

Índice de Malmquist y cambio tecnológico del sistema de transporte carretero de carga internacional*

Malmquist Index and Technological Change in the International Freight Road Transport System

*América Ivonne Zamora Torres ***

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo identificar el Índice de Malmquist y el cambio tecnológico del sistema de transporte carretero de carga internacional en el comercio exterior, considerando los factores que afectan la movilización de carga internacional a través del modelo DEA en el periodo 2010-2018; asimismo, se pretende obtener resultados de eficiencia técnica global, eficiencia técnica y eficiencia de escala. Los resultados muestran un aumento de la productividad total de los factores, sin embargo, ese incremento de productividad es significativamente desigual entre las diferentes entidades federativas.

Palabras clave: Eficiencia, transporte carretero de carga internacional, DEA, Malmquist y cambio tecnológico.

Clasificación JEL: F10, F14, R40 y R41.

ABSTRACT

This paper aims to identify the Malmquist index and technological change of the international freight road transport system in foreign trade, considering the factors that affect the movement of international freight through the DEA model, considering the period 2010 to 2018, thus the aim is to obtain results of global technical efficiency, technical efficiency and scale efficiency. The results show an increase in the total productivity of the factors; however, this increase of the productivity is significantly unequal between the different federative entities.

Keywords: Efficiency, international freight transport, DEA, Malmquist.

JEL Classification: F10, F14, R40 y R41.

* Fecha de recepción: 14/12/2017. Fecha de aprobación: 23/03/2020.

** Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. E-mail: americazt@hotmail.com. ORCID: 0000-0003-1811-4711.

ANTECEDENTES

La eficiencia en la logística del comercio internacional es parte importante en la competitividad que un país pueda tener a nivel mundial. Dicho sistema logístico se compone de cada una de las fases o etapas por las que el producto terminado debe pasar a fin de llegar al importador, ya sea el consumidor final o un intermediario. Por lo que, a grandes rasgos, el sistema logístico se puede agrupar en aduanas, almacenes, transporte internacional de carga y servicios logísticos como trazabilidad y rastreo. Dentro de estos eslabones, uno de los pasos cruciales es, sin duda, el transporte internacional de carga, que habrá de trasladar la mercancía cruzando fronteras no sólo con una ejecución en tiempo, sino además preservando el producto en las mejores condiciones posibles.

De acuerdo con datos de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT), al cierre de 2016, en México circulaban 860 mil unidades de carga en las carreteras de nuestro país, lo que hace a este sistema un factor clave en la economía del país. Actualmente, la red carretera nacional se ha convertido en la vía más relevante en México para el movimiento de mercancías representando más del 85 por ciento del total de carga de comercio exterior (SCT, 2015). Sin embargo, esto hace relevante plantear: ¿cuál es el aumento de productividad en el transporte carretero de carga internacional?

En este sentido, la infraestructura de transportes tiene un papel trascendental en el marco del comercio internacional; esto se da principalmente por el suministro de materias primas al sector industrial, el movimiento de productos intermedios a centros de procesamiento y la distribución de productos terminados a los centros de almacenamiento, para la exportación o el consumo final. Las características propias del medio de transporte, como cobertura, capacidad de tonelaje movido, distancia recorrida, tiempo de traslado y costos de operación, son las ventajas y desventajas por las que el usuario decide el reparto modal de los flujos en autotransporte.

Además, las carreteras son fundamentales para el comercio, pues posibilitan el desplazamiento de mercancías de un mercado a otro de manera rápida en distancias cortas y medias. Además, dependiendo de su cobertura, brindan mayor flexibilidad que otros modos de transporte, y facilitan el movimiento de mercancías a través de diferentes medios de transporte generándose redes de corredores intermodales de transporte, necesarios para el flujo expedito de las mercancías. Ya que se permite a través del transporte multimodal la facilitación de mercancías gracias al uso de unidades de carga estandarizada como contenedores o remolques (Puettman y Stadtler, 2010; Crainic y Florian, 2008).

Por lo que una adecuada infraestructura del sistema de transporte de carga que esté a la vanguardia tecnológica y permita una mayor cobertura geográfica,

así como una reducción en tiempos y costos, además de garantizar la entrega de los productos a comerciar en óptimas condiciones, puede ser la diferencia para que un producto se considere competitivo o incluso la mejora del crecimiento comercial internacional de un país.

Dadas las grandes diferencias que existen al interior de las entidades federativas, este artículo pretende analizar la evolución temporal en la productividad respecto al transporte de carga de comercialización internacional, para lo cual una descomposición del Índice de Malmquist, permitiría separar los efectos de la variación en la eficiencia de los efectos del cambio tecnológico.

Derivado de los planteamientos presentados surge la hipótesis de investigación siguiente: el transporte carretero de carga internacional por entidad federativa en el comercio exterior muestra un incremento en su productividad del periodo 2010 a 2018 derivado de los cambios tecnológicos en el sector. De la hipótesis anterior se deriva que el objetivo de esta investigación es determinar el Índice de Malmquist y cambio tecnológico del sistema de transporte carretero de carga internacional en el comercio exterior por entidad federativa, considerando los factores que afectan la movilización de carga internacional.

I. ESTADO DEL ARTE DEL TRANSPORTE DE CARGA Y LA LOGÍSTICA DEL COMERCIO INTERNACIONAL

El Banco Mundial en su informe *Connecting to Compete 2019* afirma que la logística se relaciona con el nivel de eficiencia de los países al transportar bienes físicos a través y dentro de las fronteras, por lo que el desempeño logístico de un país puede determinar su participación en los mercados internacionales.

Distintos instrumentos, como el Índice de Desempeño Logístico, han aportado información valiosa sobre la situación de cada uno de los países en relación con su logística dentro del comercio internacional. De acuerdo con Jean-François Arvis, a partir del análisis de dicha información es posible observar qué países invierten en reformas relacionadas con la logística, particularmente en lo relativo a infraestructura y facilitación del comercio (Arvis *et al.*, 2019).

Hertel y Mirza (2009) evalúan el efecto del índice sobre los flujos de comercio con datos de 95 países para el año 2001 y concluyen que el coeficiente del exportador pesa más que el del importador y los componentes aduanas e infraestructuras son los de mayor impacto sobre el comercio. También, Felipe, Kumar y Abdón (2010) hacen un análisis por componentes del mismo índice, teniendo como resultado que la infraestructura es el factor determinante de los flujos comerciales asiáticos, seguido de la logística y las aduanas.

Respecto al papel de México en dicho índice, se observa que escaló de la posición 56 a la 51 en 2018 de 160 economías, mientras que los países líderes en logística fueron Alemania, Holanda y Suecia (Arvis *et al.*, 2018). Es importante recalcar que el índice se compone de seis dimensiones, entre ellas: el transporte de carga.

Por otra parte, el Foro Económico Mundial (2018) llega a conclusiones similares al establecer que México se ubica en el lugar 40 de 115 en el Índice de Competitividad e Infraestructura.

Luttermann, Kotzab y Halaszovich (2017) afirman que los sistemas logísticos están fuertemente ligados con el comercio y la inversión, razón por la que han ganado importancia si se busca la competitividad del comercio internacional. Sin embargo, para aumentar la productividad, es necesario un progreso en las tecnologías de transporte. Asimismo, Mankiw (2010) puntualiza que el comercio internacional es un acelerador del desarrollo.

