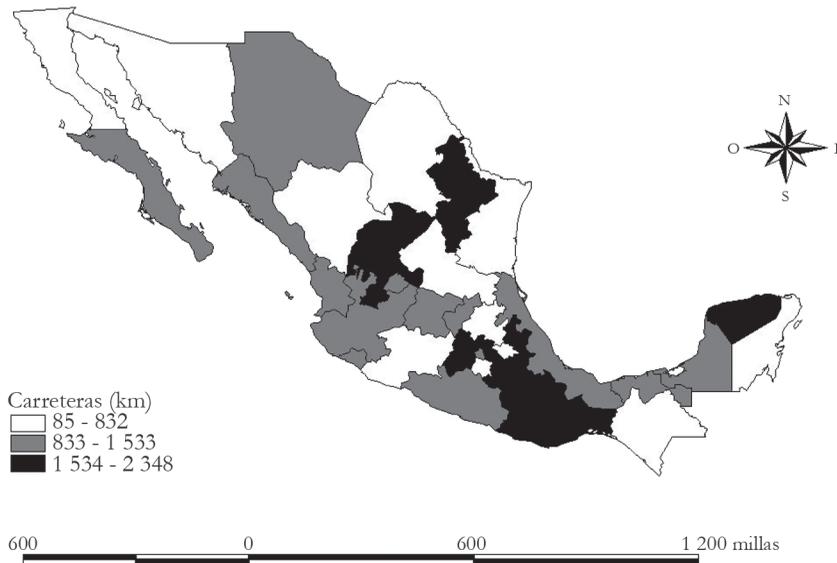
MAPA 1. Principales ejes carreteros de México

Los convenios bilaterales entre el gobierno federal y los gobiernos estatales son una de las modalidades para cofinanciar y acelerar la ejecución de proyectos carreteros. En esos casos, cada una de las partes acuerda la ejecución de cierto tramo y lleva a cabo por separado la licitación, contratación y construcción de las obras. Por lo general, los gobiernos estatales se responsabilizan de la negociación para la liberación del derecho de vía, aunque la federación sea quien realice la adquisición (Hernández, 2006).

Por su parte, la distribución de la infraestructura carretera en las entidades federativas a lo largo de las tres décadas de estudio, ha evolucionado de manera diferenciada, acorde con las políticas federal y estatales, e influida por los acuerdos de cooperación interestatal, así como por las condiciones geográficas y económicas de los estados. Así, a través del método de estratificación de Jenks<sup>8</sup> (1967) es

<sup>8</sup>El método de estratificación de cortes naturales, que automáticamente calcula el Sistema de Información Geográfica (SIG), es conocido como optimización de Jenks, el cual minimiza la suma de la varianza dentro de cada una de las clases y utiliza las fallas o depresiones en la distribución de la frecuencia para establecer las fronteras entre los estratos. Su aplicación garantiza la homogeneidad de los estratos, sin perder la heterogeneidad entre ellos. Es muy útil en análisis de características que no son homogéneas, pero que tienden a agruparse en un número limitado de casos.

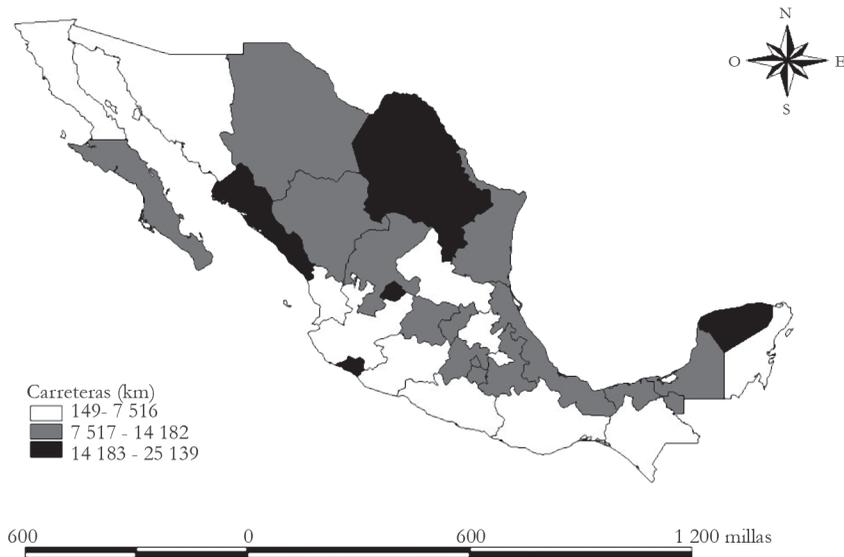
posible observar el comportamiento de la red de carreteras, identificando que en 1970 su distribución favorecía a estados como Nuevo León, Zacatecas, Estado de México, Puebla, Yucatán y Chiapas; sin embargo, al final del período, en 2003, se identifica una reorientación de la infraestructura, siendo los estados del centro y norte del país los que han alcanzado mejores dotaciones. Así, los mapas 2 y 3 muestran la situación de éstas en los momentos inicial y final del período de estudio.



**Fuente:** Elaboración propia con datos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (1980).

### MAPA 2. *Infraestructura carretera en las entidades federativas, 1970*

Así mismo, México y Estados Unidos comparten una franja fronteriza con una longitud de 3 200 kilómetros aproximadamente, a través de los cuales se realiza un sinnúmero de actividades de intercambios comercial y de personas. En esta frontera, en el caso de México, las entidades federativas que la delimitan son Baja California, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, y en Estados Unidos son California, Arizona, Nuevo México y Texas; en conjunto, suman una superficie de 1 866 028.2 kilómetros cuadrados; de ello surge la importancia de incluir el efecto derrame transfronterizo de la infraestructura carretera.



**Fuente:** Elaboración propia con datos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2009).

MAPA 3. *Infraestructura carretera en las entidades federativas, 2003*

Ante este escenario, y como muestran los estudios que analizan los efectos derrame de las infraestructuras (Holtz-Eaking y Schwartz, 1995; Álvarez y Delgado, 2004a y 2004b; Cantos *et al.*, 2005; Delgado y Álvarez, 2007a y 2007b), es acertado pensar que la red carretera nacional afecta a la actividad económica interestatal al vincular a las entidades federativas del país provocando un efecto desbordamiento o derrame entre ellas, así como las de las entidades fronterizas estadounidenses, que dinamizan la actividad económica interestatal e internacional.

