



*Certificación ISO 9001:2008 ‡*

---

---

# **Productividad y eficiencia en los ferrocarriles, una estimación aplicando una técnica de productividad total de los factores**

Salvador Hernández García  
José Antonio Arroyo Osorno  
Guillermo Torres Vargas  
Víctor Manuel Islas Rivera

**Publicación Técnica No. 477  
Sanfandila, Qro. 2016**



---

**SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES**  
**INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE**

**Productividad y eficiencia en los ferrocarriles, una estimación aplicando una técnica de productividad total de los factores**

**Publicación Técnica No. 477**  
**Sanfandila, Qro. 2016**

---





Esta investigación fue realizada en la Coordinación de Economía de los Transportes y Desarrollo Regional del Instituto Mexicano del Transporte por Salvador Hernández García con la colaboración de Antonio Arroyo Osorno, bajo la supervisión de Víctor Islas Rivera y Guillermo Torres Vargas.

# Índice

---

|   | Página |
|---|--------|
| Resumen .....   | v      |
| Abstract .....  | vii    |
| Resumen ejecutivo .....   | ix     |
| Introducción.....   | 1      |
| 1 Productividad y eficiencia en el ferrocarril .....                                    | 3      |
| 1.1 Productividad y eficiencia .....  | 3      |
| 1.2 Productividad parcial.....  | 3      |
| 1.3 Productividad total de los factores .....   | 7      |
| 1.3.1 DEA, un enfoque no paramétrico de la PTF .....                                    | 8      |
| 2 Evolución de los ferrocarriles de Norteamérica en el periodo reciente .....           | 13     |
| 2.1 El ferrocarril de carga en Canadá .....   | 14     |
| 2.2 El ferrocarril de carga en EUA .....  | 15     |
| 2.3 El ferrocarril de carga en México .....   | 17     |
| 2.4 Desempeño financiero de los ferrocarriles de carga Clase I<br>en Norteamérica ..... | 18     |
| 2.5 Evolución operativa reciente de los ferrocarriles .....                             | 21     |
| 3 Estimación de la productividad total de los ferrocarriles Clase I.....                | 25     |
| 3.1 Corridas DEA utilizando variables de tipo operativo .....                           | 26     |
| 3.2 Corridas DEA utilizando variables de tipo operativo y financiero.....               | 28     |
| 3.3 Medición de eficiencia técnica de los ferrocarriles en 2013,<br>modelo BCC .....    | 30     |
| 4 Conclusiones .....  | 35     |

|   |    |
|---|----|
| Bibliografía .....  | 37 |
| Anexos .....  | 39 |
| Anexo 1 Variables básicas de los ferrocarriles Clase I .....              | 39 |
| Anexo 2 Evolución de la variable de producción: toneladas-kilómetro ..... | 41 |
| Anexo 3 Evolución de la variable de insumo: empleados .....               | 42 |
| Anexo 4 Evolución de la variable de insumo: locomotoras .....             | 43 |
| Anexo 5 Evolución de la variable de insumo: carros .....                  | 44 |
| Anexo 6 Evolución de la variable de insumo: longitud de vías .....        | 45 |



## Índice de cuadros

|  | Página |
|--|--------|
| 1.1 Variables seleccionadas de los principales ferrocarriles en Norteamérica, 2013 .....   | 5      |
| 1.2 Selección de indicadores de productividad parcial de los ferrocarriles del TLCAN, 2013 .....   | 6      |
| 2.1 Unidades promedio de producción e insumos del ferrocarril canadiense.....  | 15     |
| 2.2 Unidades promedio de producción e insumos del ferrocarril estadounidense.....  | 16     |
| 2.3 Unidades promedio de producción e insumos del ferrocarril mexicano .....   | 17     |
| 2.4 Información financiera de los Ferrocarriles Norteamericanos (Clase I) en 2004, (millones de dólares corrientes) .....  | 18     |
| 2.5 Información financiera de los Ferrocarriles (Clase I) por país 2004, (millones de dólares corrientes) .....  | 19     |
| 2.6 Información financiera de los Ferrocarriles Norteamericanos (Clase I) en 2013, (millones de dólares corrientes) .....  | 20     |
| 2.7 Información financiera de los Ferrocarriles (Clase I) en Norteamérica 2013, (millones de dólares corrientes) .....   | 21     |
| 2.8 Información operativa de los Ferrocarriles Norteamericanos (Clase I) en 2004 ...   | 22     |
| 2.9 Información operativa de los Ferrocarriles Norteamericanos (Clase I) en 2013...  | 22     |
| 2.10 Indicadores de productividad parcial de los Ferrocarriles Norteamericanos 2004 y 2013 (millones de t-km) .....  | 23     |
| 3.1 Información de las variables seleccionadas en 2013 .....   | 25     |
| 3.2 Resumen de los resultados de estimación de la eficiencia técnica, variables operativas, por tipo de modelo DEA utilizado, para el año 2004 .....             | 27     |
| 3.3 Resumen de los resultados de estimación de la eficiencia técnica, variables operativas, por tipo de modelo DEA utilizado, para el año 2013 .....             | 27     |
| 3.4 Resumen de los resultados de estimación de la eficiencia técnica, incluyendo variables financieras, por tipo de modelo DEA utilizado, para el año 2004 ..... | 29     |
| 3.5 Resumen de los resultados de estimación de la eficiencia técnica, incluyendo variables financieras, por tipo de modelo DEA utilizado, para el año 2013 ..... | 29     |

|   |    |
|---|----|
| 3.6 Resumen de la medición de eficiencia técnica, para el modelo BCC, para variables operativas en 2013 .....     | 30 |
| 3.7 Resumen de la medición de eficiencia técnica, para el modelo BCC, incluyendo variables financieras, 2013..... | 31 |
| 3.8 Eficiencia técnica y holguras en variables operativas, modelo BCC-O, año 2013 .....                           | 32 |
| 3.9 Eficiencia técnica y holguras en variables operativas, modelo BCC-I, año 2013 .....                           | 33 |
| 3.10 Déficit en variables de producto, modelo BCC, año 2013 .....   | 34 |

## **Índice de figuras**

|   | Página |
|---|--------|
| 1.1 Eficiencia técnica.....   | 8      |
| 2.1 Evolución reciente de los carros de carga por país en Norteamérica .....  | 13     |
| 2.2 Evolución reciente de la longitud de la red ferroviaria por país en Norteamérica ...                                    | 14     |
| 3.1 Resultados de la medición de eficiencia técnica aplicando el modelo CCR-0 a variables operativas, para el año 2013..... | 28     |

# Resumen

---

El presente estudio da a conocer el grado de desarrollo de la productividad de los ferrocarriles en Norteamérica, con énfasis en el caso mexicano. Debido a que en trabajos anteriores se encontró un rezago del sistema ferroviario mexicano con respecto a sus socios comerciales de Norteamérica, el presente trabajo se dirigió a realizar una estimación de los indicadores de productividad para el ámbito de las compañías ferroviarias en el periodo 2004-2013. Para ello, se utilizó la descomposición del cambio de eficiencia en los componentes de eficiencia técnica y eficiencia de escala aplicando técnicas de análisis envolvente de datos (DEA) bajo el enfoque de la producción total de los factores. De esta forma, se pudo apreciar una mejora en el desempeño de los ferrocarriles mexicanos con respecto a sus competidores en Norteamérica.

Términos clave: ferrocarriles, fronteras de producción, eficiencia técnica.



# Abstract

---

This study releases the level of performance through productivity measure for the railways in North America, with emphasis on the Mexican case. Since it was signaled, in earlier work, a lag of the Mexican railway system relative to its trading partners in North America, this paper aims to estimated productivity indicators for the railway companies in the period: 2004-2013. For this, the decomposition of efficiency change is used for identified technical efficiency and scale efficiency, which are estimated by applying techniques of Data envelopment analysis (DEA) in the measurement of Total Factor Productivity (TFP). Thus, individual differences could be seen on the origin of change of efficiency and productivity of Mexican railways with regard to their competitors in North America.

Key words: railways, frontier production, technical efficiency.



## Resumen ejecutivo

---

El presente estudio se centra en una investigación de gabinete a través de la recopilación de información de libros, reportes de estudios y casos, accesibles en las instalaciones del Instituto Mexicano del Transporte.

Con la finalidad de armonizar la principal fuente de información se eligió como fuente de partida a la publicación Railroad Facts (AAR, 2005 y 2014) utilizando la sección “Perfiles de los ferrocarriles de Norteamérica” para cada uno de los ferrocarriles Clase I pertenecientes a la Asociación Americana de Ferrocarriles (AAR, por sus siglas en inglés). A partir de estos reportes se decidió corroborar y complementar a la principal fuente con los reportes anuales que cada unidad ferroviaria emite al público, a su vez estos fueron cotejados con otras fuentes como es el reporte R-1 remitido al Surface Transportation Board en el caso de los ferrocarriles estadounidenses, el Anuario estadístico ferroviario de la Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal en el caso de los mexicanos y diversos informes a los inversionistas para el caso de los canadienses.

Se realizó la estimación de productividad parcial de los factores tanto para las unidades ferroviarias individuales como para el agregado nacional de los tres países de Norteamérica. Los resultados de dichos indicadores de productividad señalarían la dominación de los ferrocarriles de Estados Unidos, seguidos y en contados casos superados por los canadienses, mientras que los ferrocarriles mexicanos permanecían rezagados con respecto a sus socios norteamericanos, situación que se repite para el agregado nacional, es decir, México aparece como el país con los valores de productividad parcial más bajos de Norteamérica, mientras que Estados Unidos predomina en la mayoría de los indicadores seleccionados, con excepción del indicador de productividad parcial de producción de toneladas-kilómetro por locomotora, donde es superado por Canadá.

El uso de la metodología de análisis envolvente de datos (DEA por sus siglas en inglés) y en particular del programa DEA-Solver, permitió disponer de un índice general de productividad, es decir, medir la productividad total de los factores para el caso de los ferrocarriles Clase I de Norteamérica. Además de ello, fue posible discriminar entre la eficiencia técnica manteniendo un rendimiento constante de escala (modelos CCR) y evaluando un rendimiento variable a escala (modelos BCC), lo que permitió corroborar que los efectos de escala se reflejan en una mayor productividad a medida que crece la magnitud operativa de los ferrocarriles. De esta forma, al aplicar el modelo CCR a las variables operativas, se obtienen resultados parecidos a los estimados con los indicadores de productividad parcial, tales como que Burlington Northern Santa Fe (BNSF) Railway Company y Canadian National registrarían la mayor eficiencia técnica y que las empresas ferroviarias mexicanas se colocarían en el fondo de la tabla de eficiencia. Por otra parte, los resultados que se obtienen al aplicar el modelo BCC ubican a las

ferroviarias mexicanas a la par de las canadienses y estadounidenses, aunque Ferromex registra exceso en la cantidad de personal en 2013, al aplicar el modelo a las variables operativas.

El valor de la metodología DEA queda demostrado con los resultados de las corridas realizadas a los ferrocarriles norteamericanos, en el presente estudio. Sin embargo, el potencial de aplicación es aún mayor al ampliar la cantidad de información disponible, a través de la compra de informes de la AAR y por la creación de bases de datos derivadas de la recopilación de información de los diversos informes anuales de los ferrocarriles. Asimismo, se identificaron variables susceptibles a incorporarse al análisis, tales como los costos por combustibles, costos por compra de servicios, así como los ingresos desglosados por tipo de mercancía trasladada, entre otros.

De entre los temas pendientes, destaca la medición detallada del efecto en la productividad por escala aplicado a los casos de las fusiones ferroviarias que se han dado en los ferrocarriles mexicanos, esto es, las economías de escala logradas con la compra de Transportación Ferroviaria Mexicana (hoy Kansas City Southern de México) por Kansas City Southern, así como la operación conjunta de Ferromex y Ferrosur. Finalmente, quedó pendiente la exploración de las nuevas versiones del programa DEA-SolverPro (Versión 13) con la finalidad de aplicar modelos dinámicos en la estimación de la evolución en el tiempo de la productividad de los ferrocarriles.



# Introducción

---

El presente proyecto forma parte de la línea de investigación “Enfoque analítico de la productividad del transporte” de la Coordinación de Economía del Transporte y Desarrollo Regional (CETDR), que continúa a una serie de trabajos de investigación que sobre productividad se han desarrollado tanto para el sector transporte en su conjunto, como para los modos de transporte ferroviario, carretero, marítimo y aéreo en lo particular.

Desde el año 2000, la CETDR ha elaborado diversos reportes relativos al tema de la productividad en el transporte, divulgados a través de publicaciones técnicas. La primera de ellas fue la Publicación Técnica (PT) 149 “Productividad en el transporte mexicano”, en la que se resaltó la necesidad de probar metodologías para la estimación de la Productividad Total de los Factores (PTF) para los sistemas de transporte en México. En el año 2004, en la Publicación Técnica 261 “Evaluación económica de las actuales condiciones de competencia y complementariedad entre el ferrocarril y el autotransporte” (López, 2004), se plantea una primera aproximación al análisis de la productividad total de los factores de producción a través de un enfoque no paramétrico manejando el software estadístico DEAP 2.1.

En trabajos posteriores se han actualizado algunos factores de productividad parcial del ferrocarril, destacando que “la eficiencia parcial del ferrocarril mexicano ha presentado un crecimiento sostenido desde inicios de la década de 1990, misma que se aceleró con la concesión del servicio de transporte de carga, siendo el factor laboral un elemento esencial para el crecimiento de dicha productividad” (López, 2004).

Por su parte, Rivera (2004), en su trabajo de tesis doctoral, avanza en la medición de la productividad y eficiencia técnica del ferrocarril a través de una comparativa entre técnicas paramétricas y no paramétricas de la PTF.

Además de Rivera, diversos artículos destacan la importancia de conocer las fuentes de baja eficiencia del ferrocarril con la finalidad de mejorar su desempeño total, como lo señala (Yu, 2007) y específicamente para los países de Norteamérica: McCullough (2006) y Tretheway (1997).

Con base en los anteriores aspectos, la propuesta actual se enfoca al modo ferroviario y busca actualizar el análisis de la productividad del ferrocarril mexicano, matizando su posición con respecto a los ferrocarriles de los países socios del Tratado de Libre Comercio de Norteamérica, para ello utiliza modelos probados para la estimación de la productividad y eficiencia ferroviaria. Las variables principales seleccionadas para medir la evolución de la productividad ferroviaria son: toneladas – kilómetro (t-km) producidas, empleados contratados y que reciben pago de la empresa ferroviaria, equipo rodante de carga utilizado,

locomotoras utilizadas y longitud de la vía en operación, de acuerdo con la propuesta planteada por Rivera (2004).

Dadas las anteriores variables que se utilizan en los modelos de productividad ferroviaria, la información se recopiló de diversas fuentes. Inicialmente se partió del reporte anual que realiza la Association of American Railroads (AAR), sin embargo, debido a que dicha fuente no es de acceso público gratuito, se completó la serie de datos con otras fuentes que mantuvieran concordancia con las cifras publicadas por la AAR. Entre dichas fuentes se hallan los reportes anuales de las empresas ferroviarias seleccionadas, así como, los publicados por las diversas agencias reguladoras del transporte ferroviario de cada país.

El presente documento se divide en cuatro capítulos, el primero de ellos presenta una breve introducción al tema de la productividad del transporte con un enfoque al transporte ferroviario, el segundo da una panorámica de la evolución reciente de los ferrocarriles Clase I así como una primera aproximación a su desempeño, el tercero presenta los resultados de la aplicación de la metodología DEA a la estimación de la PTF, mientras que el último capítulo señala los principales hallazgos en la estimación de la PTF de los ferrocarriles en Norteamérica.

# **1 Productividad y eficiencia en el ferrocarril**

---

De acuerdo con Rivera (2004) la medición de la productividad y eficiencia del ferrocarril está rodeada de diversos factores que hacen complicada su medición, destacan entre tales factores la disponibilidad y estandarización de la información, las características del mercado que atiende, las diversas estructuras de organización de las empresas del servicio de transporte ferroviario e incluso aspectos orográficos y del medio natural donde se realiza el traslado, los cuales afectan directa o indirectamente la eficiencia del transporte ferroviario.

## **1.1 Productividad y eficiencia**

Islas (2000) reconoce una definición básica de productividad como “la cantidad de producto real producido por unidad de insumo”, de esta forma, es necesario considerar la eficiencia con que son utilizados los diversos insumos para cada uno de los diversos productos, por lo que sugiere diferenciar el uso de productividad total cuando sea necesario considerar “todos los productos y factores (insumos), a diferencia de la productividad parcial que puede utilizar sólo uno o algunos insumos y productos como es el caso concreto de la productividad laboral ferroviaria”.

Por otra parte, De Rus (2003) propone que “una empresa se considera eficiente cuando lleva a cabo una producción determinada con la mínima cantidad de recursos que sea factible”, de esta forma, una eficiencia técnica o productiva se alcanza cuando “una empresa escoge las cantidades mínimas de factores para llevar a cabo la producción, es decir, no existen desperdicio de recursos en ninguno de los insumos”.