De acuerdo con la Asociación de Transporte de Carga —FTA por sus siglas en inglés— (2016), la logística tiene un papel vital en el bienestar de una sociedad, ya que sin la conectividad necesaria y un buen desempeño de la red logística de transporte tanto la disponibilidad como la cantidad de los recursos con los que contamos disminuirían drásticamente.

Según Manheim (1979), la mayoría de las actividades globales de transporte se lleva a cabo en cinco grandes modalidades: carretera, ferroviaria, aérea, acuática y ductos. Cada una de ellas se divide en dos o más medios específicos, que se evalúan en términos de los siguientes atributos:

- Ubicación: grado de accesibilidad al sistema, facilidad de rutas.
- Movilidad: cantidad de tránsito, capacidad y rapidez para transportar.
- Eficiencia: relación entre costos totales (directos más indirectos) del transporte y su productividad.

La infraestructura de un país tiene un papel transcendental en la movilización de su comercio, tema ampliamente tratado en diversos estudios. Por ejemplo, Brümmerstedt, Flitsch y Jahn (2015) muestran en su estudio la importancia de las redes de transporte, mientras que Bougheas, Demetriades y Morgenroth (1999) explican las circunstancias en las que la infraestructura de transporte afecta el volumen de comercio entre dos países.

Para François y Manchin (2007), el transporte y la infraestructura de comunicaciones, así como la calidad de las instituciones, son factores determinantes, cuya importancia no sólo afecta a los niveles de exportaciones, sino también a su

probabilidad de referencia de entrega de bienes con otros países, y de esta manera reflejan al estado de la infraestructura propia y la de los socios comerciales.

Se cree que el estado de la reducción en los costos del comercio internacional es un tema primordial que se relaciona con las medidas de facilitación del comercio, el desarrollo económico y el crecimiento del comercio internacional. A ese respecto, muchas veces se describe al sistema de transporte como el sistema circulatorio de la sociedad moderna. De ahí que las carreteras constituyan una parte fundamental en los sistemas de transporte (Engström, 2016).

Hummels, Ishii y Yi, (2001) señalan que el crecimiento del comercio internacional está positivamente relacionado con la reducción de los costos del transporte internacional. Por su parte, Brümmerstedt, Flitsch y Jahn (2015) muestran en su estudio funciones de costos de los modelos de carga y concluyen que el transporte carretero es de gran importancia en el comercio internacional intermodal.

La comunidad europea no sólo ha relacionado la liberalización del comercio con reducciones de costos de transporte, también ha adoptado diversas regulaciones, guías y presupuesto para aumentar la productividad, y así ayudar al desarrollo de los países mediante un cambio tecnológico que lleve a la generación de una Red de Transporte Europea de comercio entre las naciones que forman la Unión Europea (Comisión Europea, 2019). Por lo tanto, se puede afirmar que el transporte resulta ser una actividad de alto valor agregado dentro de una cadena de suministro, donde hasta dos tercios de los costos logísticos se pueden asociar con el transporte de bienes (Caplice y Sheriff, 2011; Federal Highway Administration, 2005).

Tras la revisión de literatura especializada en el tema que se busca abordar, se identifica la necesidad de un eficiente sistema de transporte que incluya la modernización de los factores o variables del sistema de transporte carretero, como pueden ser mejoras en infraestructura tanto carretera como del medio de transporte, capacitaciones, implementación de sistemas de calidad que impliquen una reducción de costos, y, por ende, un aumento de la productividad mediante un incremento en el comercio internacional.

II. REFERENCIAS Y REFERENTES: ÍNDICE DE MALMQUIST Y CAMBIO TECNOLÓGICO

El Análisis Envolvente de Datos (DEA por sus siglas en inglés) es una técnica ampliamente utilizada para evaluar el desempeño de diferentes unidades homogéneas. Partiendo de los *inputs* y *outputs*, este técnica metodológica proporciona un ordenamiento de los agentes o Unidad de Toma de Decisión (DMU por sus siglas

en inglés) al otorgarles una puntuación de eficiencia relativa. Los modelos DEA aprovechan el *know-how*¹ de las DMU, y una vez determinado quién es eficiente, buscan fijar objetivos de mejora para los no eficientes a partir de los logros de los primeros. Los modelos DEA pueden tener dos orientaciones: hacia la optimización en la combinación de *inputs* o hacia la optimización en la producción de *outputs* (Cooper, Seiford y Tone, 2007).

Entre la diversidad de variantes sobre los modelos DEA, destaca el Índice de Malmquist que, adicionalmente a la puntuación de eficiencia, provee una ventana temporal que permite ver la descomposición del cambio productivo en mejoras de eficiencia técnica y transformaciones tecnológicas (Coelli *et al.*, 2005).

A partir de la primera contribución temporal del Índice de Malmquist en 1953, se han realizado diversos avances en la mejora del modelo como lo es un Malmquist no radial basado en holguras (Zhu, 1996; Tone, 2002; Chen 2003); siendo una combinación entre los métodos análisis de ventana y Malmquist (Sueyoshi y Goto, 2001; Sueyoshi y Aoki, 2001).

Asimismo, destacan diversos estudios en torno a sus aplicaciones, por ejemplo, su uso en compañías petroleras (Sueyoshi y Goto, 2013), la emisión de gas carbónico en compañías agrícolas de China (Boqiang y Rilong, 2015) e instituciones microfinancieras de Kenya (Mahinda y Meoli, 2015), entre otros análisis.

Por su parte, la eficiencia técnica cambiante en el tiempo se refiere al acercamiento o distanciamiento del nivel de producción de una unidad productiva con respecto a la frontera de posibilidades de producción del sector al que pertenece en diferentes períodos, mientras que el cambio técnico o cambio tecnológico se asocia con un desplazamiento de la frontera de posibilidades de producción. Entonces, al disponer de información de datos panel que involucre varios períodos, es posible que se presente el cambio técnico, así como que la eficiencia técnica también se modifique con el tiempo.

Sin duda, el artículo de Solow (1957) sobre el cambio tecnológico y la función de producción agregada permitió que recobrara fuerza el concepto de productividad total de los factores (PTF). En dicho artículo, Solow cuantifica las variaciones de la producción ocasionadas por el progreso técnico en forma residual, razón por la cual al progreso técnico se lo conoce también como residuo de Solow o PTF.

¹ Saber cómo.

III. METODOLOGÍA

La eficiencia medida como el grado mínimo de recursos utilizados asociado a un máximo nivel de *outputs* generados logra una optimalidad bajo ciertas condiciones impuestas como pueden ser los precios y la tecnología. De este tipo de análisis se desprende una frontera o límite derivado de las observaciones realizadas de cada una de las unidades consideradas, que pueden ser empresas, instituciones, países, regiones, etcétera.

Cuando dicho óptimo está definido por la función de producción, la medida de eficiencia que se obtiene se denomina eficiencia técnica. De tal manera que si la comparación se realiza considerando un óptimo de índole económico (como pueden ser costos, maximización de ingresos o beneficios), la medida de eficiencia que resulta de aplicar el modelo se denomina eficiencia económica.

El primero en utilizar la idea de Malmquist para la comparación de una institución en dos momentos diferentes fue Moorsteen en 1961, quien buscaba ver cómo un *input*² puede ser deflactado para producir el nivel observado de *output*³ del otro periodo.

