ISSN 0188-7297

UN ANALISIS MULTIPRODUCTO A TRAVES DE REDES DEL TRANSPORTE TERRESTRE DE CARGA ENTRE MEXICO Y ESTADOS UNIDOS

Secretaría de Comunicaciones y Transportes

Instituto Mexicano del Transporte

Publicación Técnica No.137
San Fandila, Qro. 2000

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

Un Análisis Multiproducto a través de Redes del Transporte de Carga entre México y Estados Unidos

Publicación Técnica No.137
San Fandila, Qro. 2000

Este trabajo fue realizado en la Coordinación de Seguridad y Operación del Transporte del Instituto Mexicano del Transporte por Alberto Mendoza Díaz, Claudia Z. Gil Anaya y Juan Manuel Trejo Ramírez.

Resumen

Este trabajo es un primer paso dentro del esfuerzo global por analizar, mediante modelos de asignación vehicular en redes, las operaciones del transporte de carga entre México y Estados Unidos. Este trabajo se refiere específicamente al transporte de carga por carretera y ferrocarril.

Inicialmente se presentan una serie de antecedentes (p. ej. evolución del comercio entre México y Estados Unidos, participación del ferrocarril y el autotransporte en este tipo de comercio, reparto modal actual entre estos dos modos, mecanismos generales de los viajes transfronterizos, etc.). Posteriormente se describe el modelo de asignación desarrollado, el cual permite la predicción de flujos en la red intermodal de autotransporte y ferrocarril para diferentes categorías de productos (multiproducto). Se muestran algunos resultados y análisis generados con el modelo (p. ej. cuantificación de toneladas-kilómetro y costos de transporte por tipo de producto, determinación del reparto modal de mínimo costo entre autotransporte y ferrocarril, etc.). Algunos de los análisis mostrados son por categoría de producto (desagregados), en tanto que otros corresponden a la demanda agregada. La mayoría de los análisis mostrados corresponden a 1996.

Una última parte describe la situación actual del sistema ferroviario mexicano y participación del sector privado en su operación; lo anterior, a raíz de la reciente política de privatización emprendida por el Gobierno Federal para este modo de transporte. Finalmente se muestran los resultados de algunos análisis que permiten identificar algunas oportunidades y requerimientos futuros de modernización del ferrocarril mexicano.

Abstract

This work represents a first stage in the global effort to analyze, by means of network assignment models, the freight transportation operations between Mexico and the USA. This paper deals specifically with truck and rail freight transportation.

A set of background information is first presented (e.g. evolution of trade between Mexico and the USA, participation of rail and truck in this commercial exchange, modal share between these two modes in this trade, general mechanisms of the trans-border shipments). The assignment model developed to predict the freight flows in the truck and rail intermodal network for different product categories (multiproduct) is then presented. Finally, some of the results and analyses derived from the model (e.g. quantification of the ton-kilometers and transportation costs for each product type, assessment of the minimum-cost freight modal share between truck and rail) are shown. Some of the analyses shown herein are by product category (disaggregated) whereas others correspond to the aggregated demand. Most of the analyses reported herein correspond to 1996.

Resumen Ejecutivo

Introducción

Se reconoce a nivel mundial la importancia económica de eliminar las ineficiencias en los sistemas de transporte, para poder competir comercialmente de manera más favorable. En el caso de la Región de Norteamérica, constituida por México, Estados Unidos y Canadá, agrupados en una zona de libre comercio bajo el Tratado de Libre Comercio de Norteamérica (TLCAN), una parte esencial de este proceso comprende el incremento de la productividad de los modos de transporte terrestre de carga.

Este trabajo es un primer paso dentro del esfuerzo global por analizar, mediante modelos de asignación vehicular en redes, las operaciones del transporte de carga entre México y Estados Unidos. Inicialmente se presentan una serie de antecedentes relevantes. Posteriormente se describe el modelo desarrollado para el transporte terrestre. Finalmente se muestran algunos resultados y análisis generados con el mismo.

Los análisis presentados corresponden a una visión macro del transporte terrestre de carga entre México y Estados Unidos. Otros esfuerzos futuros buscarán cubrir el detalle de algunos elementos específicos (visión micro) así como ampliar los análisis a otros modos de transporte. La mayoría de los análisis mostrados corresponden a 1996.

Evolución del Comercio entre México y Estados Unidos

La Tabla 1 muestra la evolución que han experimentado en los últimos años (1991-1997) los flujos anuales de tonelaje y valor económico de carga entre México y Estados Unidos. Cabe señalar que para 1996, alrededor del 41% del valor de los flujos comerciales Estados Unidos - México y del 45% de los del sentido opuesto estuvieron relacionados con la industria maquiladora. En esta tabla puede observarse que los flujos muestran una tendencia de crecimiento sostenido. La diferencia entre las tasas de crecimiento de valor y tonelaje para cada sentido (México - Estados Unidos y Estados Unidos - México) es indicativa de la forma cómo está evolucionando la estructura de estos dos tipos de comercio.