De lo anterior se concluye que la productividad de un ente económico puede ser estimada a través del uso de técnicas para la medición de la eficiencia en el uso de recursos para la producción de un bien o servicio específico, en nuestro caso el servicio ferroviario de carga.

## **1.2 Productividad parcial**

Los indicadores de productividad parcial ferroviaria han sido utilizados tradicionalmente como medidas de productividad, debido principalmente a la sencillez de su estimación y que no requieren del conocimiento de una función de producción del proceso productivo que se analiza, de esta forma, se utilizan enfoques no paramétricos de medición.

Para el caso particular del ferrocarril, Islas (2000) utiliza tres grupos principales de indicadores de productividad parcial: el primero de ellos es la productividad

laboral, el segundo es la productividad financiera y el tercero es la productividad de operación, de acuerdo con el tipo de variables involucradas en el cálculo.

Por su parte, Rivera (2004) estima algunos factores de productividad parcial, como son: la del personal operativo así como con respecto a la longitud total de las vías, los cuales acompañan a los resultados de productividad total con la finalidad de contrastar las diversas mediciones de la productividad y eficiencia de los ferrocarriles y así destacar la importancia de conocer la PTF.

En el cuadro 1.1 se presenta información básica, al año 2013, de nueve ferrocarriles de Norteamérica, los primeros dos localizados en México, los siguientes dos en Canadá y los restantes cinco en los Estados Unidos de América (EUA). Los ferrocarriles listados fueron elegidos, debido a que la mayoría de su información se concentra en el informe anual Railroad Facts, edición 2014, publicado por la AAR (2015), misma que considera a los ferrocarriles más importantes de cada país de Norteamérica, clasificados como Clase I de acuerdo con la magnitud de sus ingresos monetarios de sus operaciones ferroviarias.

Las fuentes de información del cuadro 1.1 son diversas, como se señala en el pie de nota, siendo la principal el Railroad Facts, edición 2014, complementado con información de anuarios de las dos empresas canadienses. Resulta pertinente destacar que las cifras publicadas por el Surface Transportation Bureau (STB), para las empresas de EUA coinciden con las publicadas por la AAR, mientras que los valores reportados por las ferroviarias canadienses en los conceptos de locomotoras y carros utilizados por el servicio de transporte de carga sustituyeron a los publicados por la AAR para mantener consistencia en la serie de datos utilizada en el capítulo 3. En el caso de México, todas las cifras de 2013 fueron tomadas del Railroad Facts, aunque para años anteriores se complementaron con otras fuentes, como se detallará en el capítulo 3. En todos los casos se buscó dar la mayor fiabilidad en las tendencias mostradas en el periodo 2004-2013, con la finalidad de mantener la consistencia en el análisis de evolución del desempeño ferroviario.

En el cuadro 1.1 se observan diferentes tamaños de las empresas ferroviarias, por ejemplo, en el caso del volumen de carga transportado, medido en t-km, sobresalen por la magnitud de sus operaciones tanto BNSF Railway Company (en lo sucesivo BNSF) como Union Pacific con reportes superiores a 827 mil millones de toneladas-kilómetro (t-km) trasladadas; por el contrario las dos empresas con menor volumen de operaciones se ubican en México, registrando valores cercanos a 48 y 28 mil millones de t-km, acompañadas por Kansas City Southern en EUA con 50 mil millones de t-km; mientras que con volúmenes medios se ubican las otras cuatro empresas, dos canadienses (Canadian National y Canadian Pacific) y dos de EUA (CSX Transportation y Norfolk Southern) con cifras que van de los 232 a los 365 mil millones de t-km. El contraste entre las operaciones del menor ferrocarril con respecto al de mayor tamaño tiene una relación de cerca de 1 a 39 veces la magnitud de t-km “producidas”.

Las relaciones de proporción entre los registros menor y mayor para el resto de las variables reportadas va de 1 a 9 veces la cantidad de carros, 1 a 11 veces en la longitud de las líneas operadas, 1 a 17 veces la cantidad de personal, 1 a 20 veces la cantidad de ingresos, 1 a 22 con respecto a las locomotoras y en el extremo se ubica el monto de los salarios pagados que fue de 1 a 58 veces, probablemente influenciada también por el tipo de cambio del dólar.

**Cuadro 1.1 Variables seleccionadas de los principales ferrocarriles en Norteamérica, 2013**

| Empresa Ferroviaria             | t-km<br>(millones) | Personal | Loco-<br>motoras | Carros  | Líneas<br>(km) | Ingresos<br>(millones<br>de<br>dólares) | Salarios<br>(millones<br>de<br>dólares) |
|---------------------------------|--------------------|----------|------------------|---------|----------------|---|---|
| <b>KCSM</b>                     | 27,576             | 3,237    | 381              | 8,621   | 4,783          | 1,101.0                                 | 66.3                                    |
| <b>Ferromex</b>                 | 47,685             | 7,908    | 631              | 15,614  | 8,149          | 1,468.6                                 | 225.9                                   |
| <b>Canadian Pacific</b>         | 232,140            | 15,011   | 1,651            | 47,600  | 23,174         | 5,959.0                                 | 1,189.2                                 |
| <b>Canadian National</b>        | 338,167            | 23,705   | 2,008*           | 67,560* | 32,186         | 10,268.0                                | 2,099.0                                 |
| <b>BNSF</b>                     | 1,086,959          | 42,625   | 7,310            | 73,577  | 52,455         | 21,773.8                                | 3,684.2                                 |
| <b>Union Pacific</b>            | 827,617            | 49,116   | 8,266            | 67,755  | 51,237         | 21,935.1                                | 3,853.4                                 |
| <b>CSX Transportation</b>       | 364,733            | 28,154   | 4,259            | 68,008  | 33,496         | 11,705.6                                | 2,247.9                                 |
| <b>Norfolk Southern</b>         | 311,483            | 29,666   | 4,139            | 79,121  | 32,123         | 11,244.7                                | 2,161.9                                 |
| <b>Kansas City<br/>Southern</b> | 50,016             | 2,889    | 540              | 11,618  | 5,222          | 1,258.1                                 | 227.1                                   |

\* Los datos de carros y locomotoras de Canadian National son al primer semestre de 2013.

Fuentes: Railroad Facts 2014, AAR; CP Investor Fact Book 2014; CP Annual Information Form 2013; CN Investor Fact Book 2013 y 2014

Con la información del cuadro 1.1 se calcularon algunos indicadores de productividad parcial para los ámbitos laboral, financiero y operativo, los cuales se presentan en el cuadro 1.2 y donde se puede apreciar un menor rango de variación entre los valores calculados para los ferrocarriles, con relaciones que no alcanzan el 1 a 5 veces entre el menor y mayor valor.

El indicador de productividad laboral parcial es la razón de t-km “producidas” en promedio por cada persona laborando en la empresa. En el cuadro 1.2 se registra un rango que va de 6.0 a 25.5 millones de t-km/persona, es notorio cómo las dos empresas que reportan el menor valor son las mexicanas, mientras que las dos de mayor valor se ubican en los EUA, por su parte las empresas canadienses ocupan las posiciones 4 y 5 superando a dos empresas estadounidenses, CSX Transportation y Norfolk Southern.

De los seis indicadores del cuadro 1.2, las empresas mexicanas concentran las peores calificaciones, como se refleja en el hecho de que en cuatro indicadores obtienen los peores desempeños del grupo, mientras que en un quinto indicador, el de t-km/locomotora, KCSM ocupa el último lugar y Ferromex ocupa el antepenúltimo al superar apenas a Kansas City Southern, finalmente en el indicador de ingresos/t-km, KCSM presenta la mejor marca con cuatro centavos de dólar por cada t-km “producida”, mientras que Ferromex también logra su mejor posición, un cuarto lugar, con un valor de 3.1 centavos de dólar superando a los dos ferrocarriles canadienses y a tres estadounidenses. Es interesante resaltar que este último indicador es el que menor dispersión muestra entre los indicadores del cuadro 1.2, dado que el mayor de ellos fue apenas el doble de valor que el menor, es decir, ingresaban cuatro centavos en KCSM contra dos centavos recibidos por BNSF por cada t-km trasladada.

**Cuadro 1.2 Selección de indicadores de productividad parcial de los ferrocarriles del TLCAN, 2013**

| Compañía Ferroviaria        | Indicadores laborales     |                                    | Indicadores financieros  |                                   | Indicadores operativos |             |
|-----------------------------|---------------------------|------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|------------------------|-------------|
|                             | Millones de t-km/personal | Ingresos / personal (miles \$ usd) | Ingresos/ t-km (dólares) | salarios/ personal (miles \$ usd) | t-km/ locomotora       | t-km/ carro |
| <b>KCSM</b>                 | 8.5                       | 340                                | 0.040                    | 20.5                              | 72                     | 3.2         |
| <b>Ferromex</b>             | 6.0                       | 186                                | 0.031                    | 28.6                              | 76                     | 3.1         |
| <b>Canadian Pacific</b>     | 15.5                      | 397                                | 0.026                    | 79.2                              | 141                    | 4.9         |
| <b>Canadian National</b>    | 14.3                      | 433                                | 0.030                    | 88.5                              | 168                    | 5.0         |
| <b>BNSF</b>                 | 25.5                      | 511                                | 0.020                    | 86.4                              | 149                    | 14.8        |
| <b>Union Pacific</b>        | 16.9                      | 447                                | 0.027                    | 78.5                              | 100                    | 12.2        |
| <b>CSX Transportation</b>   | 13.0                      | 416                                | 0.032                    | 79.8                              | 86                     | 5.4         |
| <b>Norfolk Southern</b>     | 10.5                      | 379                                | 0.036                    | 72.9                              | 75                     | 3.9         |
| <b>Kansas City Southern</b> | 17.3                      | 435                                | 0.025                    | 78.6                              | 93                     | 4.3         |

Fuente: con base en la información del cuadro 1.1

En contraste con el desempeño de los ferrocarriles mexicanos, la empresa que presentó los mejores indicadores de productividad parcial fue BNSF, al registrar tres mejores marcas y dos segundos lugares de los seis indicadores presentados en el cuadro 1.2 mientras que registró su peor marca en los ingresos/t-km. Asimismo, en el ámbito de Canadá, la empresa que mejores indicadores registró fue la Canadian National, al obtener dos mejores marcas en los indicadores de ingresos/personal y en t-km/locomotora.

Un factor que parecería estar afectando la baja productividad parcial de las empresas mexicanas, es la corta distancia de traslado que realizan, en comparación con los ferrocarriles de EUA y Canadá, el cual se reflejaría en una

menor eficiencia por efectos de escala. En contraparte, éste sería compensado parcialmente por los bajos salarios pagados al personal mexicano y un mayor cobro de las tarifas por t-km.

Resulta pertinente reconocer que la calidad (homogeneidad y precisión) de la información podría afectar los resultados de la medición de productividad de los ferrocarriles, por ello, se realizó una consulta de varias fuentes con la finalidad de corroborar la magnitud y consistencia de la información, asimismo, al analizar un periodo de diez años, permite disminuir el impacto de eventos fortuitos que se presenten en un año aislado. Por lo anterior, la serie de datos analizada tuvo diversas fuentes: tanto de reportes sectoriales del gobierno así como de reportes anuales de las empresas, los cuales fueron comparados con los datos de la publicación Railroad Facts de la AAR, al inicio y final del periodo, es decir, en los años 2004 y 2013.

### 1.3 Productividad total de los factores

En un contexto de evolución y cambios constantes en la operación de las empresas ferroviarias, Rivera (2004) señala que *“el principal objetivo de los cambios ‘recientes’ en el servicio ferroviario ha sido la mejora del desempeño global. Es decir, la mejora de la productividad y el rendimiento financiero del subsector en su conjunto.”*

Una interpretación de Farrell (1957), que reproduce Islas (2012), señala que *“para saber si se está produciendo de manera eficiente, debe existir un marco de comparación en la eficiencia de una empresa, y éste podría estar en función de la mejor marca observada (lo que hoy conocemos como benchmarking) entre un conjunto de empresas, a las que se desee equiparar. Además de ello, identificó dos formas en las que se produce de manera ineficiente. La primera de ellas ocurre cuando se utilizan más insumos de los que se requieren en el proceso de producción de acuerdo con la tecnología existente, mientras que la segunda resulta de no contar con la mejor combinación de insumos, dados los costos de estos. A la primera se le conoce con el nombre de ineficiencia técnica, y a la segunda se le nombró ineficiencia de asignación”*. El enfoque que se analiza aquí principalmente es el de eficiencia técnica por lo que sólo se requieren cantidades de insumos y producción.

Con la finalidad de ilustrar el término de eficiencia técnica se reproduce un ejemplo descrito por Coelli (1996) y traducido por Islas (2012) que se muestra a continuación: *“... la Gráfica 1.1, donde se tiene un producto que requiere de los insumos  $X_1$  y  $X_2$ , para su elaboración. La curva  $Y-Y'$ , muestra la combinación de insumos necesaria para producir una unidad de producto en condiciones de máxima eficiencia. Es decir, que cualquier punto situado fuera de dicha curva estará produciendo de manera ineficiente. Tal es el caso del punto  $P$ , en el cual se produce la misma cantidad que en el punto  $Q$ , pero con mayor utilización de*

insumos, así pues, si medimos la distancia existente entre los puntos P y Q, obtendríamos la cantidad que puede reducirse el consumo de insumos, sin alterar la cantidad producida, obteniendo el índice de eficiencia técnica como:”

$$ET = \frac{OQ}{OP} \quad [1.1]$$

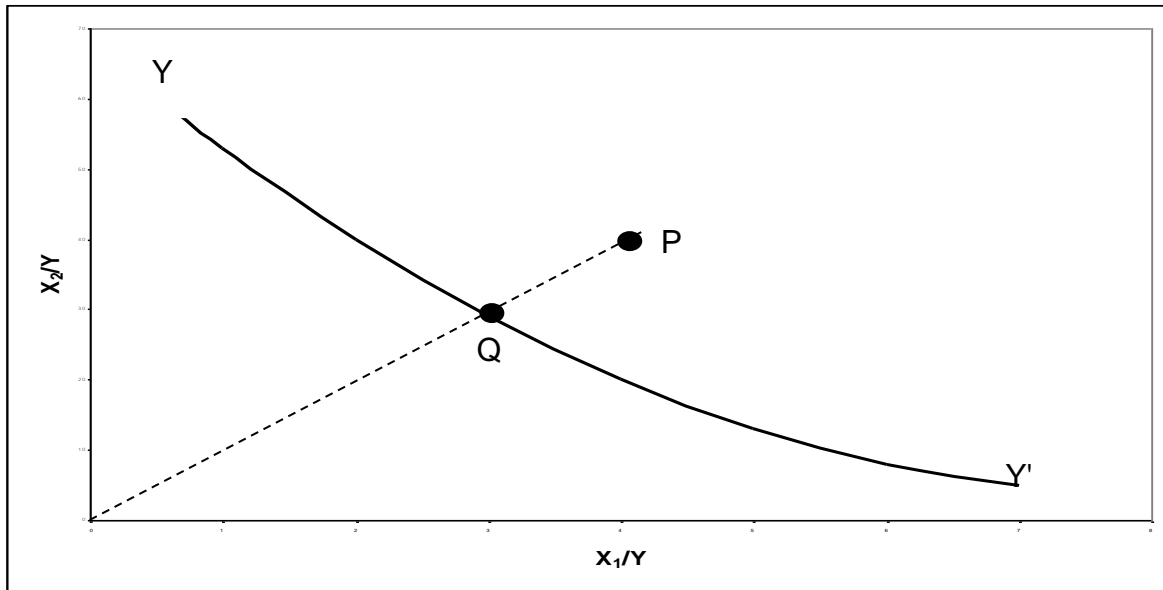


Figura 1.1 Eficiencia técnica

Fuente: Coelli et al., 1998

Para la medición de la eficiencia existen dos enfoques principales que son: el no paramétrico y el paramétrico, a la vez que para cada uno de estos enfoques existen diversos modelos. Generalmente se prefiere la aplicación de un modelo no paramétrico, debido a que sólo es necesario contar con las cantidades utilizadas de insumos y de producción.

### 1.3.1 DEA, un enfoque no paramétrico de la PTF

Un modelo no paramétrico típico es el que utiliza la técnica conocida como ‘análisis envolvente de datos’ (DEA por sus siglas en inglés)” con el que se puede calcular la PTF para el caso de los ferrocarriles Clase I de Norteamérica, para ello reproducimos la metodología que aplicó Islas (2012) para la estimación de la productividad regional de la infraestructura de transporte terrestre en México, utilizando el paquete estadístico DEA-Solver (en su versión de aprendizaje) desarrollado por Cooper, Seiford y Tone (2005).

Para matizar la importancia de la interpretación metodológica del DEA, a continuación se reproduce el planteamiento utilizado por Islas (2012).