Caves, Christensen y Diewert en 1982 establecieron la relación entre los índices de Malmquist (1953) y Törnqvist (1936) desarrollando el Índice de Malmquist a partir de dos enfoques: en el primero se analizan las diferencias de productividad como las diferencias en el máximo *output* alcanzable dado cierto nivel de *inputs*, conocido como Índice de Malmquist de productividad basado en el *output*; en el segundo se examinan las diferencias de productividad como las diferencias en el mínimo nivel de *inputs* que permiten producir ciertos niveles de *outputs* determinados, conocido como Índice de Malmquist de productividad basado en el *input*.

Berg, Forsund y Jansen (1992) hicieron las conexiones entre los conceptos de función de distancia y las medidas de eficiencia de Farrell (1957), a partir de lo cual se pudieron observar las unidades analizadas ineficientes, sustituyendo el concepto de frontera tecnológica por tecnología.

El modelo que se utiliza en el presente trabajo es el Índice de Malmquist de productividad basado en el *input*. La justificación reside en que al ser las unidades de análisis organismos públicos, se parte de que el máximo beneficio tendría que ser un mayor flujo comercial o, en otras palabras, una mayor entrada y salida de productos en los diferentes territorios nacionales, por lo que no cabría esperar una reducción o un *output* estable, sino una minimización de los recursos empleados por el gobierno en la administración aduanera que se traduciría teóricamente en

² Variables de entrada o insumos.

³ Variables de salida o resultados.

un aumento de recursos disponibles en otros sectores que también coadyuven al crecimiento económico de los países. Adicionalmente, de acuerdo con Lovell (2002), a pesar de que la exogeneidad no es un problema estadístico en DEA como lo es para los modelos econométricos, la elección entre las medias orientadas en *inputs* o en *outputs* se sujeta a las mismas consideraciones. De modo que la administración aduanera de los diferentes países objeto de estudio está sometida a condiciones de demanda, ajustando libremente sus *inputs*, y el modelo orientado a los *inputs* sería pues el más apropiado.

Para ilustrar el cálculo del Índice de Malmquist, supóngase que la función de transformación que describe la tecnología de las empresas en cada periodo es:

$$F_t(Y^t, X^t) = 0 \quad t=1, \dots, T \quad (1)$$

Donde $y^t = (y_{1,t}^t, \dots, y_N^t) \in R_N^+$ es el vector de *outputs* y $x^t = \cdot \in R_M^+$ denota el vector de *inputs*, correspondientes ambos al periodo t .

La tecnología puede ser representada de una forma más conveniente por medio de la “función distancia de *input*” utilizada por Caves *et al.* (1982):

$$D^r(y^s, x^s) = \text{Max } \mu_{rs} \left[\mu_{rs} : F_r\left(y^s, \frac{x^s}{\mu_{rs}}\right) = 0 \right] \quad r, s = 1, \dots, T; r < s \quad (2)$$

En donde escalar μ_{rs} es la máxima deflación del vector de *inputs* del periodo $s(x^s)$ tal que el vector *inputs* deflactado resultante x^s/μ_{rs} y el vector de *outputs* (y^s) estén en la frontera del periodo r . Si $r=s$, está comparando cada empresa con la frontera del periodo al que pertenece, la función distancia de *input* $D^r(y^r, x^r) \geq 1$, será igual a la unidad en el caso de que la empresa evaluada sea eficiente y, por lo tanto se encontrara en la frontera. Por el contrario, si $r \neq s$ la función distancia puede tomar valores inferiores a la unidad, ya que la observación pertenece a un periodo diferente al de la frontera con la cual se está comparando (frontera de referencia).

El Índice de Malmquist de productividad basado en los *inputs*, tomando la tecnología del periodo r como referencia, se define como:

$$M^r(y^s, x^s, y^r, x^r) = \frac{D^r(y^r, x^r)}{D^s(y^s, x^s)} \quad (3)$$

Un $M_r > 1$ indica que la productividad del periodo s es superior a la del periodo r , puesto que la deflación necesaria del vector de *inputs* del periodo r para estar en la frontera del periodo r es superior a la aplicable al vector de *inputs* del periodo s para que esté en la frontera del periodo r . Por el contrario, un M_r indica que la productividad ha descendido entre los periodos r y s .

Los números índices han sido frecuentemente utilizados para analizar el cambio productivo, entre ellos: el índice de Fisher (1922), el índice de Trnqvist (1936) y el índice de Malmquist (1953). La ventaja de los números índices del tipo Fisher y Trnqvist es que pueden ser calculados sin recurrir a la estimación de la tecnología subyacente, ya que únicamente precisan datos de cantidades (de *outputs* o de *inputs*) y precios.

Como señalan Grifell-Tajté y Knox (1993a), el Índice de Malmquist presenta tres ventajas frente a los de Fisher y Trnqvist. En primer lugar, no necesita suponer comportamiento minimizador de costes o maximizador de ingresos. En segundo lugar, no precisa de datos relativos o precios, lo cual es una gran diferencia, sobre todo en aquellos casos en los que existan graves carencias estadísticas, o simplemente en los casos en los que la existencia de regulaciones sobre los mismos y/o la presencia de poder de mercado reflejado en los precios hagan desaconsejable su utilización. Por último, permite la descomposición del cambio productivo en cambio en la eficiencia técnica (*catching-up*)⁴ y cambio técnico (o desplazamiento de la frontera), siendo éste el objetivo central del presente trabajo. Ahora bien, el inconveniente principal que presenta el Índice Malmquist es que para su cálculo individual precisa, según se ha visto, el previo cálculo de la distancia, por lo que requiere la estimación de la función de producción.

La descomposición del cambio productivo en cambio en la eficiencia técnica y progreso (regreso) técnico fue una cuestión abordada por Nishimizu y Page (1982). Estos autores analizaron el sector industrial de la antigua Yugoslavia en el periodo 1965-1978 mediante la especificación, y posterior estimación, por métodos de programación matemática de una función de producción *translong* imponiendo rendimientos constantes a escala.

Después de este trabajo pionero, Berg *et al.* (1992) obtuvieron una descomposición similar del cambio productivo utilizando el Índice de Malmquist. Para su estimación emplearon la técnica no paramétrica determinista DEA, mucho más flexible que la técnica paramétrica adoptada por Nishimizu *et al.* (1982).

Desde entonces, las aportaciones empíricas y teóricas más relevantes de la metodología referida corresponden a los trabajos de Grifell-Tajté y Knox (1993a), que aplican la metodología de Berg *et al.* (1992) para analizar el cambio productivo de las cajas de ahorro españolas; Grifell-Tajté y Knox (1993b), en donde se

⁴ Movimiento de ajuste entre un cambio de producción de un periodo a otro.

propone una descomposición alternativa que permite analizar adicionalmente la posible presencia de sesgo tecnológico, y Grifell-Tajté y Knox (1996), en donde se demuestra que el Índice de Malmquist ofrece una medida imprecisa del cambio productivo cuando los rendimientos a escala no son constantes.