En el análisis del papel de las infraestructuras es razonable pensar que los efectos regionales específicos desempeñan un papel fundamental en la explicación de la evolución de la productividad regional. Estos tipos de efectos pueden ser tratados a partir del análisis de fronteras estocásticas, permitiendo corroborar la existencia de comportamientos particulares de las regiones, no relacionados con las variables explicativas del modelo y que pueden ser identificados como factores propios de la ineficiencia, lo cual permite avanzar en la modelización de la heterogeneidad regional. De esta forma, las observaciones muestrales están vincula-

das a una función que muestra la máxima eficiencia posible, de tal forma que la distancia a tal frontera es un indicador de la ineficiencia de la unidad muestral, lo cual permite introducir en el análisis una variable que puede jugar un papel muy relevante: el uso ineficiente de los factores productivos. La utilización de las funciones frontera permite, además, distinguir una doble vía por la cual la dotación en infraestructuras incide en la producción; influyendo en la productividad de los factores privados y condicionando su eficiencia. Estas consideraciones sugieren que es interesante explorar el uso de fronteras estocásticas para el análisis de la productividad de las infraestructuras. Por ello, a partir de un modelo de fronteras estocásticas se determinan los efectos derrame que generan las infraestructuras carreteras interestatales en México y las fronteras de Estados Unidos.

### *MODELO DE FRONTERAS ESTOCÁSTICAS*

El análisis de la eficiencia técnica es utilizado con mucha frecuencia en la investigación económica, tanto en el ámbito de la producción a través de la eficiencia técnica, o tomando como base la función de costos o la de beneficios para la eficiencia asignativa y económica, respectivamente. El cálculo de la eficiencia productiva permite disponer de información sobre el comportamiento de la economía durante el período analizado y comparar los resultados de las economías objeto de estudio. Si las economías no están aprovechando de manera adecuada sus recursos, pueden realizar ajustes económicos que les harán posible mejorar su eficiencia e incrementar su producción.<sup>9</sup>

En las aplicaciones empíricas de esta investigación se estima una función de producción, analizando la eficiencia técnica siguiendo las medidas introducidas por Farrell (1957), las cuales son de tipo radial. En este caso, los indicadores de ineficiencia se miden a través de las desviaciones respecto de la frontera de producción, lo que permite aproximar a nivel empírico la función de producción. En este trabajo, en particular, se aproxima la frontera de producción mediante el modelo propuesto por Battese y Coelli (1995), que flexibiliza la estructura del tipo

<sup>9</sup>El concepto de eficiencia técnica sobre el que se basa nuestro análisis es el propuesto por Farrell (1957). La eficiencia en términos generales está constituida por dos componentes, la eficiencia técnica, la cual refleja la habilidad para obtener la máxima producción dado un conjunto de insumos, y la eficiencia en precios (o asignativa), la cual refleja el grado de utilización de los insumos en proporciones óptimas, dados sus respectivos precios. La combinación de estas medidas permite obtener una medida de la eficiencia económica total.

de variación que sigue la eficiencia, siendo ésta una aportación significativa incluso frente a otros trabajos e incluso a la versión anterior de ellos mismos (Battese y Coelli, 1992). Específicamente, en el modelo de Battese y Coelli (1995) se considera la función de producción estocástica para un panel de datos:

$$Y_{it} = \exp(x_{it}\beta + V_{it} - U_{it}) \quad i = 1, \dots, N, t = 1, \dots, T, \quad (1)$$

donde  $Y_{it}$  denota el nivel de producción para la  $i$ -ésima empresa de la  $t$ -ésima observación.  $x_{it}$  es un vector de tamaño  $(1 \times k)$ , de valores de una función conocida de insumos y otras variables explicativas asociadas con la  $i$ -ésima empresa en la  $t$ -ésima observación.  $\beta$  es un vector columna de  $(k \times 1)$  de parámetros desconocidos a ser estimados.  $V_{it}$  son los errores aleatorios que se suponen independientes e idénticamente distribuidos, *iid*, y que se distribuyen como  $N(0, \sigma_v^2)$  e independientemente distribuidos de  $u_{it}$ , siendo  $u_{it}$  variables aleatorias no negativas, asociadas con la ineficiencia técnica de la producción, las cuales se supone independientemente distribuidas, como una normal truncada en cero  $N(z_{it}\delta, \sigma^2)$ .

La ecuación 1 especifica la frontera de producción estocástica en términos de los valores de producción originales. A su vez, la ineficiencia técnica,  $u_{it}$ , es función de un conjunto de variables explicativas,  $Z_{it}$ , y un vector de coeficientes desconocidos,  $\delta$ . Así pues, la ineficiencia técnica se expresa como:

$$u_{it} = Z_{it} \delta + W_{it} \quad (2)$$

donde,  $W_{it}$  sigue una distribución normal truncada en  $Z_{it} \delta$  con media cero y varianza  $\sigma^2$ . Las ecuaciones 1 y 2 se estiman simultáneamente siguiendo el método de máxima verosimilitud, con la función de verosimilitud y sus derivadas parciales respecto de los parámetros del modelo que se presenta en Battese y Coelli (1993), donde la primera se expresa en función de los parámetros de la varianza  $\sigma_s^2 = \sigma_v^2 + \sigma^2$  y  $\gamma = \sigma^2 / \sigma_s^2$  (Battese y Corra, 1977). De esta forma, se obtiene la eficiencia técnica a partir de la siguiente expresión:

$$ET_{it} = \frac{E(Y_{it}^* / u_{it}, X_{it})}{E(Y_{it}^* / u_{it} = 0, X_{it})} = \exp(-u_{it}) \quad (3)$$

donde  $Y_{it}^*$  es la producción, que es igual a  $Y_{it}$  cuando la variable dependiente no está transformada e igual a  $\exp(Y_{it})$  cuando ésta se expresa en logaritmos. Por tanto,

la eficiencia técnica se calcula como el cociente del nivel de producción obtenido respecto del máximo alcanzable dadas las cantidades de los insumos (es decir, cuando  $u_{it} = 0$ ). Así mismo, su valor oscila entre 0 y 1, siendo este último caso el más favorable.

Este modelo permite flexibilizar la estructura temporal de la ineficiencia técnica. Para ello, se define la ecuación 2, que analiza los efectos que determinan la ineficiencia mediante una función explícita de factores específicos de cada empresa o estado, entre los que se puede encontrar las variables explicativas de la función de producción (ecuación 1), efectos fijos (individuales o temporales), así como cualquier variable susceptible de generar cambios en la ineficiencia técnica. En el tratamiento de los problemas econométricos, el uso de un panel de datos disminuye los problemas de multicolinealidad y permite el tratamiento del problema de variables omitidas (Hsiao, 1986). Cabe destacar las propiedades que implica el método de máxima verosimilitud. Así, este modelo permite estimar la función de producción estocástica y el modelo de ineficiencia y obtener el efecto derrame de la red carretera nacional y transfronteriza.