“El método DEA implica el uso de métodos de programación lineal para “construir” una superficie (o frontera) no paramétrica envolvente de los datos. El modelo inicial asume retornos constantes a escala. Para la formulación matemática, Coelli y otros (1978) recurren a una interpretación intuitiva. Suponiendo que hay datos sobre K diferentes insumos y M diferentes productos para cada una de las N empresas, se parte del hecho de que para cada empresa analizada podemos obtener la relación de los productos ( $y_i$ ) entre la cantidad de insumos ( $x_i$ ), donde tanto  $x_i$  como  $y_i$  son vectores columna. Se tendría así una matriz de insumos ( $K \times N$ ), y una matriz de productos ( $M \times N$ ). Para cada industria se desea conocer una medida de la relación de todos los productos a todos los insumos, es decir”,

$$\frac{u'y_i}{v'x_i} \quad - [1.2]$$

“donde  $u'$  y  $v'$  son vectores de ‘pesos’ o ponderadores de los productos e insumos respectivamente. La obtención del valor óptimo de esos ponderadores se obtiene al resolver el siguiente problema de programación lineal (Coelli et al., 1998)”:

$$\max_{u,v} \left( \frac{u'y_i}{v'x_i} \right)$$

sujeto a:

$$\frac{u'y_j}{v'x_j} \leq 1, \quad j = 1, 2, \dots, N,$$

$$u, v \geq 0 \quad - [1.3]$$

“Al resolver este problema, se encuentran los valores de  $u$  y  $v$ , tales que la eficiencia de la  $i$ -ésima unidad de toma de decisión (DMU, por sus siglas en inglés), sean maximizados, sujetos a las restricciones de que todas las medidas de eficiencia deben ser menores o iguales a uno. Un problema detectado en este planteamiento, es que tiene un infinito número de soluciones. Para evitar eso, se puede imponer la restricción  $v'x_i=1$ , quedando: (Coelli et al., 1998)”.

$$\max_{\mu,v} (\mu'y_i),$$

sujeto a:

$$v'x_i = 1,$$

$$\mu'y_j - v'x_j \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, N$$

$$\mu, v \geq 0 \quad - [1.4]$$

“Debe notarse que en la expresión 1.4 se ha dado un cambio de notación para los ponderadores, de  $(u, v)$  a  $(\mu, \nu)$ , para enfatizar que se trata de un problema de programación diferente al inicial. (Coelli et al., 1998)”.

“Ahora disponemos de un problema de optimización lineal estándar, de  $N + 1$  restricciones lineales y  $n + m$  restricciones de no negatividad. Este planteamiento es conocido como la forma del multiplicador del problema de programación lineal del DEA (Coelli et al., 1998)”.

“El problema dual asociado se puede formular en una forma envolvente similar: (Coelli et al., 1998)”

$$\begin{aligned} & \min_{\theta, \lambda} \theta, \\ \text{sujeto a:} & \\ & -y_i + Y\lambda \geq 0, \\ & \theta x_i - X\lambda \geq 0, \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned} \quad \text{- [1.5]}$$

“En la expresión 1.5,  $\theta$  es un escalar y  $\lambda \in \mathfrak{R}^{N \times 1}$  un vector de constantes,  $X \in \mathfrak{R}^{n \times N}$  es la matriz de insumos con tantas filas como insumos y tantas columnas como DMU e  $Y \in \mathfrak{R}^{m \times N}$ , la matriz de productos con tantas filas como productos y columnas como DMU haya. En este caso habrá  $n + m$  restricciones lineales y  $N$  de no negatividad, es decir, una cantidad menor de restricciones que en la representación primal. Así, es generalmente la forma preferida para resolver. El valor de  $\theta$  obtenido será la marca de eficiencia para la  $i$ -ésima región, con lo que este problema nos permite determinar las DMU a partir de las cuales se construirá la empresa “virtual” con la que se compara al resto de las DMU. Para conocer las unidades “eficientes” asociadas a las demás, se debe resolver un problema similar, por esta razón el ejercicio debe repetirse  $N$  veces (una vez para cada DMU). Cabe notar que los valores encontrados para  $\Theta$  representan el valor de la eficiencia técnica, por lo que serán identificados como TECRS para mantener la notación que predomina en la literatura sobre este tipo de modelos (donde la indicación CRS significa que se están asumiendo rendimientos constantes a escala). Igualmente, se debe hacer mención que un resultado igual a 1, indica que esa DMU es técnicamente eficiente, mientras que los resultados menores a 1, nos indican el porcentaje respecto a la DMU eficiente al que se está operando (Coelli et al., 1998)”.

“Un elemento restrictivo y muy importante en la anterior expresión 1.5 es el supuesto de que se presentan rendimientos constantes a escala en la producción.

Cabe mencionar que por ello se le identifica como el modelo DEA de rendimientos constantes a escala o como el modelo CCR, por referencia a los autores del modelo (Charnes, Cooper y Rhodes, 1978). Claramente, este supuesto sólo es válido cuando todas las DMU están operando a una escala óptima (esto es, correspondiente a la porción plana de la curva de costos promedios de largo plazo). La competencia imperfecta, restricciones en el financiamiento, entre otros, pueden causar que una DMU no esté operando a una escala óptima. Banker, Charnes y Cooper (BCC, 1984) encontraron una extensión del modelo de DEA-CCR tal que permite la existencia de rendimientos crecientes a escala (Coelli et al., 1998)”.

“Para lo anterior, el problema de programación lineal es modificado al agregar una restricción de convexidad (esto es,  $\sum \lambda = 1$ ), quedando la expresión matemática del modelo BCC como sigue: (Coelli et al., 1998)”

$$\begin{aligned} & \min_{\theta, \lambda} \theta, \\ \text{sujeto a:} & \\ & -y_i + Y\lambda \geq 0, \\ & \theta x_i - X\lambda \geq 0, \\ & \sum \lambda = 1 \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned} \quad \text{- [1.6]}$$

“Nuevamente, como en el caso de la expresión 1.5, los valores encontrados para  $\theta$  representan el valor de la eficiencia técnica, y serán identificados como TEVRS para mantener la notación que predomina en la literatura sobre este tipo de modelos y donde VRS significa que se asumen rendimientos variables a escala (Coelli et al., 1998)”.

“Otro elemento a considerar en los anteriores modelos radica en que el modelo corresponde a las medidas que Farrell propuso para medir la ineficiencia técnica cuando hay una orientación a la reducción de los insumos que se utilizan. Sin embargo, es evidente la posibilidad de medir la ineficiencia técnica como un incremento proporcional en la producción considerando cantidades fijas de insumos. Éste es un caso muy frecuente en sectores como el del transporte donde no es posible reducir el tamaño de la infraestructura, por lo que **la eficiencia podría estar orientada al producto y no necesariamente a los insumos**. La implicación metodológica radica en que los resultados al medir la eficiencia varían cuando se considera la posibilidad de rendimientos variables a escala (Coelli et al., 1998)”.

“El modelo a optimizar tiene un desarrollo teórico muy similar al formulado en las expresiones 1.5 y 1.6 anteriores, pero se plantea como la siguiente maximización que asume rendimientos variables a escala (Coelli et al., 1998)”:

$$\begin{aligned} & \max_{\Phi, \lambda} \Phi, \\ \text{sujeto a:} & \\ & -\Phi y_i + Y\lambda \geq 0, \\ & x_i - X\lambda \geq 0, \\ & N1'\lambda = 1 \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned} \quad \text{- [1.7]}$$

Por supuesto, ahora los valores encontrados para  $\Phi$  representan el valor de la eficiencia técnica y serán identificados como  $TEO_{VRS}$ , donde  $O_{VRS}$  significa que se asume orientación al producto así como rendimientos variables a escala. La notación para las demás mediciones de la eficiencia quedaría como sigue:

$TEI_{CRS}$  = eficiencia técnica orientada a los insumos, con rendimientos constantes a escala.

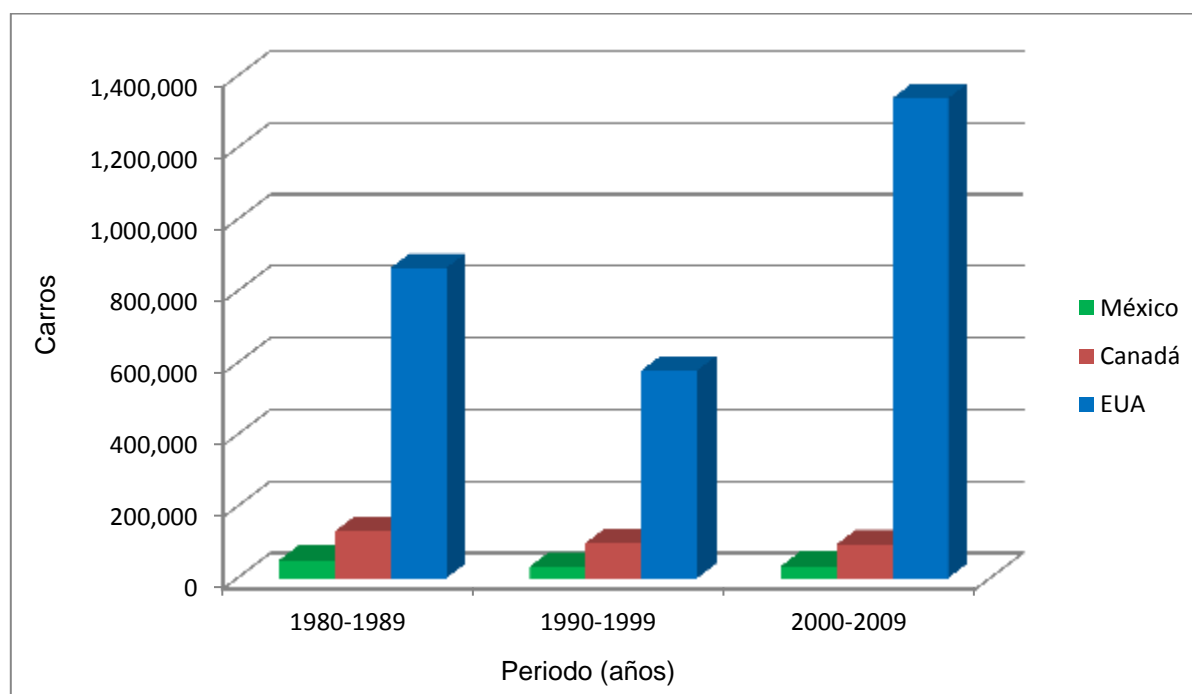
$TEI_{VRS}$  = eficiencia técnica orientada a los insumos, con rendimientos variables a escala.

$TEO_{CRS}$  = eficiencia técnica orientada a los productos, rendimientos constantes a escala.

## 2 Evolución de los ferrocarriles en Norteamérica en el periodo reciente

En el presente trabajo, se considera que la región de Norteamérica está compuesta por Canadá, EUA y México, estos países han suscrito diversos acuerdos comerciales y de cooperación, sobresaliendo el NAFTA (por sus siglas en inglés: North American Free Trade Agreement) con vigencia desde 1994.

La fuente de información predominante para esta parte de descripción de la evolución reciente de los sistemas de ferrocarriles nacionales es el NATS (por sus siglas en inglés: North American Transportation Statistics) que es un foro para el intercambio de estadísticas nacionales del transporte entre los países antes mencionados. Mientras que para el ámbito de las empresas prestadoras del servicio de transporte ferroviario de carga destaca como fuente primaria la Association of American Railroads (AAR), la cual agrupa a los principales ferrocarriles de los países de nuestro estudio, complementado por los reportes financieros y de operaciones de cada una de las empresas.

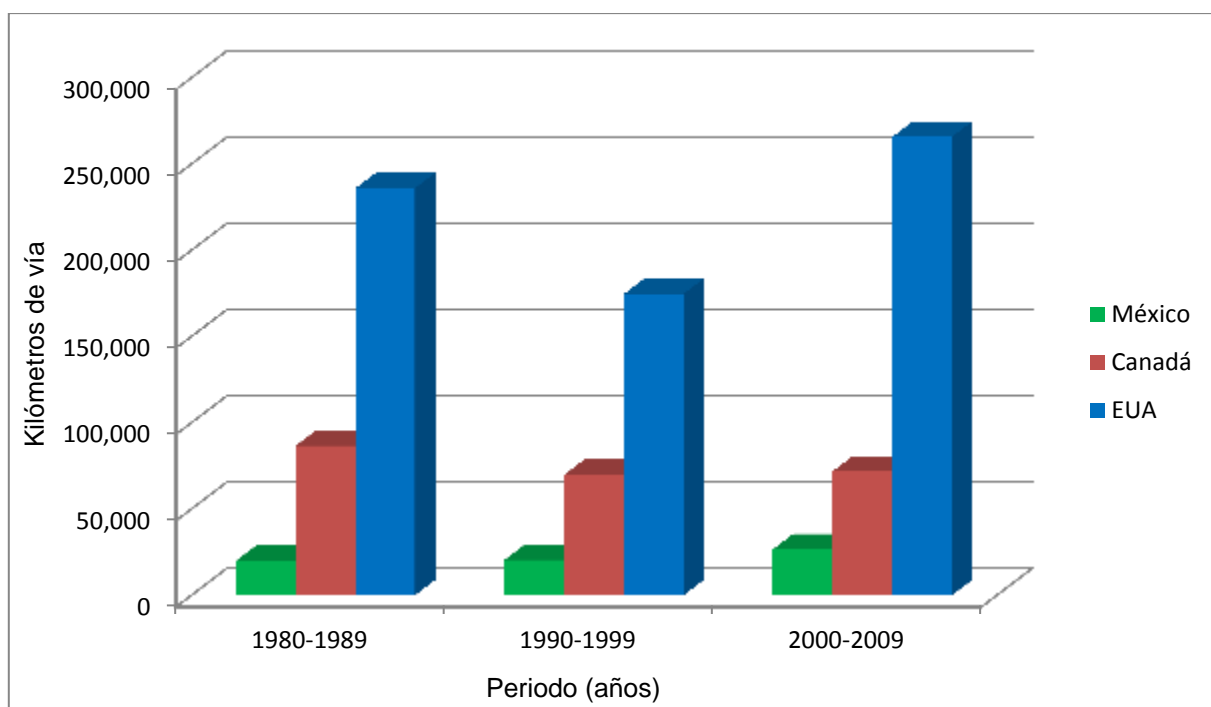


Fuente: elaboración propia con base en información de NATS para el periodo 2000-2009 y Banco Mundial para el periodo 1980-1999

**Figura 2.1 Evolución reciente de los carros de carga por país en Norteamérica**

Resulta ilustrativo mencionar que la operación ferroviaria internacional entre las diversas empresas es bastante ágil debido en parte a la serie de fusiones y

acuerdos realizados entre las empresas ferroviarias que operan regionalmente. Asimismo, se debe destacar el predominio del ferrocarril estadounidense en el sistema ferroviario de Norteamérica, como se ilustra en las figuras 2.1 y 2.2, de tal forma que durante la última década (2000-2009) el ferrocarril de EUA tuvo su mayor participación en la región con 91% del total de los carros de carga, mientras que su menor participación se presentó en la red ferroviaria con 74%.



Fuente: elaboración propia con base en información de NATS para el periodo 2000-2009 y Banco Mundial para el periodo 1980-1999

**Figura 2.2 Evolución reciente de la longitud de la red ferroviaria por país en Norteamérica**

## 2.1 El ferrocarril de carga en Canadá

El primer ferrocarril de servicio público canadiense fue el Champlain and Saint Lawrence Railroad que inició operaciones a las afueras de Montreal el 21 de julio de 1836 (Marsh, 2015), con un recorrido inicial de 26 km.

De acuerdo con las cifras del NATS (2014), al año 2012 el sistema ferroviario canadiense reportó 256.6 mil millones de t-km, empleando 37 mil trabajadores, mientras que utilizaba 64.2 miles de carros de carga, y cerca de 3.1 mil locomotoras, además de contar con un trazo ferroviario de alrededor 63.1 miles de km, este último registro fue tomado de Statistics Canada (CANSIM, 2015), debido a que el NATS sólo había publicado cifras al 2008.

Para dar una idea de la magnitud y evolución reciente de los insumos y producción del ferrocarril de carga en Canadá se presenta el cuadro 2.1, ahí se muestra que en la última década del Siglo XX la producción de t-km creció acompañado de una disminución de los insumos de personal, carros de carga y rutas operadas, mientras que el insumo de locomotoras presentó un ligero ajuste al alza. En la primera década del Siglo XXI, la producción de t-km presenta una baja acompañada de disminuciones en los insumos de empleados, locomotoras y carros de carga, a la vez que la longitud de las rutas operadas se incrementaba. Se puede decir que en la década de los años noventa creció su producción y probablemente su productividad, mientras que en la primera década del siglo actual si bien disminuyó su producción, no existen evidencias suficientes que su eficiencia en el uso de los insumos haya cambiado.

Las empresas ferroviarias que destacan en su participación nacional fueron Canadian National (CN) acompañada de Canadian Pacific (CP), que en conjunto representan la mayoría y casi totalidad de la contabilidad canadiense de sus vías férreas, lo mismo se aplica para el caso de los carros de carga y de las locomotoras registradas en Canadá.