La referida descomposición del Índice de Malmquist en el efecto *catching-up* y desplazamiento de la frontera puede expresarse como (Berg, Forsund y Jansen, 1992; Grifell-Tajté y Knox, 1993a, 1993b y 1996):

$$M^r(y^s, x^s, y^r, x^r) = \frac{D^r(y^r, x^r)}{D^r(y^s, x^s)} = \frac{D^r(y^r, x^r)}{D^r(y^s, x^s)} \cdot \frac{D^r(y^r, x^r)}{D^r(y^s, x^s)} \quad (4)$$

El primer cociente representa el acercamiento de las empresas a la frontera ocurrido entre los periodos r y s , mientras que el segundo término muestra el desplazamiento relativo de la frontera entre los dos períodos.

Si la empresa se encuentra en ambos períodos en sus fronteras respectivas, el primer término será igual a 1 y el cambio productivo experimentado entre los dos períodos vendrá explicado únicamente por el movimiento de la frontera. Por el contrario, si el segundo término es 1 (la frontera no se ha desplazado), los cambios de productividad estimados por M_r vendrán explicados únicamente por los cambios en la eficiencia de las empresas en ambos períodos (*catching-up*). En los demás casos, los cambios productivos reflejados en M_r serán una mezcla de cambios en la eficiencia y los desplazamientos de la frontera.

Färe y Lovell (1978) formalizaron la relación existente entre la función distancia de input y las medidas de Farell ahorradoras de *inputs* $E_{r_s}(y^r, x^r)$, y demostraron que la función distancia es igual a la inversa de la medida de Farell ahorradora de *inputs* $D^r(y^r, x^r) =$

Dado que en el caso de rendimientos constantes a escala se cumple que $\frac{x_r^s}{x_r^r} = y^s / y^r$, el Índice de Malmquist puede ser escrito en este caso como:

$$M^r(y^s, x^s, y^r, x^r) = \frac{D^r(y^r, x^r)}{D^r(y^s, x^s)} = \frac{\frac{x_r^s}{x_r^r}}{\frac{E_{rs}}{E_{rr}}} = \frac{\frac{x_r^s}{x_r^r}}{\frac{y^s}{y^r}} = \frac{\frac{x_r^s}{x_r^r}}{\frac{y^s}{y^r}} \quad (5)$$

Que en este caso se reduce a un simple ratio de índices de productividad de los períodos r y s .

Para este sencillo ejemplo la descomposición del Índice de Malmquist en el efecto *catching-up* (CU) y el cambio técnico o desplazamiento de la frontera (DF) puede expresarse como:

$$M^r(y^s, x^s, y^r, x^r) = \frac{E_{rs}}{E_{rr}} = \frac{E_{ss}}{E_{rr}} \cdot \frac{E_{rs}}{E_{ss}} = CU(y^s, x^s, y^r, x^r) \cdot DF(y^s, x^s, y^r, x^r) \quad (6)$$

En donde el *catching-up* o acercamiento relativo a la frontera ocurrido entre el periodo r y s sería $CU(y^s, x^s, y^r, x^r) = \frac{E_{ss}}{E_{rr}} = (x_s^s/x_s^r)/x_r^r/x^r$ ⁸ y el desplazamiento de la frontera entre los dos periodos vendría expresado por $DF = (y^s, x^s, y^r, x^r) = \frac{E_{rs}}{E_{ss}} = (x_r^s/x^s)/(x_s^s/x^s) = x_r^s/x_s^s$ ⁹.

En cuanto a las especificaciones, se considera un modelo con orientación *output* en el cálculo del Índice de Malmquist, ya que se pretende maximizar las exportaciones con los insumos que se tienen, por lo que resulta más adecuado utilizar un modelo con orientación *output*.

Otra de las limitantes de los modelos DEA es el número total de *inputs* y *outputs* que se pueden utilizar para el análisis. Específicamente, es recomendable que el número de DMU a ser analizado (entidades federativas en esta investigación) sea al menos tres veces más grande que el número en suma de *inputs* y *outputs* incluidos en el análisis (Cooper, Seiford y Tone, 2006). Esta restricción implica de entrada un problema al tratar de seleccionar los *inputs* y *outputs* más relevantes, por lo que se consultó información de los reportes de la Organización Mundial de Comercio (OMC) y el SCT de donde se seleccionaron principalmente los siguientes *inputs* y *outputs*:

III.1. *Inputs*

Los *inputs* seleccionados se consideraron a partir de cuatro variables principales: 1) la infraestructura carretera; 2) la infraestructura de las empresas transportistas; 3) los recursos humanos y 4) la calidad. De dichas variables se desprenden los *inputs* a utilizar considerando el cambio tecnológico en la infraestructura carretera, las empresas transportistas y los estándares de calidad, así como la capacitación de los recursos humanos. Quedando la operacionalización de las variables de la siguiente manera:

1. Infraestructura carretera. Ésta se mide con dos indicadores:

- a) Las carreteras pavimentadas, es decir, el número de kilómetros de carretera que al momento del estudio se registran como asfaltados. Cabe señalar que de acuerdo con las regulaciones internacionales, la circulación de vehículos de carga internacional sólo puede ser por este tipo de caminos.

- b) Densidad vehicular de carga. Este indicador se refiere al número de vehículos de carga que efectivamente circulan por las carreteras y autopistas, con el cual se puede medir el aprovechamiento de estas vías de transporte.
2. Infraestructura de las empresas transportistas. Se trata de la flota con la que cuentan las empresas transportistas de carga dedicadas al comercio internacional Para los efectos de este estudio dicha infraestructura se dividió en tres indicadores.
- a) Unidades motrices de carga. El número de vehículos en uso para carga de transporte internacional.
 - b) Número de empresas de transporte internacional. Si bien existe en la actualidad un vasto número de empresas dedicadas al movimiento de bienes, sólo algunas tienen realmente los registros y los requerimientos para realizar transporte de bienes de manera internacional, de ahí que es importante conocer cuál es el verdadero recurso con el que se cuenta para el movimiento de mercancías.
 - c) Licencias internacionales. Este indicador permite medir el número de choferes con licencia para conducir transporte de carga fuera de su territorio nacional. Actualmente, tener dicha licencia es requisito indispensable en el tránsito de mercancías.
3. Recursos humanos. Esta variable pretende medir el número de recursos humanos con el que se cuenta, a fin de que dichos elementos estén a disposición para hacer más eficiente la circulación de mercancía.
- a) Conductores capacitados. El indicador mide el número de conductores que han tomado los cursos correspondientes y si han pasado las evaluaciones para ser conductores certificados para mover mercancías internacionalmente.
4. Calidad. La calidad de los servicios logísticos del transporte es una variable que se considera crucial en términos de eficiencia, siendo los indicadores:
- a) Centros de capacitación. Dicho indicador mide el número de centros de capacitación que existen en el país para servicios especializados de carga de transporte internacional.

- b) Número de inspecciones realizadas. Este indicador se refiere al número de revisiones que se realizan tanto de la carga como del transporte y los transportistas a fin de vigilar que todo esté en forma y no se cometan ilícitos.
- c) Número de verificaciones. Este indicador abarca las supervisiones de control de calidad, cumplimiento de regulaciones y certificaciones.