### *ESTIMACIÓN DE LOS EFECTOS DERRAME*

El panel de datos considerado contiene información temporal del período 1970-2003 para las 32 entidades federativas de México. La variable de producción,  $Y_{it}$ , es representada por el PIB, a precios de 1993; los insumos de producción, los  $x_{it}$ , se incorporan a través de la inversión,  $K$ ; que corresponde a la formación bruta de capital fijo, a precios de 1993, y el empleo,  $L$ ; hace referencia al personal ocupado. Además, en la ecuación de ineficiencia se incorpora una variable que hace referencia a los equipamientos de carreteras, medida a través de los kilómetros de carreteras totales de los que dispone cada entidad federativa,  $C$ ; junto con los efectos derrame o efectos desbordamiento,  $S$ ; que hacen referencia a los equipamientos de los estados colindantes, al objeto de analizar el grado de influencia de los mismos sobre cada estado, se calculan mediante la suma ponderada por los kilómetros de colindancias interestatales y kilómetros cuadrados de superficie de cada entidad federativa y estado fronterizo de Estados Unidos. Las fuentes estadísticas de las que se han obtenido las bases de datos para el caso de México son de los Censos Económicos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), y de la Comisión Internacional de Límites y Aguas entre Mé-

xico y Estados Unidos (CILA), sección mexicana y, para el caso de Estados Unidos, del Census Bureau y del Bureau of Transportation Statistics: State Transportation Statistics. Puesto que los censos económicos están disponibles sólo quinquenalmente, el análisis se ha restringido a dichos años. En el cuadro 1 se presenta las principales estadísticas descriptivas.

En las aplicaciones empíricas que se llevan a cabo en esta investigación, puesto que se estima una función de producción, se analiza la eficiencia técnica siguiendo las medidas introducidas por Farrell (1957). En este caso, los indicadores de ineficiencia se miden a través de las desviaciones respecto de la frontera de producción, lo que permite aproximar a nivel empírico la función de producción. En este trabajo, en particular, se aproxima la frontera de producción mediante el modelo planteado por Battese y Coelli (1995), que flexibiliza la estructura del tipo de variación que sigue la eficiencia, frente a otros trabajos e incluso a la versión anterior de ellos mismos (Battese y Coelli, 1992).

Siguiendo el modelo de Battese y Coelli (1995), que se ha desarrollado en el apartado anterior, se lleva a cabo la estimación de los efectos derrame y de la eficiencia técnica en las entidades federativas de México. La tecnología, de manera inicial, se representa mediante una función de producción translogarítmica de la forma:

$$\ln Y_{it} = \beta_0 + \sum_{j=1}^2 \beta_j \ln(X_{jit}) + \sum_{j=1}^2 \sum_{b=1}^2 \beta_{jb} \ln(X_{jit}) \ln(X_{bit}) + V_{it} - U_{it} \quad (4)$$

$i=1, \dots, 32$  entidades federativas

$t=1970, \dots, 2003$

donde  $Y_{it}$  es el producto y  $X_{it}$  es un vector que hace referencia a los insumos considerados ( $j, b$  ésimos empleo, L, y capital, K).  $V_{it}$  es el error aleatorio y  $U_{it}$  representa el término de ineficiencia. Éste, a su vez, se define mediante la ecuación:

$$U_{it} = \delta_0 + \delta_1 C_{it} + \delta_2 S_{it} + W_{it} \quad (5)$$

La ecuación de la ineficiencia incorpora una variable de carreteras ( $C_{it}$ ), la variable de derrame ( $S_{it}$ ) y el error aleatorio  $W_{it}$ . La medida de la eficiencia técnica de Farrell (1957) se estima a partir de la expresión:

CUADRO 1: Bases de datos y estadísticas descriptivos

Años	Producto interno bruto (miles de pesos de 1993)			Formación bruta de capital (miles de pesos de 1993)			Empleo			Carreteras (km)		
	Media	St. Dev.	Mín.-Máx.	Media	St. Dev.	Mín.-Máx.	Media	St. Dev.	Mín.-Máx.	Media	St. Dev.	Mín.-Máx.
1970	15 400 000	24 300 000	9 055 555-136 000 000	754 000 000	1 440 000 000	11 200 000-7 710 000 000	109 806	195 367	6 210-1 110 277	2 246	1 182	51-5 112
1975	20 200 000	30 600 000	2 172 706-169 000 000	579 000 000	810 000 000	24 700 000-3 510 000 000	110 579	190 189	8 866-1 053 414	1 296	681	164-3 161
1985	31 500 000	39 600 000	4 032 915-211 000 000	7 975 796	34 600 000	156 021-197 000 000	193 183	285 176	29 157-1 544 075	1 443	774	151-3 089
1988	30 500 000	39 200 000	4 558 623-209 000 000	73 798	162 293	5 906-934 732	252 505	349 274	38 445-1 932 513	1 461	794	156-2 993
1993	36 100 000	50 000 000	5 859 721-276 000 000	3 847 751	11 200 000	211 512-62 900 000	406 480	473 398	72 139-2 557 544	7 583	3 389	177-12 767
1998	41 500 000	55 200 000	6 897 994-301 000 000	2 320 776	3 632 373	141 139-20 400 000	432 874	469 901	74 133-2 440 205	9 707	6 820	149-32 935
2003	46 400 000	61 200 000	7 921 064-338 000 000	1 995 721	2 273 006	275 004-11 700 000	507 485	542 866	92 224-2 842 874	10 637	6 730	149-25 139

**Fuente:** Elaboración propia con datos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2008). A partir de 1994 las cifras no son comparables con años anteriores, debido al cambio de metodología en la captación de la información a cargo de la dependencia.

$$ET_{it} = \exp(-U_{it}) \exp[-(\delta_0 + \delta_1 C_{it} + \delta_2 S_{it}) - W_{it}] \tag{6}$$