**Cuadro 2.1 Unidades promedio de producción e insumos del ferrocarril canadiense**

| <b>Canadá</b>  | <b>1980-1989</b> | <b>1990-1999</b> | <b>2000-2009</b> |
|--|------------------|------------------|------------------|
| <b>Unidades de demanda doméstica t-km (millones)</b> | 217,314          | 263,822          | 224,560          |
| <b>Empleados</b>                                     | 82,617           | 49,327           | 39,400           |
| <b>Locomotoras</b>                                   | 3,240            | 3,301            | 2,995            |
| <b>Carros de carga</b>                               | 130,738          | 98,514           | 94,257           |
| <b>Rutas operadas (km)</b>                           | 86,733           | 69,867           | 71,905           |

Fuentes: RIVERA (2004); NATS (2014) y CANSIM (2015)

A manera de ejemplo, se presentan dos indicadores anuales de productividad parcial, uno laboral y otro operativo. Así, para la década de 2000 a 2009 el ferrocarril canadiense reportó una productividad laboral promedio de 5.7 millones de t-km por empleado, a la vez que presentó un indicador de 75 millones de t-km por locomotora.

## 2.2 El ferrocarril de carga en EUA

Es reconocido por Wolmar (2012) que The Baltimore & Ohio Railroad fue el primer ferrocarril de transporte público de carga y pasajeros en los EUA, el cual inició operaciones en mayo de 1830, atendiendo un recorrido de casi 21 km.

El NATS (2014) reporta para el año 2012, que el sistema ferroviario estadounidense reportó un servicio de más de 2 billones ( $1 \cdot 10^{12}$ ) de t-km, utilizando cerca de 230 mil empleados, 1.3 millones de carros de carga, así como 24.7 mil locomotoras y una red ferroviaria de alrededor de 260.7 mil km.

La evolución reciente de los insumos y la producción del ferrocarril en los EUA se presenta en el cuadro 2.2, ahí se muestra una clara tendencia a una mayor producción de t-km, que contrasta con el comportamiento de los insumos que para el caso de empleados y locomotoras presentan una importante caída en las década de los años noventa para crecer nuevamente en la primer década del Siglo XXI, aunque sin alcanzar las magnitudes de los años ochenta. Por su parte, los insumos de carros de carga y rutas operadas muestran una caída importante en la década de los noventa para después subir a magnitudes aún superiores a las registradas en la década de los años ochenta. De esta manera, parece que los insumos de empleados y locomotoras son los principales elementos para el fomento de la productividad ferroviaria, mientras que los otros dos insumos requieren de un mayor análisis tanto de la consistencia de la información como del papel que desempeñan en la estrategia del servicio ferroviario de carga.

**Cuadro 2.2 Unidades promedio de producción e insumos del ferrocarril estadounidense**

| <b>Estados Unidos de América</b>                     | <b>1980-1989</b> | <b>1990-1999</b> | <b>2000-2009</b> |
|--|------------------|------------------|------------------|
| <b>Unidades de demanda doméstica t-km (millones)</b> | 1,256,204        | 1,807,499        | 2,267,290        |
| <b>Empleados</b>                                     | 339,739          | 214,796          | 226,000          |
| <b>Locomotoras</b>                                   | 23,863           | 19,354           | 22,177           |
| <b>Carros de carga</b>                               | 865,188          | 579,631          | 1,338,139        |
| <b>Rutas operadas (km)</b>                           | 235,989          | 174,673          | 265,737          |

Fuentes: RIVERA (2004) y NATS (2014)

Las cifras de productividad parcial laboral y operativa del sistema ferroviario estadounidense fueron superiores a las canadienses, pues en el caso de indicador laboral el valor registrado para EUA en la última década del cuadro 2.2 fue de 10 millones de t-km por empleado, 75 por ciento mayor al registro canadiense, mientras que en el caso de los millones de t-km por locomotora se obtuvo un valor de 102 millones de t-km por locomotora, es decir, 36 por ciento mayor al valor canadiense.



## 2.3 El ferrocarril de carga en México

De acuerdo con Ortiz (1987) el primer servicio público de transporte ferroviario en México se inició el 22 de septiembre de 1950 en el tramo Veracruz - El Molino, éste presentaba un recorrido de 11.5 km.

México fue el único país que presentaba cifras actualizadas a 2013 en el NATS, cuando su sistema ferroviario realizó servicios de transporte de carga equivalentes a 70.3 mil millones de t-km (cifra de la DGTFM de acuerdo al tráfico local e interlineal remitido), empleando 14 mil trabajadores, 31.9 mil carros de carga, 1 243 locomotoras y 26.7 mil km de vías.

Con la finalidad de dar una idea de la magnitud y evolución reciente de los insumos y la producción del ferrocarril mexicano se presenta el cuadro 2.3, ahí se percibe que el promedio de producción de t-km sufre una contracción en la década de los noventa, para luego incrementar su volumen de manera notable durante la primera década del presente siglo, mientras que los insumos de empleados y locomotoras presentan una disminución sostenida durante las dos últimas décadas, a la vez que los carros presentan una importante disminución durante la década de los años noventa para luego presentar un ligero crecimiento. Finalmente, las rutas operadas presentan un incremento ligero durante la segunda década analizada para luego presentar un incremento importante de casi 16 por ciento durante la última década del periodo analizado.

**Cuadro 2.3 Unidades promedio de producción e insumos del ferrocarril mexicano**

| <b>México</b>  | <b>1980-1989</b> | <b>1990-1999</b> | <b>2000-2009</b> |
|--|------------------|------------------|------------------|
| <b>Unidades de demanda doméstica t-km (millones)</b> | 41,878           | 39,246           | 58,103           |
| <b>Empleados</b>                                     | 80,372           | 48,118           | 13,200           |
| <b>Locomotoras</b>                                   | 1,777            | 1,487            | 1,254            |
| <b>Carros de carga</b>                               | 50,160           | 32,618           | 33,276           |
| <b>Rutas operadas (km)</b>                           | 20,098           | 20,549           | 23,805           |

Fuentes: RIVERA (2004); NATS (2014) y DGTFM (varios años)

Los indicadores de productividad parcial del sistema ferroviario mexicano, en la década 2000-2009, fueron los de menor valor, pues registró valores de 4.4 millones de toneladas por personal ocupado y 46 millones de toneladas- kilómetro por locomotora, equivalentes a menos de la mitad de los valores estadounidenses, 44 y 45 por ciento respectivamente con respecto a las marcas registradas por el ferrocarril estadounidense.

## 2.4 Desempeño financiero de los ferrocarriles de carga Clase I en Norteamérica

La muestra de ferrocarriles seleccionados se compone de los nueve ferrocarriles listados en el cuadro 1.1, dos pertenecen a Canadá, cinco a Estados Unidos y dos a México, todos ellos Clase I y pertenecientes a la AAR, la cual es nuestra fuente de información inicial.

Para el año de 2004 se contó con las hojas de datos de 11 ferrocarriles de carga Clase I, publicadas por la AAR en el año 2005. En el cuadro 2.4 se muestran las nueve compañías ferroviarias y las variables financieras seleccionadas, es necesario mencionar que dos ferrocarriles estadounidenses, existentes en 2004, se fusionaron posteriormente, cada uno con una de las empresas ferroviarias canadienses.

En el cuadro 2.4 se muestran en las primeras dos filas a las empresas ferroviarias mexicanas más importantes, después se presentan los dos ferrocarriles canadienses y finalmente las cinco empresas ferroviarias más importantes en EUA, es fácil observar cómo la magnitud de ingresos ferroviarios son mayores en los ferrocarriles de EUA, seguidos por los canadienses y por último los mexicanos.

**Cuadro 2.4 Información financiera de los Ferrocarriles Norteamericanos (Clase I) en 2004, (millones de dólares corrientes)**

| Ferrocarril                 | Ingresos      | Costos operativos totales | Remuneraciones | Otros costos  |
|-----------------------------|---------------|---------------------------|----------------|---------------|
| <b>Ferromex</b>             | 640           | 490                       | 126            | 364           |
| <b>TFM (KCSM)</b>           | 699           | 573                       | 63             | 510           |
| <b>Canadian National</b>    | 5,031         | 3,365                     | 1,398*         | 2,048         |
| <b>Canadian Pacific</b>     | 2,993         | 2,388                     | 835            | 1,554         |
| <b>BNSF</b>                 | 10,857        | 9,238                     | 2,598          | 6,640         |
| <b>CSX Transportation</b>   | 7,114         | 6,518                     | 1,901          | 4,618         |
| <b>Norfolk Southern</b>     | 7,312         | 5,814                     | 1,697          | 4,117         |
| <b>Union Pacific</b>        | 12,180        | 11,014                    | 3,322          | 7,692         |
| <b>Kansas City Southern</b> | 636           | 527                       | 161            | 366           |
| <b>Total</b>                | <b>47,463</b> | <b>39,928</b>             | <b>12,099</b>  | <b>27,910</b> |

\* Las remuneraciones para el ferrocarril Canadian National fueron estimadas conocida su proporción en la participación en los costos totales, de acuerdo con las cifras reportadas en el reporte anual 2004 de dicho ferrocarril.

Fuente: Elaboración propia con base en información de "Profile of Railroads 2004". Association of American Railroads. Disponible en internet: <http://www.aar.org> (descarga de archivos en febrero de 2006)

La mayor magnitud de los ferrocarriles estadounidense se confirma en el cuadro 2.5, donde se presentan los acumulados por país, siendo Estados Unidos el que mayor monto de ingresos reportó con 38 mil millones de dólares, equivalente a 80.3 por ciento lo reportado en la región, mientras que Canadá participó con 16.9 por ciento de dicho total y México acumuló apenas 2.8 por ciento del total de Norteamérica. La realización de un análisis con mayor detalle se realizará a través de los índices de productividad parcial y total en los siguientes capítulos. Un dato interesante se muestra en la participación de las remuneraciones al personal donde Canadá presenta una participación de 18.5 por ciento, mayor en 1.6 unidades a su participación en los ingresos, mientras que México disminuye su participación a sólo 1.6 por ciento del total regional, así parecería que Canadá presenta la mayor proporción de remuneraciones con respecto al total de ingresos, lo cual favorecería a mayores ingresos de sus trabajadores.

**Cuadro 2.5 Información financiera de los Ferrocarriles (Clase I) por país 2004, (millones de dólares corrientes)**

| País           | Ingresos      | Costos operativos totales | Remuneraciones | Otros costos |
|----------------|---------------|---------------------------|----------------|--------------|
| Canadá         | 8,024         | 5,754                     | 2,233          | 1,454        |
| Estados Unidos | 38,099        | 33,111                    | 9,678          | 5,816        |
| México         | 1,340         | 1,063                     | 188            | 146          |
| <b>Total</b>   | <b>47,463</b> | <b>39,928</b>             | <b>12,099</b>  | <b>7,416</b> |

Fuente: Elaboración propia con base en información del cuadro 2.4

Para el año 2013, véase el cuadro 2.6, se observa nuevamente cómo la magnitud de ingresos ferroviarios son mayores en los ferrocarriles de EUA, seguidos por los canadienses y por último los mexicanos, dicha tendencia se confirma en el cuadro, 2.7 donde se presenta los acumulados por país, siendo Estados Unidos el que mayor monto de ingresos reporta con cerca de 68 mil millones de dólares, equivalente a 78.3 por ciento del total reportado en la región, mientras que Canadá participa con 18.7 por ciento de dicho total y México acumuló 3.0 por ciento del total de la muestra de ferrocarriles de Norteamérica. En el periodo 2004-2013 la participación de Canadá creció cerca de 1.8 puntos porcentuales, mientras que la de México creció 0.2 puntos porcentuales, de esta forma, la magnitud que se redujo la participación de los ferrocarriles estadounidenses fue de 2 puntos porcentuales.

De acuerdo con el cuadro 2.7, en el volumen de costos por remuneraciones, los ferrocarriles estadounidenses concentraron 77.3 por ciento del total regional, presentando una reducción de 2.7 puntos porcentuales, con respecto a 2004, mientras que los canadienses crecían en promedio 2.4 puntos su participación en el total de remuneraciones. Por último, los ferrocarriles mexicanos crecieron en 0.3 puntos porcentuales su participación del total de las remuneraciones en la región.

En el decenio 2004-2013, los principales cambios parecieran darse en la reducción de la participación de los ferrocarriles estadounidenses a favor de los canadienses y mexicanos, al menos en la parte de ingresos y remuneraciones al personal.

**Cuadro 2.6 Información financiera de los Ferrocarriles Norteamericanos (Clase I) en 2013, (millones de dólares corrientes)**

| <b>Ferrocarril</b>          | <b>Ingresos</b> | <b>Costos operativos totales</b> | <b>Remuneraciones</b> | <b>Otros costos</b> |
|-----------------------------|-----------------|----------------------------------|-----------------------|---------------------|
| <b>Ferromex</b>             | 1,469           | 1,107                            | 226                   | 881                 |
| <b>TFM (KCSM)</b>           | 1,101           | 705                              | 66                    | 639                 |
| <b>Canadian National</b>    | 10,268          | 6,507                            | 2,099                 | 4,408               |
| <b>Canadian Pacific</b>     | 5,959           | 4,579                            | 1,189                 | 3,390               |
| <b>BNSF</b>                 | 21,774          | 15,304                           | 3,684                 | 11,620              |
| <b>CSX Transportation</b>   | 11,706          | 9,044                            | 2,248                 | 6,796               |
| <b>Norfolk Southern</b>     | 11,245          | 8,206                            | 2,162                 | 6,044               |
| <b>Union Pacific</b>        | 21,935          | 14,766                           | 3,853                 | 10,913              |
| <b>Kansas City Southern</b> | 1,258           | 933                              | 227                   | 706                 |
| <b>Total</b>                | <b>86,715</b>   | <b>61,151</b>                    | <b>15,754</b>         | <b>45,397</b>       |

Fuente: Elaboración propia con base en información de "Railroads Facts, 2014 Edition".  
Association of American Railroads

Con la información de los cuadros 2.5 y 2.7 podemos calcular un par de indicadores, uno de productividad financiera: ingresos entre costos operativos, y otro que mide el porcentaje de participación de las remuneraciones en el total de costos operativos, para conocer la evolución reciente del desempeño de los ferrocarriles de carga con los datos recopilados, debemos resaltar que no se incluyen todos los costos, pues faltan los pagos de intereses, dividendos e impuestos.

Así, durante 2004, los ferrocarriles canadienses obtuvieron la mejor marca con un indicador de rentabilidad financiera con un valor de 1.39, seguido por los ferrocarriles mexicanos que obtuvieron un indicador de 1.26 y por último los ferrocarriles estadounidenses reportaron un indicador promedio de 1.15. Para 2013 los promedios de los ferrocarriles por país crecieron y parecen converger, así los ferrocarriles canadienses registraron el valor más alto con 1.46, seguidos por los mexicanos con un valor de 1.42 y los estadounidenses con 1.41.

En el caso de la participación de las remuneraciones con respecto al total de costos operativos, se encontró que esta disminuye entre 2004 y 2013 en los tres

países, aunque las posiciones del mayor y menor valor por país se mantiene, pues las empresas canadienses presentan la mayor participación de las remuneraciones a los empleados en ambos años, al registrar valores de 38.8 por ciento en 2004 contra 29.7 por ciento en 2013, registrando la mayor caída de los tres países. Por su parte los ferrocarriles estadounidenses reducen la participación de las remuneraciones al pasar de 29.2 a 25.2 por ciento; finalmente las empresas mexicanas registran las menores marcas al pasar de 17.7 a 16.1 por ciento entre 2004 y 2013.

**Cuadro 2.7 Información financiera de los Ferrocarriles (Clase I) en Norteamérica 2013, (millones de dólares corrientes)**

| País           | Ingresos      | Costos operativos totales | Remuneraciones | Otros costos  |
|----------------|---------------|---------------------------|----------------|---------------|
| Canadá         | 16,227        | 11,086                    | 3,288          | 7,798         |
| Estados Unidos | 67,918        | 48,253                    | 12,174         | 36,079        |
| México         | 2,570         | 1,812                     | 292            | 1,520         |
| <b>Total</b>   | <b>86,715</b> | <b>61,151</b>             | <b>15,754</b>  | <b>45,397</b> |

Fuente: Elaboración propia con base en información del cuadro 2.6

## 2.5 Evolución operativa reciente de los ferrocarriles

Con el propósito de matizar los cambios recientes ocurridos en los ferrocarriles norteamericanos se describen a continuación los resultados operativos entre los años 2004 y 2013 para el grupo de ferrocarriles por país, mientras que en los anexos 2 al 6 se muestra el detalle de la evolución de los ferrocarriles por empresa.

Al agrupar la información operativa por países observamos, véase el cuadro 2.8, nuevamente el predominio de los ferrocarriles estadounidenses en la participación del total ferroviario en Norteamérica en el año 2004. Así, observamos que con respecto a la producción de toneladas-km, EUA presentó una participación de 82.3 por ciento, mientras que Canadá registró una participación de 15.5 por ciento y México presentó apenas 2.2 por ciento de participación en la región, cabe resaltar que la menor participación de EUA se presentó en el rubro de los carros de carga donde participó con 70.4 por ciento del total de Norteamérica en el año 2004, mientras que Canadá participó con 24.9 y México con 4.7 por ciento.

Para el año 2013, la mayor participación de las compañías ferroviarias estadounidenses se presenta en el rubro de locomotoras al registrar un porcentaje de 84.0 por ciento, seguido por las t-km, que disminuye su participación a 80.4 por ciento. Por otra parte el rubro con menor participación de las empresas estadounidenses son nuevamente los carros de carga con 68.3 por ciento, lo que

permite que Canadá y México presenten un mayor nivel de participación con 26.2 y 5.5 por ciento respectivamente.