III.2. *Outputs*

Por su parte, la selección de *outputs* obedece al fin último de las operaciones de comercio exterior: un mayor flujo de productos en los mercados internacionales, por lo que será importante medir el nivel de comercio internacional que se tiene, en particular, a través de las exportaciones, considerando el valor de la mercancía comercializada. El indicador por utilizar es:

- a) Valor de las exportaciones. Se considera el valor registrado de la mercancía en aduana por tipo de transporte, dicho valor está estimado en dólares americanos y considera un valor FOB.⁵

Cabe señalar que todos los valores de *inputs* o variables de entrada utilizados fueron obtenidos de la base de datos Estadística del Autotransporte de la SCT para el periodo de 2010 a 2018, de donde se desprende la composición del autotransporte de carga para fines de comercio exterior. En lo que respecta a la variable de salida u *output*, ésta se obtuvo de las bases de datos del INEGI.

IV. RESULTADOS

El índice de productividad de Malmquist genera una frontera de posibilidades de producción para cada periodo, en este caso 2010-2018, a fin de analizar los cambios en la productividad de cada una de las DMU en este periodo. La medición del Índice de Malmquist representa el crecimiento de la productividad total de los factores de una DMU, es decir, del sistema de transporte de carga por entidad federativa, en donde, por un lado, se refleja el progreso o retroceso en la eficiencia y, por el otro, el progreso o retroceso de la frontera tecnológica entre dos periodos bajo el marco de múltiples entradas y salidas (Cooper *et al.*, 2007). De tal manera que un coeficiente mayor a 1 representa un cambio o progreso en la productividad

⁵ Free on Board o Libre a Bordo, INCOTERMS 2010.

total de los factores de la unidad analizada, un valor igual a 1 indica un valor constante en la productividad y, finalmente, un valor inferior a 1 significa un deterioro en la productividad total de los factores. El análisis llevado a cabo se realizó con el software MAXDEA.

Se observa en la tabla 1 que durante el periodo estudiado, en general, la mayoría de las entidades federativas tuvo un aumento en su productividad, en lo que se refiere al transporte de carga carretero. Entre las entidades que sobresalen con el mayor incremento se encuentran Durango en el periodo de 2012 a 2013, el Estado de México, San Luis Potosí, Sinaloa, Chihuahua y Guanajuato. En cambio, Coahuila, Morelos y Colima mostraron un menor crecimiento en su productividad.

Cabe señalar que para el periodo 2012-2013 el gobierno de Durango invirtió un monto de 2,826 millones de pesos en infraestructura carretera. Entre los proyectos que llevaron a cabo destacaron los caminos: Durango-La Flor, La Flor-Mimbres, Durango-Parral, Durango-Tepic, entre otros. Por su parte, los gobiernos de Chihuahua y Guanajuato incrementaron su inversión en infraestructura carretera para los periodos 2012-2013 y 2013-2014, respectivamente, con lo cual fue posible realizar innovaciones en los sistemas carreteros y de transporte de carga internacional.

Asimismo, el periodo 2015-2016 sobresale debido a que entidades federativas como Ciudad de México, Jalisco, Morelia, Nayarit, Nuevo León y Sinaloa mostraron grandes incrementos en su productividad. Se observa también la importancia de correr modelos con periodos más largos, puesto que casos como el de Sinaloa o Jalisco resultan relevantes al mostrar años con un valor de cero y otros años con un salto importante en su productividad. El salto exponencial en Sinaloa se explica porque para 2015, de acuerdo con la SCT, se destinaron 363,840.071.73 millones de pesos para la construcción y la rehabilitación de carreteras entre las que destacan las de Topolobampo-Chihuahua y Las Brisas-Establecimiento Don.

Tabla 1. *Índice de Malmquist del transporte carretero de carga 2010-2018.*

No	DMU	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2010-2018	Promedio
1	Aguascalientes	1.03	1	1	1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.87	0.99
2	Baja California	0.94	1.11	1.08	1.08	0.59	2.02	0.73	0.96	0.98	1.05
3	Baja California Sur	1	1	1	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.07	1.01
4	Campeche	1	1	1	1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	1.00
5	Chiapas	0.88	1	1	1	0.08	3.83	0.11	9.53	0.90	2.04
6	Chihuahua	1.1	1.05	3.79	0.94	0.39	0.58	0.40	2.53	1.07	1.32
7	Coahuila	1.33	0.62	1.05	0.98	1.12	0.42	1.00	1.00	0.90	0.94
8	Colima	1	1	0.04	0.69	0.44	2.00	0.30	2.81	1.16	1.05
9	Ciudad de México	1	1	1	1.13	0.07	14.14	0.51	2.08	0.76	2.41
10	Durango	0.99	1.02	15.32	0.12	0.21	2.96	0.15	3.48	0.79	2.78
11	Estado de México	1.61	1.29	1	1.09	0.00	0.00	0.10	3.56	0.84	1.05
12	Guanajuato	1.61	0.57	0.95	2.88	3.77	0.56	0.31	1.23	0.94	1.42
13	Guerrero	1	1	1	1	0.00	0.00	0.82	1.56	1.03	1.06
14	Hidalgo	0.72	0.68	0.97	1.23	0.30	3.82	0.47	1.45	0.75	1.16
15	Jalisco	0.76	1.3	1.08	0.91	0.01	7.02	0.11	0.00	0.00	1.47
16	Michoacán	0.96	1.11	1.23	0.72	0.30	1.90	0.09	3.00	0.92	1.14
17	Morelos	1	1	1	1	0.17	7.44	1.00	1.13	1.04	1.64
18	Nayarit	1	1	1	1	0.08	8.83	0.79	1.09	0.93	1.75
19	Nuevo León	1.12	0.95	1.42	0.81	0.11	11.10	0.27	7.77	1.00	2.73
20	Oaxaca	1	1	1.69	1	0.13	2.44	0.39	3.93	0.94	1.39
21	Puebla	1.09	0.56	0.87	0.96	0.27	2.78	0.28	3.03	0.93	1.20
22	Querétaro	1.35	1.45	0.96	1.08	1.22	0.76	1.00	0.72	1.01	1.06
23	Quintana Roo	1	1	1	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
24	San Luis Potosí	1.08	1.19	1.12	1.12	0.53	1.49	0.53	2.16	1.23	1.16
25	Sinaloa	1.17	0.68	1.23	3.98	0.00	306.70	0.00	0.00	0.82	44.94
26	Sonora	0.95	1.01	1.3	0.94	1.28	1.31	0.86	0.98	1.05	1.07
27	Tabasco	1	1	0.94	0.79	0.86	0.98	0.52	1.50	0.95	0.95
28	Tamaulipas	1.04	1	1.02	1.2	0.51	1.30	0.45	2.02	0.87	1.05
29	Tlaxcala	1	1	1	1	1.00	1.00	1.00	1.37	1.04	1.05
30	Veracruz	1.22	1.51	0.84	0.96	0.05	5.55	0.28	5.76	0.96	1.90
31	Yucatán	0.726	0.86	1	1	1.00	3.03	0.07	3.00	0.90	1.29

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA y Malmquist.

La eficiencia técnica cambiante en el tiempo se refiere al acercamiento o distanciamiento del nivel de producción de una unidad productiva con respecto a la frontera de posibilidades de producción del sector o la industria a la que pertenece, a diferencia del cambio técnico, que está asociado al desplazamiento de la frontera de posibilidades de producción.