En el cuadro 2 se realiza un conjunto de contrastes de razón de verosimilitud ( $\lambda$ ), que contribuirán a seleccionar la forma funcional más adecuada, tras decidir cuáles hipótesis nulas que se plantean serán aceptadas. En el primer contraste se acepta la hipótesis nula de que la forma funcional Cobb Douglas es preferida a la translogarítmica; a continuación se contrasta la existencia de ineficiencia técnica en el término de error. El segundo contraste considera la hipótesis de que la ecuación de la ineficiencia no es función de los regresores considerados, confirmando la significatividad de las variables que explican la ineficiencia técnica, ya que dicha hipótesis se rechaza.<sup>10</sup>

CUADRO 2. *Contrastes de especificación*

Hipótesis nula	Log. F. Verosimilitud	Valor $\lambda$	Valor crítico	Decisión (95 %)
$H_o : \beta_{kl} = \beta_{1,2} = \beta_{k2} = 0$	-65.27	7.39	7.81	No rechazo
$H_o : \delta_1 + \delta_2 = 0$	-75.29	50.41	5.99	Rechazo

**Fuente:** Elaboración propia con base en las estimaciones de las ecuaciones 1 y 2.

**Nota:** El estadístico  $\lambda$  se calcula como  $\lambda = -2[\log(f.verosimilitud(H_o)) - \log(f.verosimilitud(H_1))]$ , que se distribuye según una Chi-cuadrada con grados de libertad iguales al número de parámetros que se igualan a cero en la hipótesis nula.

Con base en el modelo de Battese y Coelli (1995) se lleva a cabo la estimación por máxima verosimilitud de las ecuaciones 1 y 2 simultáneamente, mediante el uso del programa Frontier 4.1. (Coelli, 1996). Los resultados obtenidos se presentan en los cuadros del 3 al 6.

En línea con los resultados obtenidos tras realizar los contrastes del cuadro 2, se estima el modelo de frontera estocástica especificando la función de producción Cobb Douglas y la ecuación de ineficiencia propuestas. La varianza de los parámetros se expresa en términos de  $\gamma = \frac{\sigma^2}{\sigma^2 + \sigma_v^2}$  y  $\sigma_v^2 = \sigma_v^2 + \sigma^2$ , siendo  $\sigma_v^2$  y  $\sigma^2$  las varianzas en las distribuciones de  $V_{it}$  y  $U_{it}$  respectivamente. Así mismo, el valor

<sup>10</sup>En la estimación de la función de producción, las variables dependiente y explicativa se incorporan modificadas a través de una transformación logarítmica, linealizando esta forma funcional.

del parámetro indica cuál es la proporción de la varianza sobre el error compuesto total y muestra el error cometido al utilizar funciones de producción de este tipo. Así, a continuación se presenta los parámetros obtenidos en la estimación de la función de producción y en la ecuación de ineficiencia.

### *Análisis de los efectos interestatales*

Se estima, pues, el modelo definido por las ecuaciones 1 y 2, en el que el valor de la producción de cada entidad federativa se explica por sus propias dotaciones de inversión y empleo así como por un término de ineficiencia. Como se mencionó, la ineficiencia viene explicada por los kilómetros de carreteras estatales y por los efectos derrame, que han sido calculados mediante la suma ponderada de los equipamientos correspondientes a los estados colindantes, ponderando por las colindancias interestatales así como por la superficie de los estados circundantes a cada entidad federativa, lo que permite recoger su efecto sobre la eficiencia.

Los resultados de la estimación se recogen a partir del cuadro 3, donde se muestra tres modelos para el período de estudio: el modelo sin efectos derrame, el modelo con efectos derrame de colindancias interestatales y el modelo con efectos derrame de la superficie estatal. Aquí no se considera los efectos transfronterizos con Estados Unidos, sino únicamente los efectos de la colindancia con estados al interior de la república.

Los parámetros correspondientes a la frontera de producción son significativos y presentan valores adecuados. Observamos que el empleo tiene un mayor peso sobre la producción que el capital. Por su parte, en la ecuación de la ineficiencia, las carreteras afectan de manera negativa a la eficiencia técnica, debido al signo positivo del coeficiente asociado, lo que indica que no contribuyen a potenciar el uso eficiente de los factores productivos privados. Así mismo, al incorporar los indicadores del efecto derrame, el efecto negativo sobre la eficiencia técnica tanto del equipamiento de la propia entidad federativa como el de las colindantes se mantiene. El resultado obtenido puede ser debido al hecho de que los planes estratégicos de infraestructuras de transporte que se han implementado en el pasado y a nivel estatal han incidido en mayor medida en la mejora de la red existente, descuidando la inversión en ejes carreteros transversales, que son los que permiten comunicar y fomentar el comercio interestatal, motivo por el cual resulta complicado recoger dicho efecto en una investigación como ésta, en la que se considera un nivel de desagregación geográfica a nivel de entidades federativas. Por el con-

trario, la red de carreteras ha sido diseñada para vincular localidades al interior de los estados. Por último, cabe destacar las dificultades que plantea la propia orografía. En este sentido, el elevado costo que genera el trazado de carreteras en determinados territorios desincentiva la inversión.

CUADRO 3. *Función de producción (Battese y Coelli, 1995), período 1970-2003*

Parámetro	Modelo sin efectos derrame	Modelo con efectos derrame de colindancias interestatales	Modelo con efectos derrame de superficie estatal
Frontera estocástica			
Constante (C): $\beta_0$	4.43 (12.26)**	5.38 (0.10)	5.24 (0.10)
Inversión (K): $\beta_K$	0.21 (9.61)**	0.18 (8.33)**	0.18 (8.52)**
Empleo (L): $\beta_L$	0.66 (29.13)**	0.71 (24.37)**	0.71 (8.52)**
Modelo de ineficiencia			
Constante: $\delta_0$	-0.01 (-1.67)**	0.89 (0.01)	0.81 (0.01)
Carreteras: $\delta_1$	0.00001 (4.57)**	6.17E-06 (1.35)*	5.15E-06 (1.05)
Derrame: $\delta_2$	0.00002 (5.80)**	2.70E-05 (5.42)**	
	0.09 (9.45)**	0.08 (11.63)**	0.08 (11.65)**
Parámetros de la varianza	6.85E-06 (0.28)	0.20 (0.02)	0.16 (0.01)
$\sigma_s^2$			
$\gamma$			
Log. F. verosimilitud	-65.27	-50.08	-51.91

\*Parámetro significativo a 90 por ciento.

\*\*Parámetro significativo a 95 por ciento.

Fuente: Elaboración propia.