**Cuadro 2.8 Información operativa de los Ferrocarriles Norteamericanos (Clase I) en 2004**

| Ferrocarril    | Toneladas- km (millones) | Empleados      | Locomotoras   | Carros de carga | Vías (km)      |
|----------------|--------------------------|----------------|---------------|-----------------|----------------|
| Canadá         | 479,353                  | 38,526         | 3,755         | 144,646         | 53,302         |
| Estados Unidos | 2,547,909                | 148,534        | 21,327        | 409,464         | 179,159        |
| México         | 67,239                   | 9,442          | 968           | 27,214          | 13,547         |
| <b>Total</b>   | <b>3,094,500</b>         | <b>196,502</b> | <b>26,050</b> | <b>581,324</b>  | <b>246,007</b> |

Fuente: Elaboración propia con base en información del Anexo 1.

**Cuadro 2.9 Información operativa de los Ferrocarriles Norteamericanos (Clase I) en 2013**

| Ferrocarril    | Toneladas-km (millones) | Empleados      | Locomotoras   | Carros de carga | Vías (km)      |
|----------------|-------------------------|----------------|---------------|-----------------|----------------|
| Canadá         | 570,307                 | 38,716         | 3,659         | 115,160         | 55,360         |
| Estados Unidos | 2,640,808               | 152,450        | 24,514        | 300,079         | 174,533        |
| México         | 75,261                  | 11,145         | 1,012         | 24,235          | 12,932         |
| <b>Total</b>   | <b>3,286,376</b>        | <b>202,311</b> | <b>29,185</b> | <b>439,474</b>  | <b>242,826</b> |

Fuente: Elaboración propia con base en información del Anexo 1.

En el caso de los indicadores anuales de productividad parcial que se pueden obtener con la información agrupada por país, se calcularon cuatro indicadores de la intensidad de uso de los cuatro insumos utilizados (empleados, locomotoras, carros y vías) para la obtención de la producción ferroviaria medido en millones de t-km, véase el cuadro 2.10, en general, casi todos los indicadores crecen entre los años 2004 a 2013, con excepción de dos de los doce pares descritos (cuatro por país).

En el indicador de t-km por empleado, los mayores valores los registró EUA, seguido por Canadá y en último sitio México que incluso presenta un retroceso de dicho indicador en el año 2013 con respecto a 2004, registrando un valor de 6.8 millones de t-km por empleado laborando, que representó 39 por ciento del valor registrado por los ferrocarriles estadounidenses, que reportaron 17.3 millones de t-km por empleado. Es pertinente resaltar que en el año 2004, la posición de los ferrocarriles mexicanos con respecto a la mejor marca había sido de 42 por ciento, es decir, su posición relativa empeoró para el año 2013.

Para el caso de las t-km por locomotora, los ferrocarriles canadienses obtuvieron los registros más altos, superando a los estadounidenses y mexicanos, este último registró un valor de 74.4 millones de t-km por locomotora en operación, que representó un 48 por ciento de la mejor marca del año 2013, mientras que en 2004 su posición relativa fue de 54 por ciento con respecto a los canadienses, nuevamente su posición relativa dentro de los ferrocarriles norteamericanos disminuyó.

El comportamiento del indicador de t-km por carro crece entre 2004 y 2013, para los tres países, siendo los ferrocarriles estadounidenses los que reportaron las mejores marcas, seguidos por los canadienses y nuevamente los mexicanos presentaron las marcas más bajas. Así durante 2004 las ferroviarias mexicanas mostraron una marca de 2.5 millones de t-km por carro utilizado que representó un 40 por ciento de la mejor marca. En el año 2013 el indicador mexicano creció a 3.1 millones de t-km por carro aunque su posición relativa con respecto al indicador estadounidense fue de apenas 35 por ciento. Otra vez su posición relativa disminuyó.

En el indicador t-km por km de vía, el promedio de los ferrocarriles estadounidenses presentaron los mayores valores en los años descritos, los canadienses ocuparon la segunda posición y los mexicanos mostraron los valores más bajos, aunque su valor crece entre 2004 y 2013 al pasar de 5 a 5.8 millones de t-km por cada kilómetro de vía utilizado. La posición relativa del promedio de los ferrocarriles mexicanos contra la mejor marca crece para 2013 al pasar de 35 a 38 por ciento el valor del promedio de los ferrocarriles estadounidenses.

**Cuadro 2.10 Indicadores de productividad parcial de los Ferrocarriles Norteamericanos 2004 y 2013 (millones de t-km)**

| Ferrocarril   | t-km / empleado |      | t-km / locomotora |       | t-km / carro |      | t-km / vía |      |
|---------------|-----------------|------|-------------------|-------|--------------|------|------------|------|
|               | 2004            | 2013 | 2004              | 2013  | 2004         | 2013 | 2004       | 2013 |
| <b>Canadá</b> | 12.4            | 14.7 | 127.7             | 155.9 | 3.3          | 5.0  | 9.0        | 10.3 |
| <b>EUA</b>    | 17.2            | 17.3 | 119.5             | 107.7 | 6.2          | 8.8  | 14.2       | 15.1 |
| <b>México</b> | 7.1             | 6.8  | 69.5              | 74.4  | 2.5          | 3.1  | 5.0        | 5.8  |

Fuente: Elaboración propia con base en información de los cuadros 2.8 y 2.9

Por último, de acuerdo con la información de los cuadros por país, llama la atención que en 2004 el mayor promedio de remuneraciones por empleado se presentó en los ferrocarriles estadounidenses con un registro anual promedio de 65.2 mil dólares, seguido por los canadienses con remuneraciones promedio de 58 mil dólares y los mexicanos con 19.9 mil dólares. Sin embargo, para 2013 las remuneraciones de los empleados ferroviarios canadienses superaron a los norteamericanos al recibir en promedio 84.9 mil dólares contra 79.9 de los estadounidenses, mientras que los empleados mexicanos recibían apenas 26.2

mil dólares. La proporción de los ingresos promedio de los trabajadores mexicanos con respecto a la mejor marca pasó de 30.6 a 30.9 por ciento entre 2004 y 2013.

De acuerdo con los resultados mostrados hasta el momento, parecería que los ferrocarriles mexicanos presentan el peor desempeño medido a través de los diversos indicadores de productividad parcial, mientras que en un nivel medio se encontrarían los ferrocarriles canadienses, a la vez que los grandes ferrocarriles estadounidenses se encontrarían en la cima de la productividad parcial, sin embargo, aún no se conoce que elementos de los insumos son mejor aprovechados ni en qué medida, por último, resulta importante señalar que la productividad por tamaño de la escala de operación no ha sido señalado en forma alguna; estos aspectos pueden ser acotados y estimados con la metodología DEA, como se muestra en el siguiente capítulo.



### 3 Estimación de la productividad total de los ferrocarriles Clase I

---

De acuerdo con la teoría descrita en el capítulo 1, se utilizará el método de la envolvente de datos (data envelopment analysis, DEA) propuesto por Charnes, Cooper y Rodes en 1978 (modelo DEA-CCR), para estimar la eficiencia técnica de los ferrocarriles norteamericanos, asimismo, también se utilizará el modelo modificado por Banker, Charnes y Cooper en 1984 (modelo DEA-BCC), quienes encontraron una extensión del modelo de DEA-CCR tal que permite tomar en cuenta la existencia de rendimientos crecientes a escala.

Los datos utilizados y los indicadores calculados en el anterior capítulo son útiles para mostrar la importancia relativa de cada uno de dichos insumos en la producción de toneladas-kilómetro. Las variables operativas del capítulo 2, se utilizan para la estimación de la eficiencia técnica de los ferrocarriles y en su caso para la eficiencia de escala, véase el cuadro 3.1.

**Cuadro 3.1 Información de las variables seleccionadas en 2013**

| Ferrocarril          | Toneladas-kilómetro (millones) | Empleados      | Locomotoras   | Carros de carga | Vías (kilómetros) |
|----------------------|--------------------------------|----------------|---------------|-----------------|-------------------|
| Ferromex             | 47,685                         | 7,908          | 631           | 15,614          | 8,149             |
| KCSM                 | 27,576                         | 3,237          | 381           | 8,621           | 4,783             |
| Canadian National    | 338,167                        | 23,705         | 2,008         | 67,560          | 32,186            |
| Canadian Pacific     | 232,140                        | 15,011         | 1,651         | 47,600          | 23,174            |
| BNSF                 | 1,086,959                      | 42,625         | 7,310         | 73,577          | 52,455            |
| CSX Transportation   | 364,733                        | 28,154         | 4,259         | 68,008          | 33,496            |
| Norfolk Southern     | 311,483                        | 29,666         | 4,139         | 79,121          | 32,123            |
| Union Pacific        | 827,617                        | 49,116         | 8,266         | 67,755          | 51,237            |
| Kansas City Southern | 50,016                         | 2,889          | 540           | 11,618          | 5,222             |
| <b>Total</b>         | <b>3,286,376</b>               | <b>202,311</b> | <b>29,185</b> | <b>439,474</b>  | <b>242,826</b>    |

Fuente: Elaboración propia con base en información del Anexo 1

Se utilizó el programa DEA-Solver (Cooper, 2005) para la estimación de la eficiencia técnica y se consideran como modelos de solución las cuatro opciones siguientes:

1. El CCR-I, es decir, el modelo de Charnes, Cooper y Rhodes, que estima la TEI, CRS (la eficiencia técnica orientada a los insumos) al minimizar la

cantidad de insumos utilizados dada la cantidad de producción y asumiendo rendimientos constantes a escala.

2. El CCR-O, es decir, el modelo de Charnes, Cooper y Rhodes, que estima la TEO, CRS (la eficiencia técnica orientada a los productos) al maximizar la cantidad de producción dada la cantidad de insumos utilizados y asumiendo rendimientos constantes a escala.
3. El BCC-I, es decir, el modelo de Banker, Charnes y Cooper, que estima la TEI, VRS (la eficiencia técnica orientada a los insumos) al minimizar la cantidad de insumos utilizados dada la cantidad de producción y asumiendo rendimientos variables a escala.
4. El BCC-O, es decir, el modelo de Banker, Charnes y Cooper, que estima la TEO, VRS (la eficiencia técnica orientada a los productos) al maximizar la cantidad de producción dada la cantidad de insumos utilizados y asumiendo rendimientos variables a escala.

### **3.1 Corridas DEA utilizando variables de tipo operativo**

Una primera aproximación al cálculo de la productividad técnica de los ferrocarriles se realizó para un grupo de variables que pueden clasificarse como del tipo operativos, cuatro de ellas clasificadas como insumos: número de empleados, locomotoras, carros de carga y longitud de las vías, y una como producto: toneladas-kilómetro.

Se puede observar en los cuadros 3.2 y 3.3, que los resultados CCR son idénticos para ambas opciones de minimizar insumos y maximizar producto, mientras que para los modelos BCC se obtienen promedios de eficiencia ligeramente diferentes, aunque sus valores en el promedio de eficiencia son mayores a los CCR. Por lo anterior se puede afirmar que existe evidencia de efectos de rendimientos variables a escala y de esta forma se dio prioridad a la interpretación de los resultados de los modelos BCC con énfasis en las diferencias de resultados hallados entre los enfoques de maximización de producción y minimización de insumos. Resulta interesante señalar que en general el valor de la desviación estándar entre modelos BCC fue menor en la variante de minimización de insumos, modelo BCC-I.

De acuerdo con los resultados para el modelo BCC-I, el promedio de eficiencia de los ferrocarriles es menor en 2013 que el estimado para 2004 al registrar valores de 0.857 y 0.894 respectivamente, mientras que su desviación estándar resultó mayor en 2013. El modelo BCC-O presenta tendencias similares aunque con variaciones ligeramente mayores, como lo refleja que su promedio de eficiencia pasa de 0.882 a 0.835. Otro aspecto que llama la atención es que el valor mínimo de eficiencia es menor para las corridas del modelo BCC-O (con respecto al BCC-I) a pesar de la mayor reducción que se registró para el modelo BCC-I, en este rubro.

**Cuadro 3.2 Resumen de los resultados de estimación de la eficiencia técnica, variables operativas, por tipo de modelo DEA utilizado, para el año 2004**

|                                | CCR-O | CCR-I | BCC-O | BCC-I |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Numero de ferrocarriles</b> | 9     | 9     | 9     | 9     |
| <b>Promedio de eficiencia</b>  | 0.681 | 0.681 | 0.882 | 0.894 |
| <b>Desviación estándar</b>     | 0.202 | 0.202 | 0.149 | 0.138 |
| <b>Valor máximo</b>            | 1     | 1     | 1     | 1     |
| <b>Valor mínimo</b>            | 0.421 | 0.421 | 0.554 | 0.587 |

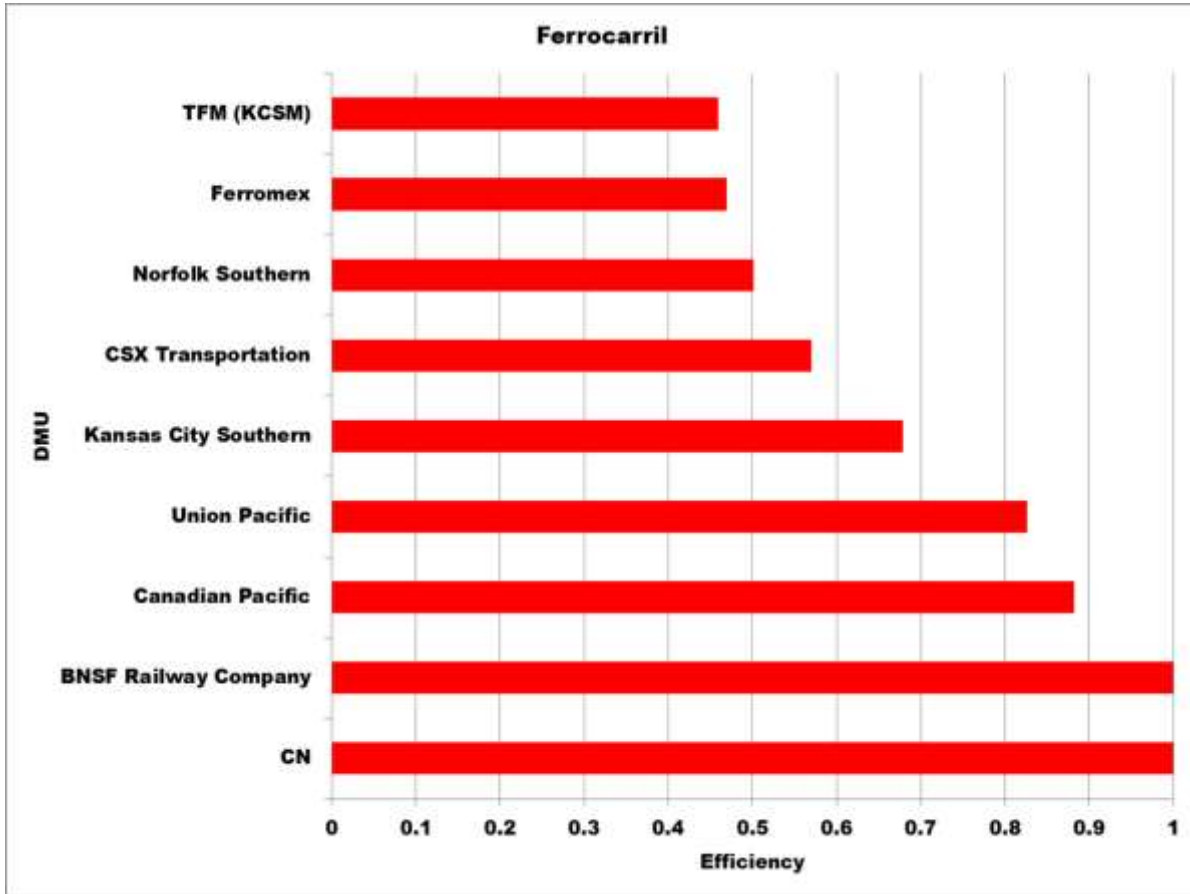
Fuente: resultados de las corridas de DEA realizadas con DEA-Solver

**Cuadro 3.3 Resumen de los resultados de estimación de la eficiencia técnica, variables operativas, por tipo de modelo DEA utilizado, para el año 2013**

|                                | CCR-O | CCR-I | BCC-O | BCC-I |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Numero de ferrocarriles</b> | 9     | 9     | 9     | 9     |
| <b>Promedio de eficiencia</b>  | 0.710 | 0.710 | 0.835 | 0.857 |
| <b>Desviación estándar</b>     | 0.210 | 0.210 | 0.188 | 0.169 |
| <b>Valor máximo</b>            | 1     | 1     | 1     | 1     |
| <b>Valor mínimo</b>            | 0.460 | 0.460 | 0.512 | 0.541 |

Fuente: resultados de las corridas de DEA realizadas con DEA-Solver

A continuación se muestra un ejemplo de los gráficos que proporciona el DEA-Solver como parte de sus resultados, véase la figura 3.1. Resulta importante comentar que para este ejemplo la eficiencia de los ferrocarriles mexicano son las más bajas al no considerar los efectos del rendimiento variable a escala, como si lo hacen los modelos BCC cuyos resultados se detallan en la sección 3.3.