Es importante señalar que en el diferencial del Índice de Malmquist, al contrastar el año 2010 con 2018, muchas de las entidades federativas mostraron diferencias interesantes en su indicador. Tal es el caso de Colima, donde el valor del índice es de 1.16, lo que significa que no sólo mostró un buen indicador de eficiencia, sino que además este valor se vio incrementado a lo largo del periodo estudiado. Cabe recordar que cada periodo se analiza de manera individual, es

decir, un año respecto al siguiente, y es hasta la última columna donde se revisan los movimientos de todo el periodo.

El modelo utilizado se basa en el concepto de eficiencia técnica como objetivo del cambio tecnológico que en algunos sectores juega un papel clave para la mejora de la productividad. En este análisis, justamente los valores obtenidos del cambio tecnológico (tabla 2) permiten observar el grado de proceso en la tecnología empleada en el sistema de transporte carretero de carga.

Por lo tanto, para el conjunto del sector logístico de transporte carretero de carga considerado en este estudio, los niveles medios de cambio en eficiencia alcanzados muestran que la mayor parte de las entidades federativas no lleva el ritmo de crecimiento de aquellas que son líderes respecto al sector de transporte carretero de carga internacional, mientras que las evoluciones medias de productividad experimentadas se deben al cambio técnico en el desplazamiento de la frontera. El cambio tecnológico mayor lo presentó Sinaloa, con un valor promedio de 26.69, seguido de Guanajuato, con un valor 4.12, en comparación con los valores más bajos registrados por el Estado de México (0.76), Michoacán (0.79) y Baja California Sur (0.87), lo que denota un enorme diferencial entre las entidades.

Tabla 2. *Cambio tecnológico 2010-2018.*

No.	DMU	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	Promedio
1	Aguascalientes	1.13	0.75	1.18	1.21	0.52	0.40	3.70	1.65	1.32
2	Baja California	0.97	1.08	1.53	1.13	0.60	1.61	1.03	1.00	1.12
3	Baja California Sur	1.25	0.12	0.93	0.45	0.11	1.50	0.35	2.25	0.87
4	Campeche	1.02	1.07	1.27	0.67	0.50	1.98	0.41	1.15	1.01
5	Chiapas	1.23	0.57	1	0.81	0.18	1.07	0.54	3.24	1.08
6	Chihuahua	1.28	0.94	2.24	1.02	0.22	0.58	1.04	1.08	1.05
7	Coahuila	1.38	0.65	1.16	0.84	9.72	0.27	0.64	0.72	1.92
8	Colima	1.32	0.99	1.62	1.09	1.18	0.73	0.99	0.56	1.06
9	Ciudad de México	1.26	0.9	2.22	6.07	0.20	8.12	1.29	1.08	2.64
10	Durango	0.95	0.67	1.67	1.06	0.53	0.57	0.83	0.63	0.86
11	Estado de México	1.67	0.65	1.05	1.35	0.00	0.00	0.96	0.41	0.76
12	Guanajuato	1.33	0.39	1.48	1.07	27.60	0.30	0.54	0.24	4.12
13	Guerrero	1.23	1.01	1.33	0.77	0.00	0.00	0.66	3.57	1.43
14	Hidalgo	1.31	1.07	1.14	0.96	0.90	0.72	2.32	0.44	1.11
15	Jalisco	1.35	0.71	1.35	0.84	0.03	2.59	0.34	0.00	1.03
16	Michoacán	1.04	0.75	1.52	0.75	0.43	1.05	0.17	0.60	0.79
17	Morelos	1.38	0.81	1.36	1.03	0.64	2.45	1.44	0.98	1.26
18	Nayarit	1.25	1.15	1.05	0.71	0.08	8.28	0.92	0.96	1.80
19	Nuevo León	1.12	0.89	1.41	0.81	0.65	1.27	0.93	1.95	1.13
20	Oaxaca	1.47	0.36	1.63	0.93	0.09	0.77	1.38	2.23	1.11
21	Puebla	1.72	0.6	1.21	0.79	0.65	0.84	0.94	1.02	0.97
22	Querétaro	1.13	0.97	1.01	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01
23	Quintana Roo	3.27	0.1	1.56	1.06	0.64	0.88	1.02	0.74	1.16
24	San Luis Potosí	1.23	0.9	1.27	0.79	0.88	0.71	1.14	1.43	1.04

Tabla 2. *Continuación.*

No.	DMU	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	Promedio
25	Sinaloa	1.13	0.65	1.19	1.04	0.00	156.14	0.00	0.00	26.69
26	Sonora	1.28	1	1.17	0.71	1.98	1.00	1.00	1.00	1.14
27	Tabasco	3.59	0.79	1.64	0.81	0.74	0.98	0.78	1.50	1.35
28	Tamaulipas	1.21	0.96	1.65	1.22	1.17	1.15	0.45	0.81	1.08
29	Tlaxcala	2.54	0.39	1.06	0.93	0.31	1.99	0.63	1.20	1.13
30	Veracruz	1.24	0.56	1.62	0.97	0.09	1.17	1.32	1.44	1.05
31	Yucatán	3.94	0.35	1.33	1.09	0.25	7.68	0.24	1.41	2.04
	Media geométrica	1.4	0.67	1.33	0.97	0.46	1.37	0.81	1.05	1.01

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA y Malmquist.

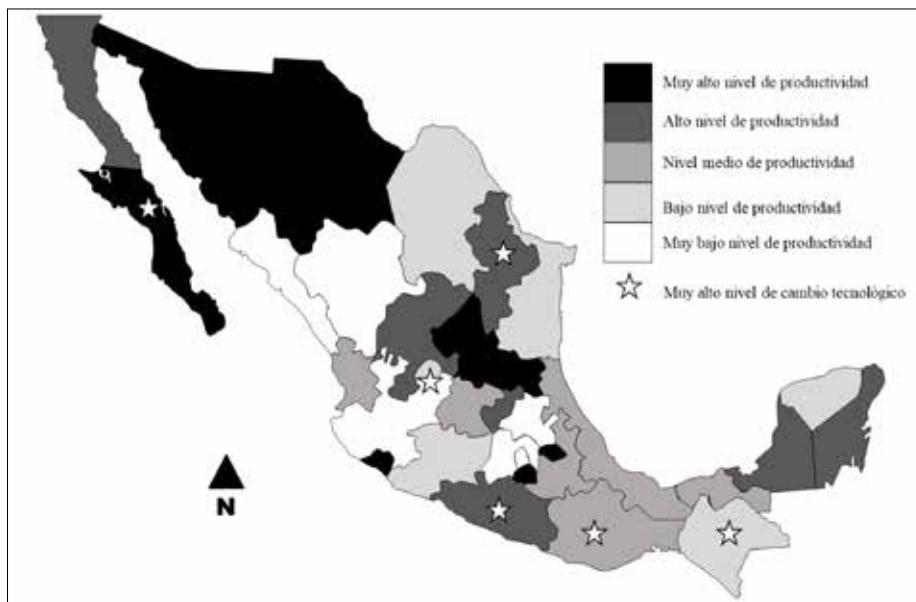
Tras realizar el análisis del Índice de Malmquist por entidad federativa, los resultados se dividieron según el valor obtenido para dicho índice. Se obtuvieron cinco grupos por nivel de productividad. El grupo con valores de 1.23 a 1.04 se considera como el grupo de entidades con “muy alta productividad” en el sistema de transporte de carga internacional mostrada en el periodo de análisis respecto a las variables analizadas. En él se encuentran San Luis Potosí, Colima, Baja California Sur, Chihuahua, Sonora, Morelos y Tlaxcala (figura 1).