Derivado del cambio metodológico en la captación de información a partir de 1994 a cargo del sector comunicaciones y transportes y coincidiendo con la entrada en vigor del *Tratado de Libre Comercio de América del Norte* (TLCAN), se dividió la muestra en dos subperíodos siendo este año la fecha de corte. En el cuadro 4 se presenta las estimaciones correspondientes al primer subperíodo. Como es de esperarse, se observa el efecto favorable de los factores productivos sobre la producción. Por su parte, persiste el efecto negativo sobre la eficiencia técnica en los indicadores del efecto derrame interestatales entre entidades federativas contiguas, como resultado de la escasa interconexión entre los estados del país a través de la red carretera existente durante esos años, como ya hemos señalado con anterioridad, mientras que en el de los parámetros de la variable carreteras éstos no son significativos.

CUADRO 4. *Función de producción (Battese y Coelli, 1995), período 1970-1993*

Parámetro	Modelo sin efectos derrame	Modelo con efectos derrame de colindancias interestatales	Modelo con efectos derrame de superficie estatal
Frontera estocástica			
Constante (C): $\beta_O$	3.92 (27.31)**	4.38 (12.26)**	4.26 (11.05)**
Inversión (K): $\beta_K$	0.25 (51.58)**	0.22 (8.48)**	0.21 (7.27)**
Empleo (L): $\beta_L$	0.64 (23.18)**	0.66 (19.35)**	0.67 (17.51)**
Modelo de ineficiencia			
Constante: $\delta_0$	-0.12 (-10.61)**	0.02 (0.41)	-0.11 (-0.99)
Carreteras: $\delta_1$	5.53E-05 (7.70)**	-1.52E-05 (-1.06)	-9.01E-06 (-0.44)
Derrame: $\delta_2$		6.76E-05 (4.89)**	6.46E-05 (3.17)**
Parámetros de la varianza	0.10 (14.83)**	0.09 (9.82)**	0.09 (17.02)**
$\sigma_s^2$	0.001 (5.76)**	4.90E-04 (0.007)	0.001 (0.05)
$\gamma$			
Log. F. Verosimilitud	-51.84	-42.16	-43.77

\*Parámetro significativo a 90 por ciento.

\*\*Parámetro significativo a 95 por ciento.

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 5. *Función de producción (Battese y Coelli, 1995), período 1998-2003*

Parámetro	Modelo sin efectos derrame	Modelo con efectos derrame de colindancias interestatales	Modelo con efectos derrame de superficie estatal
Frontera estocástica			
Constante (C): $\beta_O$	3.53 (8.95)**	4.25 (0.52)	4.23.(0.53)
Inversión (K): $\beta_K$	0.07 (3.47)**	0.07 (2.83)**	0.06.(2.79)**
Empleo (L): $\beta_L$	0.95 (28.65)**	0.95 (27.67)**	0.95.(27.97)**
Modelo de ineficiencia			
Constante: $\delta_0$	0.02 (0.41)	0.53 (0.06)	0.53.(0.06)
Carreteras: $\delta_1$	7.04E-06 (2.25)**	7.27E-06 (2.38)**	6.95E-06.(2.31)**
Derrame: $\delta_2$		5.95E-06 (1.19)	7.85E-06.(1.59)*
Parámetros de la varianza	0.02 (5.75)**	0.02 (5.75)**	0.02.(5.82)**
$\sigma_s^2$	0.001 (0.001)	0.69 (0.09)	0.71.(0.09)
$\gamma$			
Log. F. verosimilitud	27.33	28.03	28.6

\*Parámetro significativo a 90 por ciento.

\*\*Parámetro significativo a 95 por ciento.

Fuente: Elaboración propia.

Siguiendo con el análisis para el segundo subperíodo, las estimaciones de la función de producción se presentan en el cuadro 5. Al igual que en el primer subperíodo, los resultados muestran el efecto positivo de los factores productivos sobre la producción. Así mismo, los parámetros del modelo de ineficiencia reflejan un ligero efecto desbordamiento interestatal entre entidades federativas contiguas que afecta de manera negativa a la eficiencia en el uso de los factores productivos privados, tal y como se observa en el subperíodo anterior, aunque de menor intensidad. Por otra parte, el signo de los parámetros de la variable carreteras resulta ser positivo y significativo, o lo que es lo mismo desfavorable si consideramos la eficiencia técnica. Si bien el efecto desbordamiento continúa mostrando un efecto negativo respecto de la eficiencia técnica, en comparación con el subperíodo anterior éste resulta ser menos significativo, o no significativo en el caso del primer indicador considerado. Este incipiente cambio de tendencia puede ser debido a la implementación de reformas estructurales a finales de la década de 1990, encaminadas a fomentar la inversión privada en la construcción de carreteras, con especial énfasis en autopistas concesionadas, que son las que contribuyen a comunicar entidades federativas. Aunque en el período considerado no es posible recoger todo el efecto.

### *Efectos transfronterizos con Estados Unidos*

Con el objetivo de identificar el efecto derrame de la red carretera de los estados fronterizos de Estados Unidos hacia México se incorporó esta red al indicador de los efectos derrame. En el presente apartado hemos incorporado la red de carreteras frontera de Estados Unidos con México en aquellas entidades federativas que colindan con aquel país, utilizando los dos tipos de ponderaciones mencionados. Este análisis nos permite identificar en qué medida el acceso a los mercados potenciales estadounidenses supone un factor influyente en la planificación de las infraestructuras de transporte en México.

Los resultados de la estimación de la función de producción y el modelo de ineficiencia se reportan en el cuadro 6. En él se puede observar que los parámetros de la función de producción no sufren modificaciones importantes respecto de los obtenidos en la tabla 5. Así mismo, se identifica que los efectos derrame influyen de manera positiva en la reducción de la ineficiencia técnica, y que la incorporación de la infraestructura carretera frontera de los estadounidenses contribuye positivamente a disminuir la ineficiencia técnica en México.

Este resultado pone de manifiesto el importante impacto de las infraestructuras de transportes de los entidades estadounidenses que poseen frontera con México sobre la eficiencia en el uso de los factores productivos privados en las entidades federativas en México. Este hecho nos lleva a deducir que durante el período analizado el desarrollo de infraestructuras de carreteras en México se ha orientado hacia la confluencia de todas hacia el centro del país y hacia los ejes carreteros que comunican con la frontera de Estados Unidos. De este modo, se ha puesto mayor énfasis en la mejora y modernización de estos corredores carreteros, facilitando así un mayor grado de accesibilidad a los mercados potenciales estadounidenses.