Fuente: resultados de las corridas de DEA realizadas con DEA-Solver

**Figura 3.1 Resultados de la medición de eficiencia técnica aplicando el modelo CCR-0 a variables operativas, para el año 2013**

### 3.2 Corridas DEA utilizando variables de tipo operativo y financiero

El segundo grupo de variables que se consideraron para las corridas del DEA-Solver, fue para el total de variables cuya información se recolectó, totalizando seis variables como insumos: remuneraciones, otros costos, número de empleados, locomotoras, carros de carga y longitud de las vías, las dos primeras de tipo monetario, mientras que por el lado de los productos se contó con las toneladas-km y los ingresos por operación.

Para este grupo de variables se presenta, nuevamente, que los resultados CCR son idénticos para ambas opciones de enfoque: minimización de los insumos y maximización del producto, véanse los cuadros 3.4 y 3.5. Lo mismo parecería suceder para los modelos BCC aunque con un ligero incremento de una centésima en el promedio de eficiencia, durante 2004, con respecto a los CCR, de esta forma, no resulta tan evidente un efecto de rendimientos variables a escala.

Nuevamente, el valor de la desviación estándar entre modelos BCC fue menor en la variante de minimización de insumos, principalmente en el BCC-I de 2013.

En el modelo BCC-I, el promedio de eficiencia de los ferrocarriles fue menor en 2004 con respecto a 2013 al registrar valores de 0.991 contra 0.995, a la vez que su desviación estándar cambio en dos centésimas. Por su parte, el modelo BCC-O presenta tendencias similares, como se manifiesta en que su promedio de eficiencia fue de 0.991 y 0.994 para los años 2004 y 2013, respectivamente. Ahora, el valor mínimo del rango de eficiencia de la muestra es menor para las corridas del modelo BCC-O, especialmente durante 2013.

**Cuadro 3.4 Resumen de los resultados de estimación de la eficiencia técnica, incluyendo variables financieras, por tipo de modelo DEA utilizado, para el año 2004**

|                                | CCR-O | CCR-I | BCC-O | BCC-I |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Numero de ferrocarriles</b> | 9     | 9     | 9     | 9     |
| <b>Promedio de eficiencia</b>  | 0.981 | 0.981 | 0.991 | 0.991 |
| <b>Desviación estándar</b>     | 0.027 | 0.027 | 0.018 | 0.017 |
| <b>Valor máximo</b>            | 1     | 1     | 1     | 1     |
| <b>Valor mínimo</b>            | 0.930 | 0.930 | 0.949 | 0.953 |

Fuente: resultados de las corridas de DEA realizadas con DEA-Solver

**Cuadro 3.5 Resumen de los resultados de estimación de la eficiencia técnica, incluyendo variables financieras, por tipo de modelo DEA utilizado, para el año 2013**

|                                | CCR-O | CCR-I | BCC-O | BCC-I |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Numero de ferrocarriles</b> | 9     | 9     | 9     | 9     |
| <b>Promedio de eficiencia</b>  | 0.986 | 0.986 | 0.994 | 0.995 |
| <b>Desviación estándar</b>     | 0.026 | 0.026 | 0.017 | 0.015 |
| <b>Valor máximo</b>            | 1     | 1     | 1     | 1     |
| <b>Valor mínimo</b>            | 0.931 | 0.931 | 0.946 | 0.952 |

Fuente: resultados de las corridas de DEA realizadas con DEA-Solver

Resulta importante señalar que las metodología CCR y BCC son aplicables a muestras transversales de datos, es decir, información para un mismo periodo de tiempo mientras que los cambios entre periodos requieren de otras técnicas de medición de la eficiencia, mismas que el programa DEA-Solver incluye en sus versiones profesionales, y no en la versión de evaluación que se utilizó. Por ello,

nuestro análisis no incluye una evolución dinámica de la eficiencia técnica de los ferrocarriles y se concentra en las comparaciones del desempeño para el año 2013 utilizando el modelo BCC.

### **3.3 Medición de la eficiencia técnica de los ferrocarriles en 2013, modelo BCC**

Las corridas del programa DEA-Solver reportan para cada ferrocarril el grado de eficiencia técnica con respecto a las mejores marcas calculadas (frontera de eficiencia), como podemos observar en el cuadro 3.6, donde se presentan los resultados de las corridas que consideran sólo las variables del aspecto operativo, es decir, cuatro insumos y un producto, de acuerdo con información del cuadro 3.1.

Los resultados del modelo BCC-O registran que dos ferrocarriles estadounidenses (BNSF y Kansas City Southern) acompañados de un ferrocarril mexicano y un canadiense (KCSM y Canadian National, respectivamente) se ubican en la frontera de mejores marcas de la eficiencia, mientras que en un segundo nivel se coloca Canadian Pacific con un registro de 0.931 seguido de cerca por Union Pacific con un valor de 0.834, a continuación se ubican Ferromex y CSX Transportation con marcas de 0.661 y 0.58 respectivamente. La marca más baja fue la registrada por Norfolk Southern con apenas 0.512 de calificación.

**Cuadro 3.6 Resumen de la medición de eficiencia técnica, para el modelo BCC, para variables operativas en 2013**

| <b>Unidad ferroviaria</b>   | <b>BCC-O</b> | <b>BCC-I</b> |
|-----------------------------|--------------|--------------|
| <b>KCSM (TFM)</b>           | 1            | 1            |
| <b>Canadian National</b>    | 1            | 1            |
| <b>BNSF</b>                 | 1            | 1            |
| <b>Kansas City Southern</b> | 1            | 1            |
| <b>Canadian Pacific</b>     | 0.931        | 0.939        |
| <b>Union Pacific</b>        | 0.834        | 0.851        |
| <b>Ferromex</b>             | 0.661        | 0.780        |
| <b>CSX Transportation</b>   | 0.580        | 0.604        |
| <b>Norfolk Southern</b>     | 0.512        | 0.541        |

Fuente: resultados de las corridas de DEA realizadas con DEA-Solver

La aplicación del modelo BCC-I presenta resultados similares con valores de eficiencia apenas mayores a los registrados con el modelo BCC-O, por tanto con

una menor dispersión de los valores de la muestra. Por lo anterior el uso de cualquiera de los dos enfoques presentan una jerarquización idéntica del desempeño de los ferrocarriles Clase I, como se aprecia en el cuadro 3.6.

Los resultados de la medición de la eficiencia aplicando el modelo BCC para el conjunto de variables operativas y financieras se muestran en el cuadro 3.7, tanto para el enfoque de orientación a la maximización de los productos como el de minimización de los insumos. Se puede observar que prácticamente todos los ferrocarriles son localizados en la frontera de eficiencia, representada por las mejores marcas, con excepción del Canadian Pacific para ambos enfoques. Es destacable que aunque no se ubica en la frontera de eficiencia, el ferrocarril Canadian Pacific se encuentra cerca de ella con marcas cercanas al 0.95 de eficiencia.

De acuerdo con los resultados de los cuadros 3.6 y 3.7, se aprecia que la inclusión de variables financieras nos reduce el campo de análisis de las diferencias de desempeño a un solo ferrocarril, aunque probablemente también parece indicar que cada uno de los ferrocarriles busca mejorar su desempeño de acuerdo con sus limitantes y ambiente de operación. Por lo anterior, el análisis se limita a los resultados obtenidos con el modelo BCC para variables operativas, primordialmente.

**Cuadro 3.7 Resumen de la medición de eficiencia técnica, para el modelo BCC, incluyendo variables financieras, 2013**

| <b>Unidad ferroviaria</b>   | <b>BCC-O</b> | <b>BCC-I</b> |
|-----------------------------|--------------|--------------|
| <b>Ferromex</b>             | 1            | 1            |
| <b>KCSM (TFM)</b>           | 1            | 1            |
| <b>Canadian National</b>    | 1            | 1            |
| <b>BNSF</b>                 | 1            | 1            |
| <b>CSX Transportation</b>   | 1            | 1            |
| <b>Norfolk Southern</b>     | 1            | 1            |
| <b>Union Pacific</b>        | 1            | 1            |
| <b>Kansas City Southern</b> | 1            | 1            |
| <b>Canadian Pacific</b>     | 0.946        | 0.952        |

Fuente: resultados de las corridas de DEA realizadas con DEA-Solver

Además de las calificaciones de la eficiencia técnica de las unidades económicas evaluadas, el DEA-Solver nos proporciona información detallada de marcas de eficiencia para cada una de las variables observadas de cada ferrocarril en función de su posición con respecto a la frontera eficiente estimada. De especial interés

resulta el reporte de holguras (slacks) que identifica en dónde se ubican las ineficiencias en el uso de los insumos, véase el cuadro 3.8.

En el cuadro 3.8 se exponen, además del grado de eficiencia técnica, las holguras o excesos que se detectaron de los insumos para la producción de toneladas-kilómetro para los ferrocarriles durante el año 2013 aplicando el modelo BCC-O. Puede observarse que para aquellos ferrocarriles que se ubicaron sobre la frontera eficiente no se contabiliza ningún exceso en el uso de los insumos, mientras que para el resto de los ferrocarriles se detectan cantidades excedentes del nivel óptimo de los insumos, principalmente en empleados y carros de carga para los ferrocarriles con peor calificación, mientras que Ferromex sólo registra exceso de empleados, asimismo, Canadian Pacific registró exceso de carros y longitud de vía, por su parte Union Pacific presentó excesos en tres insumos: empleados, locomotoras y longitud de vía, a pesar de ello no se encuentra entre los peores calificados.

**Cuadro 3.8 Eficiencia técnica y holguras en variables operativas, modelo BCC-O, año 2013**

| Unidades ferroviarias | Calificación | Exceso en Empleados | Exceso en Locomotoras | Exceso en Carros de carga | Exceso en longitud de Vía | Déficit en t/km |
|-----------------------|--------------|---------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------|
|                       |              | S-( 1)              | S-( 2)                | S-( 3)                    | S-( 4)                    | S+( 1)          |
| KCSM (TFM)            | 1.000        | 0                   | 0                     | 0                         | 0                         | 0               |
| Canadian National     | 1.000        | 0                   | 0                     | 0                         | 0                         | 0               |
| BNSF                  | 1.000        | 0                   | 0                     | 0                         | 0                         | 0               |
| Kansas City Southern  | 1.000        | 0                   | 0                     | 0                         | 0                         | 0               |
| Canadian Pacific      | 0.931        | 0                   | 0                     | 6 299                     | 2 523                     | 0               |
| Union Pacific         | 0.834        | 10 021              | 1 577                 | 0                         | 3 055                     | 0               |
| Ferromex              | 0.661        | 2 162               | 0                     | 0                         | 0                         | 0               |
| CSX Transportation    | 0.580        | 1 739               | 0                     | 16 438                    | 0                         | 0               |
| Norfolk Southern      | 0.512        | 4 346               | 0                     | 30 011                    | 0                         | 0               |

Fuente: resultados de las corridas de DEA realizadas con DEA-Solver

En el cuadro 3.9 se reportan los resultados del modelo BCC-I, aplicado a las mismas cinco variables operativas del cuadro 3.8, para los ferrocarriles Clase I durante el año 2013. Como podía esperarse por el enfoque aplicado de minimización de los insumos y en comparación con el cuadro 3.8, se reducen los valores en los excesos de los insumos evaluados para cada ferrocarril no localizado en la frontera de las mejores marcas, a la vez que se mantiene la misma distribución de excesos por variable. Nuevamente se presenta con mayor frecuencia de aparición la variable de empleados, con cuatro ocasiones, seguido



por los carros que aparecen tres veces mientras que el exceso de longitud en las vías se muestra en dos ferrocarriles y finalmente el exceso de locomotoras sólo ocurre para la empresa ferroviaria Union Pacific.

Como se puede observar en el cuadro 3.9, también se puede estimar los déficits en la producción para aquellas unidades ferroviarias que estuvieron por debajo de la frontera de eficiencia, sin embargo en el caso del modelo BCC aplicado a las variables operativas no registra ningún déficit en la producción.

**Cuadro 3.9 Eficiencia técnica y holguras en variables operativas, modelo BCC-I, año 2013**

| Unidades ferroviarias | Calificación | Exceso en Empleados | Exceso en Locomotoras | Exceso en Carros de carga | Exceso en longitud de Vía | Déficit en t/km |
|-----------------------|--------------|---------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------|
|                       |              | S-( 1)              | S-( 2)                | S-( 3)                    | S-( 4)                    | S+( 1)          |
| KCSM (TFM)            | 1.000        | 0                   | 0                     | 0                         | 0                         | 0               |
| Canadian National     | 1.000        | 0                   | 0                     | 0                         | 0                         | 0               |
| BNSF Railway Company  | 1.000        | 0                   | 0                     | 0                         | 0                         | 0               |
| Kansas City Southern  | 1.000        | 0                   | 0                     | 0                         | 0                         | 0               |
| Canadian Pacific      | 0.939        | 0                   | 0                     | 5 448                     | 2 257                     | 0               |
| Union Pacific         | 0.851        | 8 827               | 1 423                 | 0                         | 2 830                     | 0               |
| Ferromex              | 0.780        | 1 821               | 0                     | 0                         | 0                         | 0               |
| CSX Transportation    | 0.604        | 1 582               | 0                     | 8 757                     | 0                         | 0               |
| Norfolk Southern      | 0.541        | 2 967               | 0                     | 14 872                    | 0                         | 0               |

Fuente: resultados de las corridas de DEA realizadas con DEA-Solver

Con la finalidad de ilustrar la forma en que aparecen los déficit de producción se retoman los resultados de los modelos BCC para las variables operativas y financieras, véase el cuadro 3.10, en él se puede observar que el único déficit lo registra el ferrocarril Canadian Pacific, siendo el enfoque de maximización del producto (BCC-O) el que presenta el menor valor del déficit en ingresos, con 40.7 millones de dólares.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede observar que el modelo BCC es el que mejor explica la productividad del ferrocarril, dado que considera los rendimientos variables a escala, lo que permite equiparar de mejor manera el desempeño de los ferrocarriles mexicanos con respecto a los ferrocarriles de sus socios en Norteamérica, de acuerdo con la dimensión de sus operaciones.

**Cuadro 3.10 Déficit en variables de producto, modelo BCC, año 2013**

| Unidades ferroviarias       | Calificación |       | Déficit en ingresos (millones de dólares) |       | Déficit en toneladas-milla (millones) |       |
|-----------------------------|--------------|-------|---|-------|---------------------------------------|-------|
|                             | BCC-I        | BCC-O | BCC-I                                     | BCC-O | BCC-I                                 | BCC-O |
| <b>Ferromex</b>             | 1            | 1     | 0   | 0     | 0                                     | 0     |
| <b>KCSM (TFM)</b>           | 1            | 1     | 0   | 0     | 0                                     | 0     |
| <b>Canadian National</b>    | 1            | 1     | 0   | 0     | 0                                     | 0     |
| <b>Canadian Pacific</b>     | 0.952        | 0.946 | 60.1                                      | 40.7  | 0                                     | 0     |
| <b>BNSF Railway Company</b> | 1            | 1     | 0   | 0     | 0                                     | 0     |
| <b>CSX Transportation</b>   | 1            | 1     | 0   | 0     | 0                                     | 0     |
| <b>Norfolk Southern</b>     | 1            | 1     | 0   | 0     | 0                                     | 0     |
| <b>Union Pacific</b>        | 1            | 1     | 0   | 0     | 0                                     | 0     |
| <b>Kansas City Southern</b> | 1            | 1     | 0   | 0     | 0                                     | 0     |

Fuente: resultados de las corridas de DEA realizadas con DEA-Solver

El programa DEA-Solver, en su versión profesional incluye modelos más variados y actualizados, lo que permitiría un mayor análisis de la PTF a través de la evolución del desempeño de los ferrocarriles en el tiempo (utilizando datos panel) así como estimar la productividad derivada de cambios tecnológicos, por ello se sugiere la actualización a la versión más completa de este programa.

## 4 Conclusiones

---

Con la finalidad de armonizar la principal fuente de información se eligió como fuente de partida a la publicación Railroad Facts (AAR, 2005 y 2014) utilizando la sección “Perfiles de los ferrocarriles de Norteamérica” para cada uno de los ferrocarriles Clase I pertenecientes a la Asociación Americana de Ferrocarriles (AAR, por sus siglas en inglés). A partir de estos reportes se decidió corroborar y complementar a la principal fuente con los reportes anuales que cada unidad ferroviaria emite al público, a su vez estos fueron cotejados con otras fuentes como es el reporte R-1 remitido al Surface Transportation Board en el caso de los ferrocarriles estadounidenses, el Anuario estadístico ferroviario de la Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal en el caso de los mexicanos y diversos informes a los inversionistas para el caso de los canadienses.