En el segundo grupo, con valores para el Índice de Malmquist que oscilan de 1.03 a 0.98, se encuentran Guerrero, Querétaro, Nuevo León, Quintana Roo, Zacatecas, Baja California y Campeche. Se puede observar que en los primeros dos grupos referidos se ubican las principales rutas comerciales carreteras e intermodales.

Por otra parte, Veracruz, Tabasco, Guanajuato, Oaxaca, Nayarit y Puebla conforman el tercer grupo, con valores entre 0.96 y 0.93, es decir, son entidades con un nivel medio de productividad. En contraste, el cuarto grupo, con valores entre 0.92 y 0.87, está conformado por Michoacán, Chiapas, Coahuila, Yucatán, Aguascalientes y Tamaulipas.

Finalmente, en lo que respecta a los grupos con los menores niveles de productividad (bajo y muy bajo) respecto al sistema de transporte de carga carretero para el comercio internacional, se agrupan el Estado de México, Sinaloa, Durango, Ciudad de México, Hidalgo y Jalisco. Destaca en este grupo que algunas entidades, como la Ciudad de México, carecen de espacio para un aumento de productividad de su sistema carretero.

Figura 1. Índice de Malmquist y cambio tecnológico del sistema de transporte carretero de carga internacional por entidad federativa.



Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA y Malmquist.

La figura 1 a su vez muestra los estados con un mayor cambio tecnológico: Guerrero, Chiapas, Baja California Sur, Oaxaca, Nuevo León y Aguascalientes. Esto se debe a que para cada periodo analizado se registraron valores iguales a 1 o muy cercanos, lo que implica un avance constante.

CONCLUSIONES

El Índice de Malmquist muestra un crecimiento de la productividad total de los factores de una DMU, que en este caso corresponde al sistema de transporte de carga internacional por entidad federativa, en donde se refleja el progreso o retroceso en la eficiencia, así como el progreso o retroceso de la frontera tecnológica entre dos o más períodos. Esto a su vez permite observar si hay un aumento en la competitividad del comercio exterior mexicano, ya que, con independencia de la calidad de los productos transportados, es altamente significativo, en términos de competitividad, que la mercancía llegue en tiempo y forma al cliente y/o consumidor.

Se puede concluir respecto a los resultados del Índice de Malmquist que la mayoría de las entidades federativas ha incrementado su productividad en el sistema logístico de carga internacional carretero para el periodo de 2010 a 2018. Sin embargo, se aprecia un ritmo de crecimiento muy dispar entre las entidades federativas, el cual es aún más evidente en la segunda parte del análisis al interpretar los resultados del cambio tecnológico donde el diferencial entre la entidad mejor posicionada y la peor posicionada es muy grande.

Se puede observar que los estados con un mejor nivel de productividad en lo relativo al sistema de transporte carretero de carga tienen una estrecha relación con las aduanas con mayor movilidad de comercio internacional vía carretera, salvo Colima, así que se puede inferir la necesidad de un buen transporte intermodal.

Al comparar los resultados obtenidos con las estadísticas del Sector de Comunicaciones y Transportes presentadas por la SCT, se observa que existe concordancia en diferentes sentidos. Primero, en lo que respecta al avance hacia un cambio tecnológico y un aumento de la productividad contrastado con el aumento de factores de calidad (centros de capacitación, número de inspecciones, número de verificaciones), infraestructura de empresas transportistas (número de unidades motrices de carga, número de empresas de transporte internacional y aumento de licencias internacionales), e infraestructura carretera (carreteras pavimentadas y densidad de carga), que son las variables que se consideraron para el presente análisis. Segundo, en relación con la disparidad de políticas en torno a la inversión en infraestructura para el transporte carretero terrestre.

Por lo tanto, se puede concluir que los estados mejor posicionados o más eficientes son aquellos que han invertido más en las variables utilizadas en el modelo como *inputs*, es decir, infraestructura tanto carretera como de infraestructura en las empresas dedicadas al transporte de carga internacional, recursos humanos y calidad. Esto se puede traducir en la necesidad de un esfuerzo conjunto del gobierno y el sector empresarial a fin de invertir en la mejora de dichos insumos, si se busca mejorar en su productividad.

La necesidad de conectarnos con nuestros principales socios comerciales, como son EE. UU y Canadá, hace imperiosa la necesidad de mejorar el transporte carretero de carga, el cual ha presentado un crecimiento desde la firma del TLCAN al grado de ser hoy el sistema de transporte más importante en México, con un movimiento de carga del 85 por ciento del comercio internacional. De modo que es relevante el análisis y la discusión respecto al tema.

Asimismo, se reflexiona respecto a algunas limitantes del trabajo como son la falta de variables que midan las condiciones de las carreteras pavimentadas, el hecho de que el número de empresas de transporte internacional aún se encuentra compuesto por un gran número de hombres-camión (personas físicas

que son su propio conductor y empresa registrada) o la falta de insumos para analizar las condiciones reales de las unidades vehiculares registradas, puesto que no necesariamente significa que las unidades utilizadas para este sector sean nuevas, es decir, un cambio tecnológico exponencial, ya que a partir de 2005 se incrementó la importación de unidades usadas provenientes de EE. UU.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arvis, Jean-François; Ojala, Lauri; Wiederer, Christina; Shepherd, Ben; Raj, Anasuya; Dairabayeva, Karlygash y Kiiski, Tuomas (2019), *Connecting to Compete 2019: Trade Logistics in the Global Economy*, Banco Mundial, Washington, D. C. © World Bank.
- (2018), *Connecting to Compete 2018: Trade Logistics in the Global Economy*, Banco Mundial, Washington, D. C. © World Bank.
- Berg, Sigbjorn Atle; Forsund, Finn y Jansen, Eilev (1992), “Malmquist Indices of Productivity Growth during the Deregulation of Norwegian Banking, 1980–89”, *Scandinavian Journal of Economics*, 94, pp. 211–228.
- Boqing, Lin y Rilong, Fei (2015), “Regional differences of CO₂ emissions performance in China’s agricultural sector: A Malmquist index approach”, *European Journal of Agronomy*, 70, pp. 33-40.
- Bougheas, Spiros; Demetriadis, Panicos O. y Morgenroth, Edgar L. W. (1999), “Infrastructure, transport costs and trade”, *Journal of International Economics*, 47 (1), pp. 169-189.
- Brümmerstedt, Katrin; Flitsch, Verena y Jahn, Carlos (2015), *Cost Functions in Freight Transport Models*, in Blecker, Thorsten Kersten y Wolfgang Ringle, Christian M. (ed.), *Operational Excellence in Logistics and Supply Chains: Optimization Methods, Data-driven Approaches and Security Insights.*, Hamburg University of Technology (TUHH), Institute of Business Logistics and General Management, vol. 22, Berlin, pp. 267-294.
- Caplice, Chris y Sheffi, Yossi (2011), “Optimization-based procurement for transportation services”, *Journal of Business Logistics*, 24 (2), pp. 109-128.
- Caves, Douglas; Christensen, Laurits y Diewert, Erwin (1982), “The economic theory of index numbers and the measurement of input, output, and productivity”, *Econometrìca*, 50 (6), pp. 1393–1414.
- Chen, Yao (2003), “Non-radial Malmquist Productivity Index with an Illustrative Application to Chinese Major Industries”, *International Journal of Production Economics*, 83 (1), pp. 27-35.