CUADRO 6. *Función de producción (Battese y Coelli, 1995), período 1998-2003*

Parámetro	Modelo sin efectos derrame	Modelo con efectos derrame transfronterizos de colindancias interestatales	Modelo con efectos derrame transfronterizos de superficie estatal
Frontera estocástica			
Constante (C): $\beta_0$	3.53 (8.95)**	5.17 (50.33)**	4.38 (4.59)**
Inversión (K): $\beta_K$	0.07 (3.47)**	0.16 (2.37)**	0.19 (3.26)**
Empleo (L): $\beta_L$	0.95 (28.65)**	0.73 (7.09)**	0.71 (9.9)**
Modelo de ineficiencia			
Constante: $\delta_0$	0.02 (0.41)	0.36 (1.72)**	-0.09 (-0.43)
Carreteras: $\delta_1$	7.04E-06 (2.25)**	2.46E-05 (3.15)**	2.56E-05 (2.08)**
Derrame: $\delta_2$		-2.82E-06 (-2.53)**	-3.01E-06 (-0.81)
Parámetros de la varianza	0.02 (5.75)**	0.12 (5.83)**	0.14 (3.45)**
$\sigma_s^2$	0.001 (0.001)	0.99 (104860.94)**	0.06 (0.41)
$\gamma$			
Log. F. verosimilitud	27.33	-22.12	-29.36

\*Parámetro significativo a 90 por ciento.

\*\*Parámetro significativo a 95 por ciento.

Fuente: Elaboración propia.

## CONCLUSIONES

Desde los primeros trabajos que involucran al capital público en la función de producción hasta el presente han surgido diversos estudios que relacionan a las infraestructuras como un factor determinante de la producción. En este trabajo se pone de manifiesto el papel que desempeñan para México en un contexto en el que la participación del Estado es importante para avanzar en el desarrollo del país en temas como la competitividad regional e integración de las cadenas producti-

vas, entre otros, y en las que las decisiones de inversión en el sector están supeditadas a las decisiones del Congreso de la Unión a través del presupuesto de egresos de la federación. El diagnóstico de infraestructura carretera muestra que aún hay acciones por realizar para modernizar al sector, a pesar de los avances logrados.

Así mismo, el sistema carretero afecta a la actividad económica interestatal al vincular a las entidades federativas del país generando efectos derrame entre las regiones. Esto ha sido demostrado en este estudio a través de un modelo de fronteras estocásticas, donde se ha incorporado una variable que captura los efectos derrame, identificando su influencia favorable sobre la producción y en la reducción de la ineficiencia técnica de las entidades federativas cuando se incorpora en el indicador de derrame la red carretera de los estados fronterizos de Estados Unidos, lo que ha permitido captar que aquella infraestructura juega un papel importante en la reducción de la ineficiencia técnica de las entidades federativas del país, lo que permite deducir que la construcción de las carreteras en México en los últimos años del período considerado ha sido orientada a incrementar el grado de accesibilidad hacia los mercados potenciales estadounidenses.

Por último, cabe destacar que los esfuerzos realizados en incentivar la participación de la inversión privada en la construcción de carreteras a través del Finfra han conseguido incrementar la infraestructura carretera orientada a vincular entidades federativas. Aunque, a tenor de los resultados obtenidos, sería recomendable potenciar tanto la participación del sector público como la del privado mediante este tipo de programas, a fin de conseguir elevar la competitividad de las regiones, el acceso a los mercados distantes y el fomento de la integración de cadenas productivas para generar empleo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Albala Bertrand, José M. y Emmanuel C. Mamatzakis, 2004, "The Impact of Public Infrastructure on the Productivity of the Chilean Economy", *Review of Development Economics*, vol. 8, núm. 2, Estados Unidos, Blackwell Publishing, pp. 266-278.
- Álvarez Ayuso, Inmaculada C. y María Jesús Delgado Rodríguez, 2004a, "Infraestructuras y eficiencia técnica: un análisis a partir de técnicas frontera", *Revista de Economía Aplicada*, núm. 35, vol. XII, Zaragoza, Universidad de Zaragoza, pp. 65-82.

- Álvarez Ayuso, Inmaculada C. y María Jesús Delgado Rodríguez, 2004b, "Capital público y eficiencia productiva: evidencia para la UE-15", *Hacienda Pública Española*, Madrid, Instituto de Estudios Fiscales, pp. 27-46.
- Alexander, Ian y Antonio Estache, 2000, *Infrastructure Restructuring and Regulation-Building a base for Sustainable Growth (1999)*, Policy Research Working Paper 2415, septiembre, World Bank.
- Aschauer, David Alan, 1989, "Is Public Expenditure Productive?", *Journal of Monetary Economics*, vol. 23, núm. 2, Amsterdam, Elsevier, pp. 177-200.
- Aschauer, David Alan, 2000, "Public Capital and Economic Growth: Issues of Quantity Finance, and Efficiency", *Economic Development and Cultural Change*, 48-2, Chicago, University of Chicago Press, pp. 391-406.
- Baffes, John y Anwar Shah, 1998, "Productivity of Public Spending, Sectoral Allocation Choices, and Economic Growth", *Economic Development and Cultural Change*, 46-2, Chicago, University of Chicago Press, pp. 291-303.
- Benítez, Daniel Alberto y Antonio Estache, 2005, *How Concentrated are Global Infrastructure Markets?*, Policy Research Working Paper 3513, World Bank/ECA-RES/Université Libre de Bruxelles.
- Battese, George E. y Greg S. Corra, 1977, "Estimation of a Production Frontier Model: With Application to the Pastoral Zone of Eastern Australia", *Australian Journal of Agricultural Economics*, vol. 21, The Australian National University, pp. 169-179.
- Battese, George E. y Timothy James Coelli, 1992, "Frontier Production Functions, Technical Efficiency and Panel Data: With Application to Paddy Farmers in India", *Journal of Productivity Analysis*, vol. 3, Springer, pp. 153-169.
- Battese, George E. y Timothy James Coelli, 1993, *A Stochastic Frontier Production Function Incorporating a Model for Technical Inefficiency Effects*, Working Paper in Econometrics and Applied Statistics 69/93, University of New England.
- Battese, George E. y Timothy James Coelli, 1995, "A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data", *Empirical Economics*, 20, Springer, pp. 325-332.
- Becerril-Torres, Osvaldo U.; Inmaculada C. Álvarez Ayuso y Laura E. del Moral-Barrera, 2010, "Do Infrastructures Influence the Convergence of Efficiency in Mexico?", *Journal of Policy Modelling*, vol. 32, núm. 1, Elsevier, pp. 120-37.
- Biehl, Dieter, 1988, "Las infraestructuras y el desarrollo regional", *Papeles de Economía Española*, núm. 35, España, Fundación de las Cajas de Ahorros, pp. 293-310.
- Briceño Garmendia, Cecilia; Antonio Estache y Nabil B. Shafik, 2004, *Infrastructure Services in Developing Countries: Access, Quality, Costs and Policy Reform*, Policy Research Working Paper 3468, World Bank.