Se realizó la estimación de productividad parcial de los factores tanto para las unidades ferroviarias individuales como para el agregado nacional de los tres países de Norteamérica. Los resultados de dichos indicadores de productividad señalarían la dominación de los ferrocarriles de Estados Unidos, seguidos y en contados casos superados por los canadienses, mientras que los ferrocarriles mexicanos permanecían rezagados con respecto a sus socios norteamericanos, situación que se repite para el agregado nacional, es decir, México aparece como el país con los valores de productividad parcial más bajos de Norteamérica mientras que Estados Unidos predomina en la mayoría de los indicadores seleccionados, con excepción del indicador de productividad parcial de la producción: t-km por locomotora, donde es superado por Canadá.

El uso de la metodología DEA, y en particular del programa DEA-Solver, permitió disponer de un índice general de productividad, es decir, medir la productividad total de los factores para el caso de los ferrocarriles Clase I de Norteamérica. Además de ello, fue posible discriminar entre la eficiencia técnica manteniendo un rendimiento constante de escala (modelos CCR) y evaluando un rendimiento variable a escala (modelos BCC), lo que permitió corroborar que los efectos de escala se reflejan en una mayor productividad a medida que crece la magnitud operativa de los ferrocarriles. De esta forma, al aplicar el modelo CCR a las variables operativas, se obtienen resultados parecidos a los estimados con los indicadores de productividad parcial, tales como que BNSF Railway Company y Canadian National registrarían la mayor eficiencia técnica y que las empresas ferroviarias mexicanas se colocarían en el fondo de la tabla de eficiencia. Por otra parte, los resultados que se obtienen al aplicar el modelo BCC ubican a las ferroviarias mexicanas a la par de las canadienses y estadounidenses, aunque Ferromex registra en 2013 exceso en la cantidad de personal, al aplicar el modelo a las variables operativas.

El valor de la metodología DEA queda demostrado con los resultados de las corridas realizadas a los ferrocarriles norteamericanos, en el presente estudio. Sin embargo, el potencial de aplicación es aún mayor al ampliar la cantidad de información disponible, a través de la compra de informes de la AAR y por la creación de bases de datos derivadas de la recopilación de información de los diversos informes anuales de los ferrocarriles, de esta forma, se identificaron variables susceptibles a incorporarse al análisis, tales como los costos por combustibles, costos por compra de servicios, ingresos desglosados por tipo de mercancía trasladada, entre otros.

De entre los temas pendientes, destaca la medición del efecto en la productividad por escala en el caso de las fusiones ferroviarias que se han presentado en los ferrocarriles, esto es, las economías de escala logradas con la compra de Transportación Ferroviaria Mexicana (hoy Kansas City Southern de México) por Kansas City Southern, así como la operación coordinada de Ferromex y Ferrosur. Asimismo, con el objeto de contar con un análisis tendencial de la PTF de los ferrocarriles, para la última década, resulta conveniente contar con la versión profesional más reciente del DEA-Solver.

## Bibliografía

---

ASSOCIATION OF AMERICAN RAILROAD (AAR). *Railroad facts*, edition 2005 y 2014. Policy and Economics Department of AAR, Washington DC, USA. 2014.

CANADIAN SOCIO-ECONOMIC INFORMATION MANAGEMENT (CANSIM). *Railway transport survey, summary statistics on employment*. Government of Canada, consulta 24 abril de 2015, página web <[www5.statcan.gc.ca/cansim/](http://www5.statcan.gc.ca/cansim/)>.

COELLI T. *A guide to DEAP Version 2.1: a data envelopment analysis (computer) program*. CEPA Working Paper 96/08. 1996.

COELLI T. *An introduction to efficiency and productivity analysis*, second edition . Springer, New York, USA, 2005.

DE RUS G., CAMPOS J. Y NOMBELA G. *Economía del Transporte*. Ed. Antoni Bosch. Barcelona, España. 2003.

DIRECCIÓN GENERAL DE TARIFAS TRANSPORTE FERROVIARIO Y MULTIMODAL (DGTFM). *Anuario estadístico ferroviario.*, Varios años 1995-2010. Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal, SCT, México. 2011.

HERNÁNDEZ, S., ARROYO, J. A. Y TORRES, G. *Evolución reciente de algunos indicadores operativos y de eficiencia del ferrocarril mexicano*, Publicación Técnica No 331. Instituto Mexicano del Transporte. Querétaro, México, 2009. <[www.imt.mx](http://www.imt.mx)>.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI). *Banco de Información Económica (BIE)*. Página Web de INEGI. <<http://dgcnesyp.inegi.gob.mx>>.

ISLAS, V., TORRES, G. Y RIVERA, C. *Productividad en el transporte mexicano*, Publicación Técnica No. 149, Instituto Mexicano del Transporte. Querétaro, México, 2000. <[www.imt.mx](http://www.imt.mx)>

LÓPEZ, M. A.; HERNÁNDEZ, S. Y TORRES, G. *Evaluación económica de las actuales condiciones de competencia y complementariedad entre el ferrocarril y el autotransporte*. Publicación Técnica No 261. Instituto Mexicano del Transporte. México 2004. <[www.imt.mx](http://www.imt.mx)>

MCCULLOUGH, G.J. *US railroad efficiency: a brief economic overview*. Ensayo presentado en Research to Enhance Rail Network Performance: A Workshop, April 5-6, 2006. Washington, DC. 2006. <[www.trb.org](http://www.trb.org)>

RIVERA C. *Measuring the Productivity and Efficiency of Railways (An International Comparison)*. PhD Thesis. The University of Leeds. United Kingdom. 2004.

TRETHERWAY, M W, WATERS II, W G Y A K FOK. *The total factor productivity of the Canadian Railways: 1956 – 91*, Journal of Transport Economics and Policy, Vol. 31, No. 1. 1997.

YU, M.-M. Y LIN, E.T.J. *Efficiency and effectiveness in railway performance using a multi-activity network DEA model*. Omega, The International Journal of Management Science. 2007. <<http://www.elsevier.com/locate/omega>>.

MARSH, J. *Railway History*. The Canadian Encyclopedia. Página Web <http://www.thecanadianencyclopedia.ca/en/article/railway-history/>, consulta abril de 2015.

ORTIZ, S. *Los Ferrocarriles de México. Una visión social y económica*. Tomo I. La luz de la locomotora. Ferrocarriles Nacionales de México. México. 1987.

WOLMAR, C. *The Great Railroad Revolution*. The History of Trains in America. Public Affairs, New York, USA. 2012.

# Anexo 1 Variables básicas de los ferrocarriles Clase I

| T-km (millones)      | 2004    | 2005    | 2006      | 2007      | 2008      | 2009    | 2010      | 2011      | 2012      | 2013      |
|----------------------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Ferromex             | 35,711  | 38,992  | 38,387    | 39,189    | 38,161    | 39,282  | 45,394    | 45,395    | 44,981    | 47,685    |
| TFM (KCSM)           | 31,527  | 30,865  | 26,097    | 29,427    | 26,687    | 21,446  | 24,824    | 25,101    | 25,256    | 27,576    |
| CN                   | 280,400 | 289,193 | 298,702   | 296,349   | 286,377   | 257,266 | 288,438   | 302,151   | 324,268   | 338,167   |
| Canadian Pacific     | 198,953 | 201,650 | 197,741   | 208,166   | 210,904   | 174,371 | 203,461   | 207,695   | 217,307   | 232,140   |
| BNSF Railway Company | 915,573 | 957,011 | 1,030,265 | 1,054,511 | 1,069,193 | 955,237 | 1,040,491 | 1,043,521 | 1,059,414 | 1,086,959 |
| CSX Transportation   | 399,859 | 398,158 | 407,090   | 398,237   | 399,302   | 336,744 | 368,807   | 367,556   | 363,166   | 364,733   |
| Norfolk Southern     | 319,134 | 326,288 | 327,959   | 315,349   | 314,366   | 255,107 | 292,830   | 308,523   | 298,748   | 311,483   |
| Union Pacific        | 879,194 | 883,122 | 909,622   | 904,186   | 905,440   | 771,156 | 837,479   | 876,099   | 838,623   | 827,617   |
| Kansas City Southern | 34,149  | 40,502  | 49,055    | 48,442    | 47,674    | 46,024  | 47,682    | 49,061    | 47,960    | 50,016    |

| Empleados            | 2004   | 2005   | 2006   | 2007   | 2008   | 2009   | 2010   | 2011   | 2012   | 2013   |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Ferromex             | 6,043  | 6,167  | 6,647  | 6,849  | 7,180  | 6,953  | 7,430  | 7,917  | 7,860  | 7,908  |
| TFM (KCSM)           | 3,399  | 3,393  | 2,909  | 2,955  | 2,999  | 2,735  | 2,702  | 2,831  | 2,833  | 3,237  |
| CN                   | 22,470 | 22,246 | 22,092 | 22,389 | 22,695 | 21,793 | 22,055 | 23,079 | 23,466 | 23,705 |
| Canadian Pacific     | 16,056 | 16,448 | 15,947 | 15,675 | 16,793 | 15,175 | 15,460 | 16,097 | 16,999 | 15,011 |
| BNSF Railway Company | 37,507 | 39,358 | 41,342 | 41,181 | 40,660 | 37,095 | 36,982 | 39,318 | 41,821 | 42,625 |
| CSX Transportation   | 30,683 | 30,486 | 31,318 | 31,157 | 30,372 | 27,752 | 27,625 | 28,156 | 28,987 | 28,154 |
| Norfolk Southern     | 28,163 | 29,880 | 30,087 | 30,334 | 30,253 | 28,323 | 28,082 | 29,885 | 30,459 | 29,666 |
| Union Pacific        | 49,511 | 51,095 | 53,312 | 53,130 | 51,781 | 47,716 | 46,573 | 48,241 | 48,968 | 49,116 |
| Kansas City Southern | 2,670  | 2,787  | 2,909  | 2,955  | 2,999  | 2,735  | 2,702  | 2,831  | 2,833  | 2,889  |

| Locomotoras en servicio | 2004  | 2005  | 2006  | 2007  | 2008  | 2009  | 2010  | 2011  | 2012  | 2013  |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ferromex                | 501   | 492   | 548   | 545   | 538   | 582   | 631   | 632   | 631   | 631   |
| TFM (KCSM)              | 467   | 442   | 414   | 386   | 390   | 372   | 372   | 368   | 371   | 381   |
| CN                      | 2,100 | 2,073 | 2,013 | 1,926 | 1,820 | 1,817 | 1,839 | 1,880 | 1,913 | 2,008 |
| Canadian Pacific        | 1,655 | 1,669 | 1,635 | 1,700 | 1,591 | 1,709 | 1,703 | 1,710 | 1,694 | 1,651 |
| BNSF Railway Company    | 5,715 | 5,790 | 6,330 | 6,400 | 6,510 | 6,759 | 6,690 | 6,869 | 7,039 | 7,310 |
| CSX Transportation      | 3,710 | 3,790 | 3,853 | 4,007 | 4,143 | 4,070 | 4,072 | 4,116 | 4,178 | 4,259 |
| Norfolk Southern        | 3,702 | 3,729 | 3,854 | 3,886 | 3,914 | 3,912 | 3,887 | 3,991 | 4,029 | 4,139 |
| Union Pacific           | 7,682 | 8,226 | 8,475 | 8,721 | 8,448 | 8,350 | 8,174 | 8,213 | 8,391 | 8,266 |
| Kansas City Southern    | 518   | 573   | 620   | 653   | 586   | 552   | 524   | 555   | 534   | 540   |

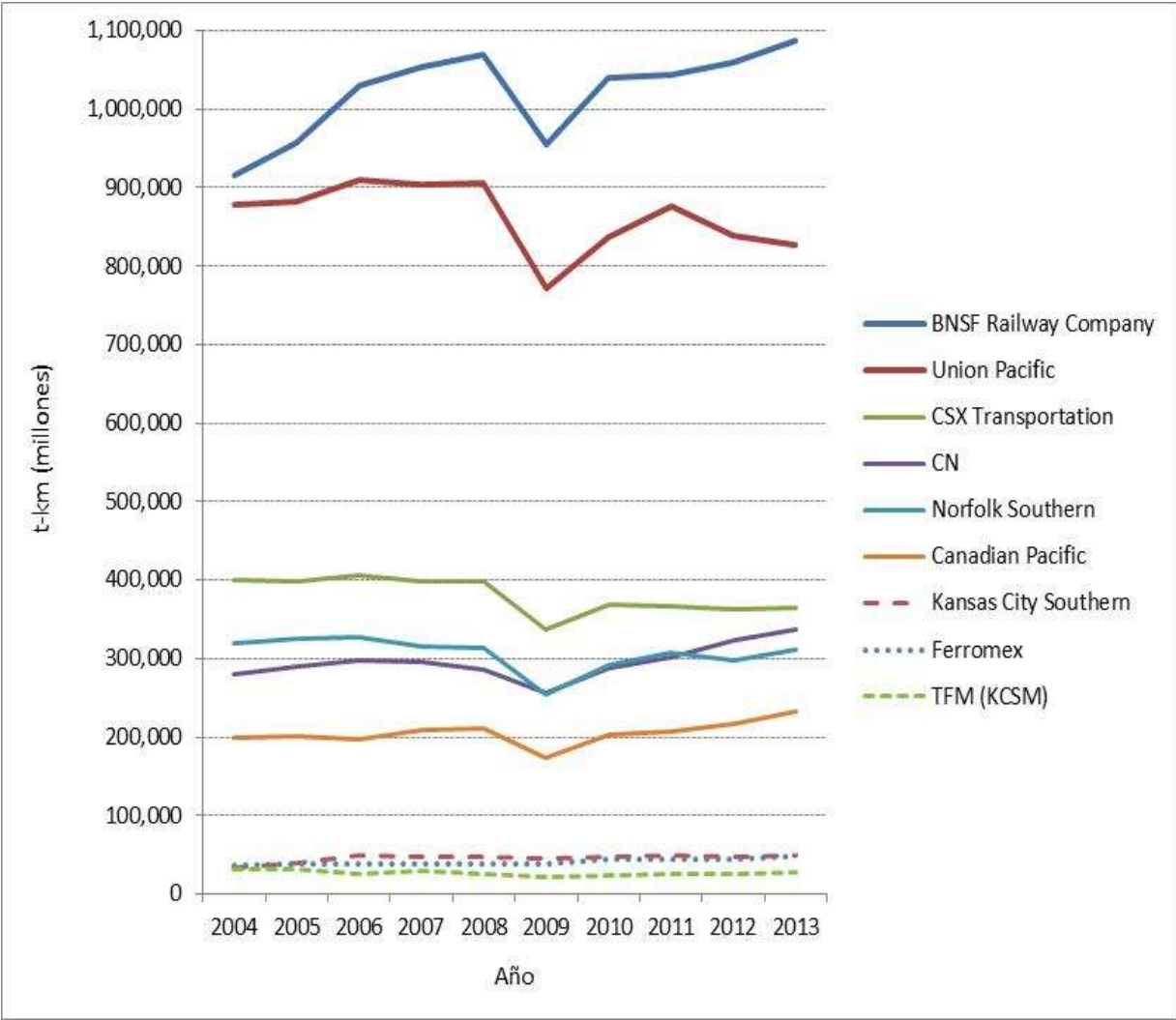
*Productividad y eficiencia en los ferrocarriles, una estimación aplicando una técnica de fronteras estocásticas a un modelo de producción paramétrico*

| Carros de carga      | 2004    | 2005    | 2006    | 2007   | 2008   | 2009   | 2010   | 2011   | 2012   | 2013   |
|----------------------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Norfolk Southern     | 99,724  | 98,962  | 97,749  | 95,336 | 94,463 | 89,743 | 86,855 | 87,458 | 86,037 | 79,121 |
| BNSF Railway Company | 87,109  | 81,624  | 84,872  | 85,095 | 82,319 | 79,098 | 76,524 | 78,408 | 75,722 | 73,577 |
| CSX Transportation   | 104,714 | 103,314 | 101,602 | 94,364 | 91,350 | 84,282 | 80,302 | 68,372 | 69,129 | 68,008 |
| Union Pacific        | 104,640 | 106,743 | 104,725 | 94,284 | 90,005 | 83,197 | 77,853 | 74,545 | 72,775 | 67,755 |
| Canadian National    | 94,346  | 94,270  | 92,535  | 87,001 | 79,212 | 73,613 | 70,236 | 67,796 | 68,006 | 67,560 |
| Canadian Pacific     | 50,300  | 52,000  | 52,496  | 55,424 | 53,800 | 53,200 | 56,200 | 58,100 | 51,900 | 47,600 |
| Ferromex             | 14,272  | 15,921  | 14,181  | 13,557 | 12,419 | 11,678 | 12,101 | 14,686 | 14,617 | 15,614 |
| Kansas City Southern | 13,277  | 14,939  | 14,355  | 13,006 | 12,329 | 10,947 | 10,806 | 10,526 | 10,899 | 11,618 |
| Kansas City Southern | 12,942  | 13,420  | 12,586  | 12,233 | 11,615 | 10,203 | 9,814  | 9,712  | 8,637  | 8,621  |