- Coelli, Timothy J.; Rao, Prasada; O'Donell, Christopher y Battese, George (2005), *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*. Springer, EE. UU.
- Comisión Europea (2019), *Transport in the European Union. Current Trends and Issues*. European Commission, Brussels.
- Cooper, William; Seiford, Lawrence y Tone, Kaoru (2007), *Data Envelopment Analysis. A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software* (2nd ed.), Springer, US.
- (2006), *Introduction to Data Envelopment Analysis and Its Uses*. Springer, Nueva York.
- Crainic, Teodor Gabriel y Florian, Michael (2008), "National planning models and instruments", INFOR: *Information Systems and Operational Research*, 46 (4), pp. 299-308.
- Engström, Rikard (2016), "The Road's Role in the Freight Transport System", *Transportation Research Procedia*. vol. 14, pp. 1443-1452.
- ETAN (2011), *Estadísticas de Transporte de América del Norte* (2011), obtenido de <http://nats.sct.gob.mx>.
- Färe, Rolf y Lovell, Knox (1978), "Measuring the technical efficiency of production", *Journal of Economic Theory*, 19 (1), pp.150-162, doi: 10.1016/0022-0531(78)90060-1.
- Färe, Rolf; Grosskopf, Shawna y Lovell, C. A. Knox (1994), *Production Frontiers*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Farrell, Michael James (1957), "The measurement of productive efficiency", *Journal of the Royal Statistical Society*, vol. 120, pp. 253-290.
- Federal Highway Administration (2005), *Logistics costs and the US Gross Domestic Product*, MacroSys Research and Technology, Washington, D. C. Department of Transportation.
- Felipe, Jesus; Kumar, Utsav y Abdon, Arnelyn (2010), "Exports, Capabilities, and Industrial Policy in India", working paper no. 638, Levy Economics Institute of Bard College, november, pp. 1-34.
- Fisher, Ronald Aylmer. (1922), "On the mathematical foundations of theoretical statistics", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character, vol. 222, The Royal Society, pp. 309-368.
- Flitsch, Verena y Brümmerstedt, Katrin (2015), *Freight Transport Modelling of Container Hinterland Supply Chains*, Operational Excellence in Logistics and Supply Chains, agosto, Ed. GmbH.
- Foro Económico Mundial (2018), Informe Global de Competitividad en Infraestructura 2018, WEF, Suiza.

- François, Joseph y Manchin, Miriam (2007), "Institutions, Infrastructure, and Trade", working paper no. 0705, Johannes Kepler University of Linz, Department of Economics, pp. 1-41.
- FTA (2016), Prosperity, productivity, resilience. Delivering Safe, Efficient Sustainable Logistics. Logistics Report. Freight Transport Association, England, UK.
- Grifell-Tatjé, Emili y Lovell, C. A. Knox (1993a), "Deregulation and Productivity Decline: The case of Spanish Saving Banks", *Working Paper*, 93-02 (June), Department of Economics, University of North Carolina.
- (1993b), "A New Decomposition of the Malmquist Productivity Index", working paper 93-04 (october), Department of Economics, University of North Carolina.
- (1996), "Deregulation and productivity decline: The case of Spanish saving banks", *European Economic Review*, 40, pp. 1259-1279.
- Hertel, Thomas y Tasneem, Mirza (2009), "The Role of Trade Facilitation in South Asian Economic Integration", *Study on Intraregional Trade and Investment in South Asia*, Mandaluyong City, Philippines, Asian Development Bank, pp. 12-39.
- Hummels, David; Ishii, Jun y Yi, Kei-Mu (2001), "The nature and growth of vertical specialization in world trade", *Journal of International Economics*, 54 (1), pp. 75-96.
- Lovell, C. A. Knox (2002), "Performance Assessment in the Public Sector", *Efficiency in the Public Sector*, Spring Science Business Media, New York, pp. 11-35.
- Luttermann, Sandra; Kotzab, Herbert y Halaszovich, Tilo (2017), "The Impact of Logistics on International Trade and Investment Flows", Lund University, Sweden, pp.458-472.
- Mahinda, Wijesiri y Meoli, Michele (2015), "Productivity chance of microfinance institutions in Kenya: A bootstrap Malmquist approach", *Journal of Retailing and Consumer Service*, 25, pp. 115-121.
- Manheim, Marvin (1979), "Fundamentals of Transportation System Analysis", *Fundamentals of Transportation System Analysis*, vol. I: Basics Concepts, MIT Press Series in Transportation Studies, Cambridge, Massachusetts, and London England, pp. 602-633.
- Mankiw, Gregory (2010), *Macroeconomics*, 7th ed., Worth Publishers, New York.
- Malmquist, Sten (1953), "Index numbers and indifference surfaces", *Trabajos de Estadística y de Investigación Operativa*, 4, pp. 209–242.
- Moorsteen, Richard H. (1961), "On Measuring Productive Potential and Relative Efficiency", *The Quarterly Journal of Economics*, 75 (3), pp. 451-467.
- Nishimizu, Mieki y Page, John M. (1982), "Total Factor Productivity Growth, Technological Progress and Technical Efficiency Change: Dimension of Productivity Change in Yugoslavia, 1965-78", *The Economic Journal*, 92 (368), pp. 920-936.

- Puettman, Carolin y Hartmut, Stadtler (2010), “A collaborative planning approach for intermodal freight transportation”, *OR Spectrum*, 32 (3), pp. 809-830.
- SCT (2015), Flujos de transporte y comercio exterior por costas y fronteras, puertos marítimos y terrestres, Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- Solow, Robert (1957), “Technical Change and the Aggregate Production Function”, *The Review of Economics and Statistics*, 39 (3), pp. 312-320.
- Sourdin, Patricia y Pomfret, Richard (2012), “Measuring International Trade Costs”, *The World Economy*, 35 (6), pp. 740-756.
- Sueyoshi, Toshiyuki y Aoki, Shingo (2001), “A use of a nonparametric statistic for DEA frontier shift: the Kruskal and Wallis rank test”, *Omega*, 29 (1), pp. 1-18.
- Sueyoshi, Toshiyuki y Goto, Mika (2001), “Slack-adjusted DEA for time series analysis: performance measurement of Japanese electric power generation industry in 1984-1993”, *European Journal of Operation Research*, 133 (2), pp. 232-259.
- (2013), “DEA environmental assessment in a time horizon: Malmquist index on fuel mix, electricity and CO₂ industrial nations”, *Energy Economics*, 40, pp. 370-382.
- (2005), “DEA Environmental Assessment in Time Horizon: Radial Approach for Malmquist Index Measurement on Petroleum Companies”, *Energy Economics*, 51, pp. 329-345.
- Tone, Kaoru (2002), “A Slacks-based Measure of Super-efficiency in Data Envelopment Analysis”, *European Journal of Operational Research*, 143 (1), pp. 32-41.
- Törnqvist, Leo (1936), “The Bank of Finland’s Consumption Price Index”, *Bank of Finland Monthly Bulletin*, 10, pp. 1-8.
- Zhu, Joe (1996), “Data Envelopment Analysis with preference Structure”, *The Journal of the Operational Research Society*, 47 (1), pp. 136-150.