- Calderón, César y Luis Servén, 2004a, *The Effects of Infrastructure Development on Growth and Income Distribution*, Policy Research Working Paper 3400, World Bank.
- Calderón, César y Luis Servén, 2004b, *The Effects of Infrastructure Development on Growth and Income Distribution*, Documento de trabajo 240, Banco Central de Chile.
- Cantos, Pedro, Mercedes Gumbau-Albert y Joaquín Maudos, 2005, "Transport Infrastructures and Regional Growth: Evidence of the Spanish Case", *Transport Reviews*, 25(1), Reino Unido, Taylor & Francis, pp. 25-50.
- Castañeda, Alejandro, 2002, "Infrastructure and Manufacturing Growth: A Cost Based estimates", *Economía Mexicana*, vol. XI, núm. 1, México, pp. 59-77.
- Castañeda, Alejandro, Pablo Cotler y Octavio Gutiérrez, 2002, "The Impact of Infrastructure on Mexican Manufacturing Growth", *Economía Mexicana*, vol. IX, núm. 2, México, pp. 143-164.
- Chu, Cyrus, 1997, "Population Density and Infrastructure Development". *Review of Development Economics*, 1(3), Blackwell Publishing, pp. 294-304.
- Coelli, Timothy James, 1996, *A Guide to Frontier Version 4.1. a Computer Program for Stochastic Frontier Production and Cost Function Estimation*, CEPA Working Paper 96/07, Australia.
- Congreso de la Unión, 2008, *Ley orgánica de la administración pública federal*, México, *Diario Oficial de la Federación*.
- De la Fuente, Ángel, 1996, "Infraestructuras y productividad: un panorama de la evidencia empírica", *ICE. Revista de Economía*, núm. 757, octubre, Madrid, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, gobierno de España, pp. 25-40.
- De la Fuente, Ángel, 2010, *Infrastructures and Productivity: An Updated Survey*, UFAE e IAE, Working Papers 831.10, Unitat de Fonaments de l'Anàlisi Econòmica (UAB)/Institut d'Anàlisi Econòmica (CSIC).
- Delgado-Rodríguez, María Jesús e Inmaculada C. Álvarez-Ayuso, 2007a, "High Capacity Road Networks and Economic". *Quivera*, vol. 9; núm. 001, Toluca, Universidad Autónoma del Estado de México, pp. 25-44.
- Delgado-Rodríguez, María Jesús e Inmaculada C. Álvarez-Ayuso, 2007b, "Network Infrastructure Spillover in Private Productive Sectors: Evidence from Spanish High Capacity Roads", *Applied Economics*, núm. 39, julio, Reino Unido, Taylor & Francis, pp. 1583-1597.
- Duffy-Deno, Kevin T. y Randall W. Eberts, 1989, *Public Infrastructure and Regional Economic Development: A Simultaneous Equations Approach*, Working Paper 8703, Cleveland, Federal Reserve Bank de Cleveland.

- Eberts, Randall W., 1997, *Highway Infrastructure: Policy Issues for Regions*, Estados Unidos, W. E. Upjohn Institute for Employment Research.
- Ebinger, Jane O., 2006, *Measuring Financial Performance in Infrastructure: An Application to Europe and Central Asia*, Policy Research Working Paper 3992, World Bank.
- Estache, Antonio, 1999, *Privatization and Regulation of Transport Infrastructure in the 1990's: Successes... and Bugs to Fix for the next Millennium*, Policy Research Working Paper 2248, World Bank.
- Estache, Antonio, 2006, *Infrastructure: A Survey of Recent and Upcoming Issues*, Policy Research Working Paper, abril (version 2.0), World Bank.
- Estache, Antonio y Ana Goicoechea, 2005, *A "Research" Database on Infrastructure Economic Performance*, Policy Research Working Paper 3643, World Bank.
- Estache, Antonio, Marianela González y Lourdes Trujillo, 2007, *Government Expenditures on Education, Health, and Infrastructure: A Naive Look at Levels, Outcomes, and Efficiency*, Policy Research Working Paper 4219, World Bank.
- Estache, Antonio, Sergio Perelman y Lourdes Trujillo, 2005, *Infrastructure Performance and Reform in Developing and Transition Economies: Evidence from a Survey of Productivity Measures*, Policy Research Working Paper 3514, World Bank/ECA-RES, Université Libre de Bruxelles.
- Fay, Marianne y Mary Morrison, 2005, *Infrastructure in Latin America and the Caribbean: Recent Development and Key Challenges*, vol. 1, World Bank.
- Fay, Marianne y Mary Morrison, 2007, *Infrastructure in Latin America and the Caribbean: Recent Development and Key Challenges*, vol. 2, World Bank.
- Farrell, Michael John, 1957, "The Measurement of Productive Efficiency", *Journal of the Royal Statistical Society*, 120(3), Wiley-Blackwell, pp. 253-290.
- Feinberg, Robert M. y Mieke Meurs, 2007, "Market Reform and Infrastructure Development in Transition Economies", *Review of Development Economics*, 12(2), Wiley-Blackwell, pp. 1-11.
- Fuentes Noé Aarón y Jorge Eduardo Mendoza, 2003, "Infraestructura pública y convergencia regional en México, 1980-1998", *Comercio Exterior*, vol. 53, núm. 2, febrero, México, Banco de Comercio Exterior, pp. 178-187.
- Fuentes, Noé Aarón, 2003, "Crecimiento económico y desigualdades regionales en México: el impacto de la infraestructura", *Región y Sociedad*, vol. xv, núm. 27, Hermosillo, El Colegio de Sonora, pp. 81-106.
- Hernández Trujillo, Fernando, 2006, "El presupuesto en infraestructura y su regulación", en C. E. Hernández-Ochoa, coord., *Estudios de competencia y regulación*, México, Centro de Investigación para el Desarrollo, A.C.