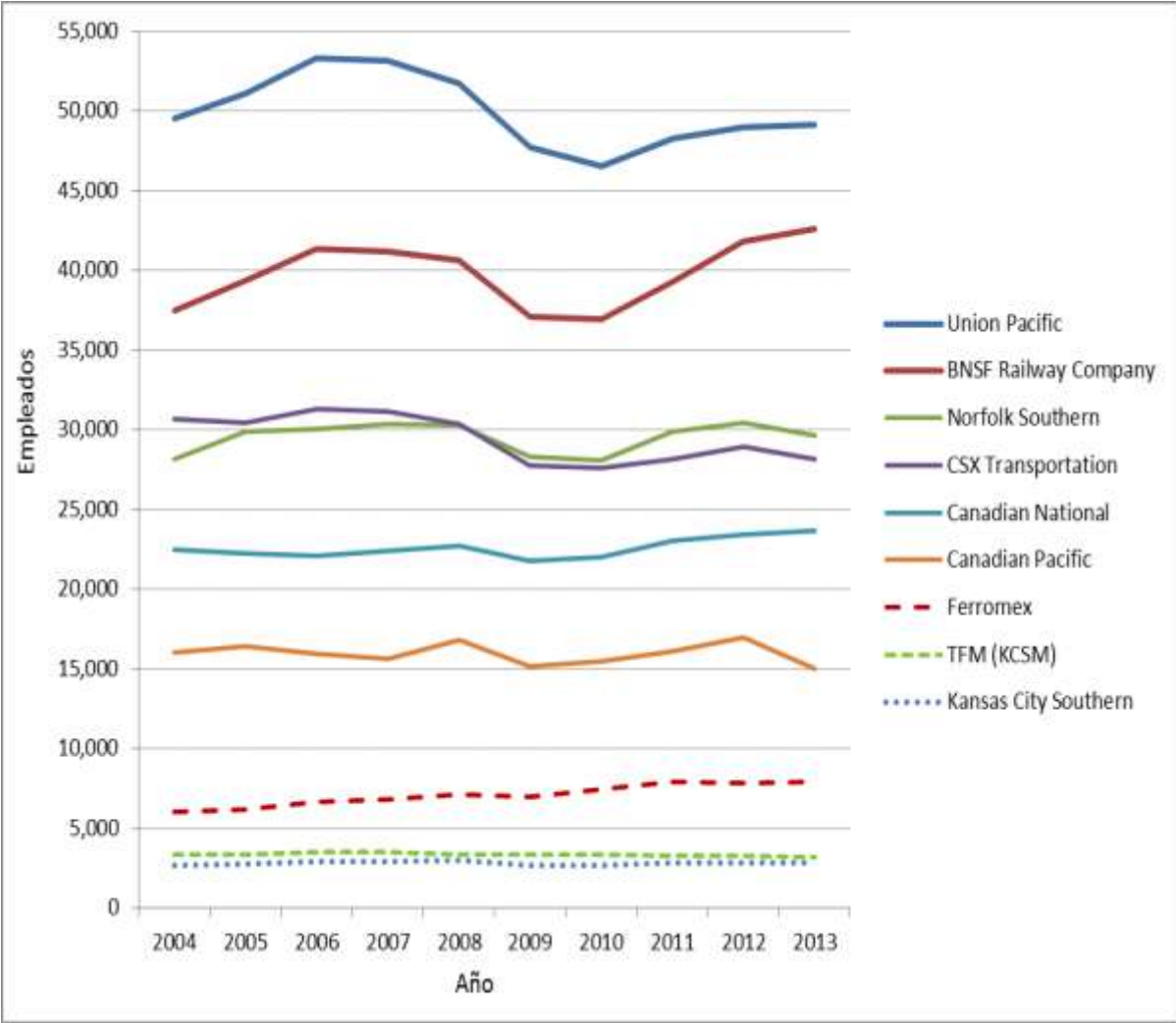
| Longitud de las vías (km) | 2004   | 2005   | 2006   | 2007   | 2008   | 2009   | 2010   | 2011   | 2012   | 2013   |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| BNSF Railway Company      | 51,739 | 51,745 | 51,353 | 51,828 | 51,765 | 51,723 | 52,106 | 51,985 | 52,325 | 52,455 |
| Union Pacific             | 52,489 | 52,183 | 52,043 | 51,828 | 51,517 | 51,649 | 51,422 | 51,333 | 51,285 | 51,237 |
| CSX Transportation        | 35,651 | 34,370 | 33,979 | 34,867 | 34,124 | 34,101 | 33,897 | 33,792 | 33,377 | 33,496 |
| Canadian National         | 31,066 | 30,932 | 32,611 | 32,864 | 33,795 | 33,956 | 33,152 | 32,186 | 32,347 | 32,186 |
| Norfolk Southern          | 34,336 | 34,091 | 34,022 | 33,618 | 33,523 | 33,189 | 32,481 | 32,413 | 32,223 | 32,123 |
| Canadian Pacific          | 22,236 | 22,036 | 21,339 | 21,241 | 24,960 | 24,759 | 23,794 | 23,588 | 23,110 | 23,174 |
| Ferromex                  | 8,650  | 7,164  | 7,164  | 7,164  | 7,164  | 7,164  | 7,164  | 7,164  | 7,164  | 8,149  |
| Kansas City Southern      | 4,944  | 5,145  | 5,111  | 5,071  | 5,093  | 4,950  | 4,950  | 4,955  | 5,211  | 5,222  |
| Kansas City Southern      | 4,897  | 4,283  | 4,283  | 4,283  | 4,283  | 4,283  | 4,283  | 4,283  | 4,283  | 4,783  |



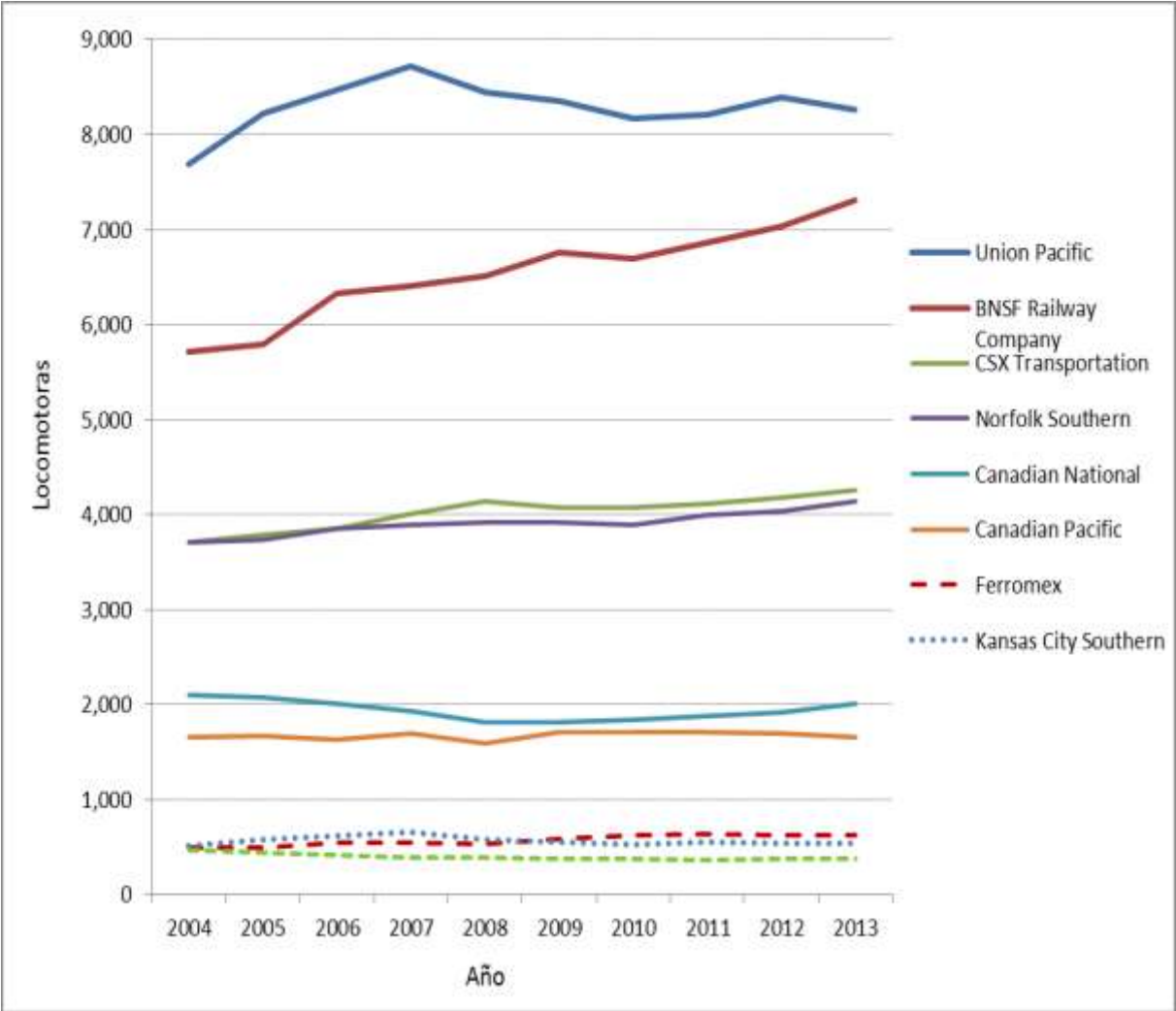
## Anexo 2 Evolución de la variable de producción: toneladas-kilómetro



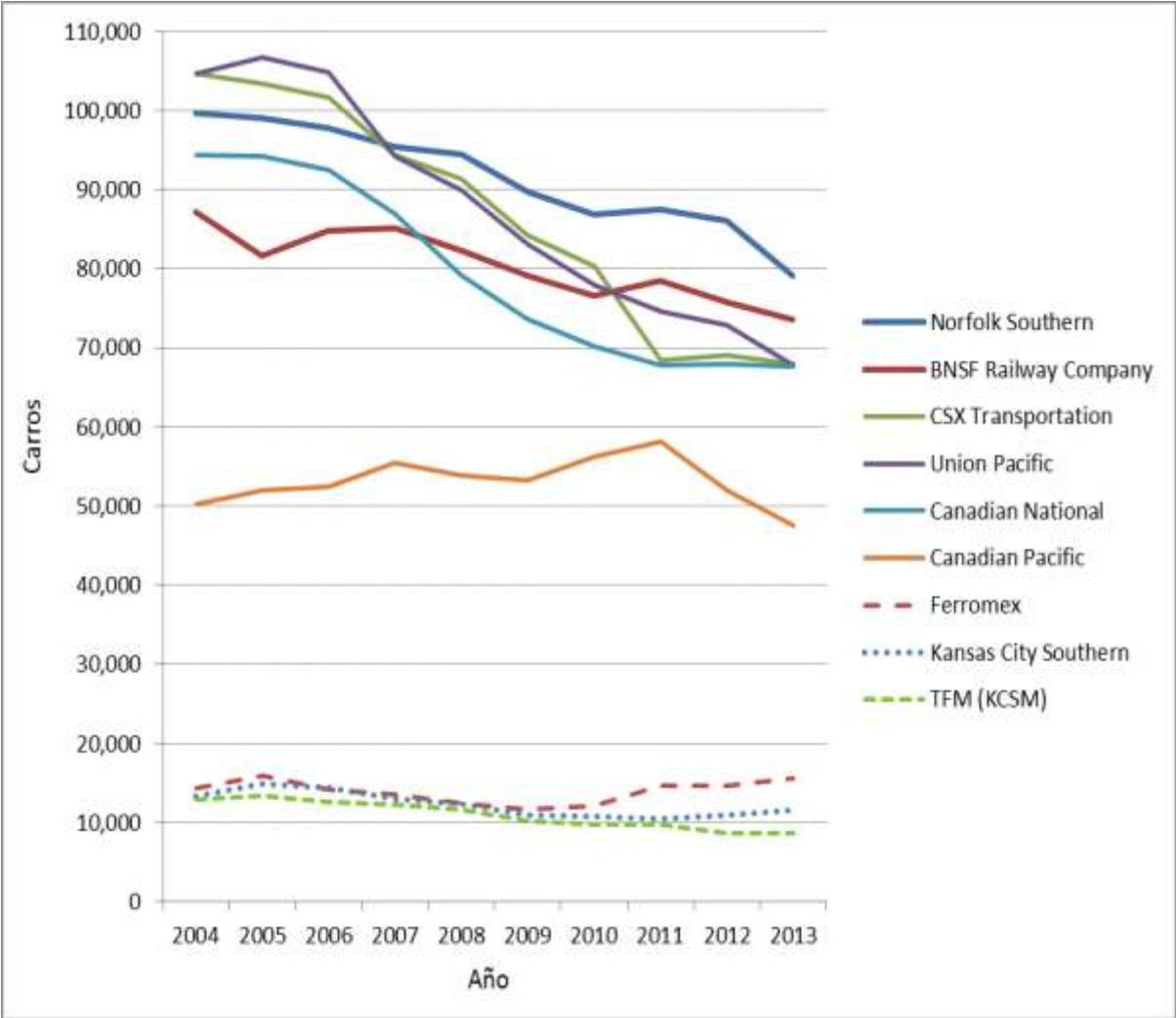
# Anexo 3 Evolución de la variable de insumo: empleados



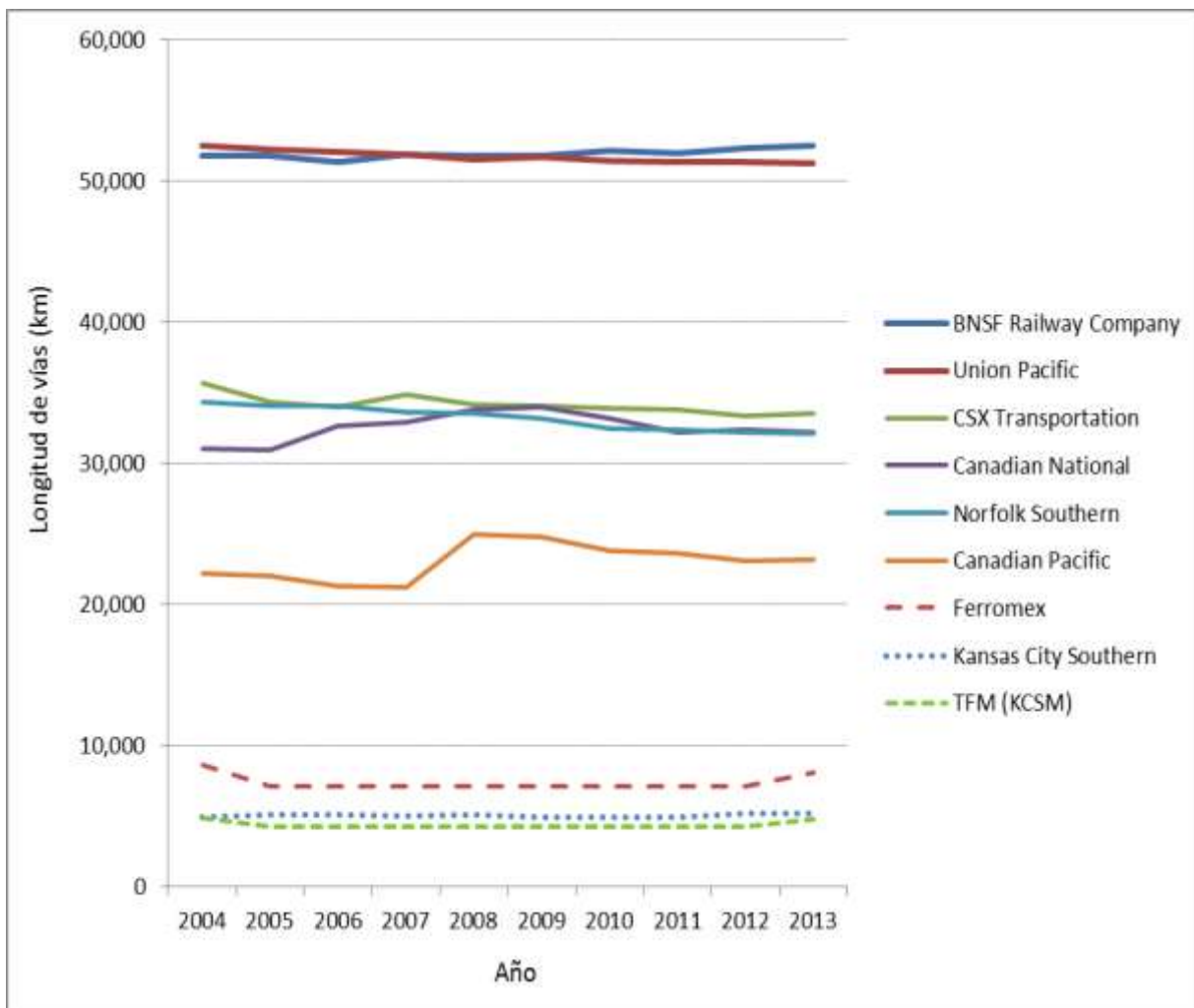
# Anexo 4 Evolución de la variable de insumo: locomotoras



# Anexo 5 Evolución de la variable de insumo: carros



## Anexo 6 Evolución de la variable de insumo: longitud de vías





Carretera Querétaro-Galindo km 12+000  
CP 76700, Sanfandila  
Pedro Escobedo, Querétaro, México  
Tel +52 (442) 216 9777 ext. 2610  
Fax +52 (442) 216 9671

[publicaciones@imt.mx](mailto:publicaciones@imt.mx)

<http://www.imt.mx/>