- Herrera Ramos, J. Mario, 1994, *Desarrollo regional e infraestructura*, Colección Retos y Propuestas, México, Fundación Mexicana Cambio XXI, Luis Donald Colosio.
- Holtz Eakin, Douglas y Amy Ellen Schwartz, 1995, "Spatial Productivity Spillovers from Public Infrastructure: Evidence from State Highways", *International Tax and Public Finance*, vol. 2, núm. 3, Springer, pp. 459-468.
- Hsiao, Cheng, 1986, "Analysis of Panel Data", *Econometric Society Monographs*, 11, Cambridge University Press.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1980, *Anuario estadístico de los Estados Unidos Mexicanos*, México.
- INEGI, 1990, *Anuario estadístico de los Estados Unidos Mexicanos*, México.
- INEGI, 2000, *Anuario estadístico de los Estados Unidos Mexicanos*, México.
- INEGI, 2008, *Anuario estadístico de los Estados Unidos Mexicanos*, México.
- INEGI, 1980, *Anuario estadístico por entidad federativa*, México.
- INEGI, 1990, *Anuario estadístico por entidad federativa*, México.
- INEGI, 2000, *Anuario estadístico por entidad federativa*, México.
- INEGI, 2008, *Anuario estadístico por entidad federativa*, México.
- INEGI, 2006, *Atlas: situación actual de la división político-administrativa interestatal. Estados Unidos Mexicanos*, México.
- INEGI, 1971, *Censos económicos*, México.
- INEGI, 1976, *Censos económicos*, México.
- INEGI, 1981, *Censos económicos*, México.
- INEGI, 1986, *Censos económicos*, México.
- INEGI, 1989, *Censos económicos*, México.
- INEGI, 1994, *Censos económicos*, México.
- INEGI, 1999, *Censos económicos*, México.
- INEGI, 2004, *Censos económicos*, México.
- INEGI, 1980, *Censo General de Población y Vivienda*, México.
- INEGI, 1990, *Censo General de Población y Vivienda*, México.
- INEGI, 2000, *Censo General de Población y Vivienda*, México.
- INEGI, 2000, *Sistema de Cuentas Nacionales de México. Producto Interno Bruto 1993-2000*, México.
- Jenks, George F., 1967, "The Data Model Concept in Statistical Mapping", *International Yearbook of Cartography*, 7, International Cartographic Association, pp. 186-190.
- Kim, Sangho; Jaewoon Koo y Young Hoon Lee, 1999, "Infrastructure and Production Efficiency: An Analysis on the Corean Manufacturing Industry", *Contemporary Economic Policy*, vol. 17, núm. 3, julio, Wiley-Blackwell, pp. 390-400.

- Lächler, Ulrich y David Alan Aschauer, 1998, *Public Investment and economic Growth in México*, Policy Research Working Paper 1964, World Bank/Mexico Country Department.
- Lawrence, Denis; John Houghton y Anna George, 1997, "International Comparisons of Australian's Infrastructure Performance", *Journal of Productivity Analysis*, vol. 8, Springer, pp. 361-378.
- Looney, Robert y Peter Frederiksen, 1981, "The Regional Impact of Infrastructure Investment in Mexico", *Regional Studies*, vol. 15, núm. 4, Reino Unido, Taylor & Francis, pp. 285-296.
- Mamatzakis, Emmanuel C., 2007, *An Analysis of the Impact of Public Infrastructure on Productivity Performance of Mexican Industry*, Working Paper 2099, CESIFO
- Mas, Matilde y Joaquín Maudos, 2004, "Infraestructuras y crecimiento regional en España diez años después", en J. Villaverde Castro, coord., *Competitividad regional en la Unión Europea Ampliada*, Madrid, Instituto de Estudios Fiscales, pp. 143-168.
- Noriega, Antonio E. y Matias Fontenla, 2007, "Public Infrastructure and Economic Growth in México", *Trimestre Económico*, vol. LXXIV, núm. 296, pp. 885-900.
- Pereira Alfredo M. y Jorge M. Andraz, 2005, "Public Investment in Transportation Infrastructure and Economic Performance in Portugal", *Review of Development Economics*, 9(2), Wiley-Blackwell, pp. 177-196.
- Presidencia de la república, 2007a, *Plan nacional de desarrollo 2007-2012*, México, en <<http://pnd.presidencia.gob.mx>>, consultado el 2 de septiembre de 2010.
- Presidencia de la república, 2007b, *Programa nacional de infraestructura 2007-2012*, México, en <[www.infraestructura.gob.mx](http://www.infraestructura.gob.mx)>, consultado el 2 de septiembre de 2010.
- Randolph, Susan; Zeljko Bogetic y Dennis Heffley, 1996, *Determinants of Public Expenditure on Infrastructure: Transportation and Communication*, Policy Research Working Paper 1661, World Bank.
- Shah, Anwar, 1988, *Public Infrastructure and Private Sector Profitability and Productivity in Mexico*, Planning and Research Working Paper núm. 100, World Bank.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), 2001, *Primer informe de labores 2000-2001*, México.
- SCT, 2009, *Anuario Estadístico 2009*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México.
- Secretaría de Relaciones Exteriores/Comisión Internacional de Límites y Aguas entre México y Estados Unidos, 2008, sección mexicana, Informes anuales.

- Su, Ming y Quanhou Zhao, 2006, *The Fiscal Framework and Urban Infrastructure in China*, Policy Research Working Paper 4051, World Bank.
- Trujillo Lourdes, Noelia Martín, Antonio Estache y Javier Campos, 2002, *Macroeconomic Effects of Private Sector Participation in Latin America's Infrastructure*, Working Paper 2906, World Bank Institute.
- U.S. Government, 2008, Department of Transportation, Federal Highway Administration, Highway Statistics, Washington, en <<http://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/statistics.cfm>>, consultado el 17 de febrero de 2009.
- U. S. Government, 2008, Bureau of Transportation Statistics: State Transportation Statistics, Washington, en <[http://www.bts.gov/publications/state\\_transportation\\_statistics](http://www.bts.gov/publications/state_transportation_statistics)>, consultado el 17 de febrero de 2009.
- U.S. Census Bureau, 2000, *Census of Population and Housing*, Washington, en <http://www.census.gov/prod/cen2000/>>, consultado el 17 de febrero de 2009.
- Van Ryneveld, Philip, 2006, *Mobilizing Urban Infrastructure Finance within a Responsible Fiscal Framework South African Case*, Policy Research Working Paper 4042, World Bank.
- World Bank, 2005, México Infrastructure Public Expenditure Review. Report No. 33483-MX.