Tabla 1 Evolución del Comercio entre México y Estados Unidos

(1991 - 1997)

	México - Estados Unidos		Estados Unidos - México	
Año	VALOR (10^6)	TONELAJE Miles TON	VALOR (10^6)	TONELAJE Miles TON
1991	33,952	16,239	36,868	39,047
1992	38,184	18,120	43,014	44,646
1993	42,841	17,298	43,112	36,037
1994	50,477	28,772	50,651	52,681
1995	63,442	25,772	44,707	35,553
1996	75,120	22,172	51,647	47,447
1997	85,829	23,360	71,378	52,485
TCMA[1]	*16.8%*	*9.1%*	*12.7%*	*8.3%*

[1] Tasa de Crecimiento Media Anual (%)

Reparto Modal de Carga entre Autotransporte y Ferrocarril

Un elemento fundamental para el desarrollo de este trabajo es la información origen-destino (O-D). Esta fue obtenida a partir de registros de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial de México (SECOFI) que contienen información de los flujos registrados en aduanas para cada tipo de producto (fracción arancelaria) en el Sistema Armonizado de Designación y Codificación de Mercancías (SADCM). Se cuenta con estimados del tonelaje y valor de estos flujos por ambos modos terrestres así como con su origen y su destino en México o en Estados Unidos. El conjunto de estos estimados para cada modo constituye su demanda de transporte de carga.

A partir de la información anterior, es posible construir dos tipos de matrices O-D. El primero corresponde a matrices con flujos directos de los orígenes en México hacia los destinos en Estados Unidos y viceversa (referidas de aquí en adelante como matrices directas O-D). El segundo se refiere a matrices con flujos de los orígenes en México hacia los cruces fronterizos y de éstos hacia los destinos en Estados Unidos y viceversa (matrices indirectas O-D).

Por simplicidad y claridad de presentación, los datos sobre pares O-D y reparto modal de carga entre autotransporte y ferrocarril serán mostrados con base en matrices del primer tipo. La información que se utilice en análisis de asignación corresponderá, por otra parte, a matrices del segundo tipo con el fin de que la predicción de flujos sea más precisa al aprovecharse el conocimiento que se tiene de los cruces fronterizos por donde se realizan los intercambios.

Para los propósitos de este estudio se consideró suficiente una zonificación de los dos países a nivel de estado. Cada zona quedó asociada con el área metropolitana de mayor importancia económica (según ingreso) de cada estado. Con las consideraciones anteriores de zonificación, se construyeron por separado las matrices directas O-D para el autotransporte y el ferrocarril. A partir de éstas se obtuvo información del reparto modal de carga entre ambos modos terrestres para el comercio entre México y Estados Unidos en 1996.

Esta información fue generada para cada sentido, así como para el comercio global entre los dos países, mostrando que el reparto global del tonelaje es de 72.0% para el autotransporte y de 28.0% para el ferrocarril. En términos del valor económico de las mercancías, 84.2% corresponde al autotransporte y 15.8% al ferrocarril.

El reparto de tonelaje es más balanceado para el sentido Estados Unidos-México (70.2% y 29.8% para autotransporte y ferrocarril respectivamente vs 75.0% y 25.0% para el sentido México - Estados Unidos) aunque en términos de valor lo es más para el sentido México - Estados Unidos (79.7% y 20.3% para autotransporte y ferrocarril respectivamente vs 89.6% y 10.4% para el sentido Estados Unidos - México). Esto último es resultado de la baja densidad económica (valor económico por tonelada) de las mercancías movidas por ferrocarril de Estados Unidos hacia México ($5{,}119 \times 10^6$ dólares Americanos / $10{,}307 \times 10^3$ toneladas métricas).

También se obtuvo, por separado, información del reparto modal para los movimientos de las fronteras hacia Estados Unidos y de las mismas hacia México, utilizándose en este caso las correspondientes matrices indirectas O-D de ambos modos. Tanto para los movimientos en Estados Unidos como para los movimientos en México, se obtuvieron porcentajes de reparto de la carga entre ambos modos similares a los obtenidos en la parte de comercio global. Lo anterior indica que los movimientos transfronterizos son fundamentalmente unimodales, aunque en los sitios de origen y destino de

los viajes registrados suelen darse operaciones intermodales de consolidación y desconsolidación asociadas con la recolección inicial y/o la distribución final de la carga.

Categorías de Productos Consideradas

En este trabajo, los análisis multiproducto para ambos modos se efectúan en términos de 9 categorías de productos. Las primeras 7 se refieren respectivamente a los productos forestales, agrícolas, animales y sus derivados, minerales, petróleo y sus derivados, industriales y otros; estas categorías corresponden a un sistema de agregación de las fracciones arancelarias del SADCM utilizado por el Banco de México. Las otras 2 se refieren, una, al movimiento de vehículos vacíos y la otra, a la agregación de todos los productos.

Modelo de Asignación

En la elaboración del modelo de asignación se utilizó el programa computacional Strategic Transportation ANalysis (STAN), el cual permite simular el comportamiento de los flujos de diferentes tipos de productos (multiproducto) a través de un sistema de transporte compuesto por varios modos (multimodal). El STAN requiere tanto de la construcción de la red de transporte a modelar (la red intermodal de autotransporte y ferrocarril en este caso) como de su alimentación con los datos físicos y operativos de la misma y los flujos O-D a asignar. La red de transporte, así como las características físicas y operativas de cada uno de sus elementos, constituyen la oferta de transporte. Las matrices O-D para los diferentes grupos de productos constituyen la demanda.

La red se construyó a través de arcos, nodos, centroides (nodos asociados con las zonas), conectores de centroides y nodos de transferencia entre modos. En el modelo desarrollado en este trabajo se consideraron 3 modos, uno para autotransporte, otro para ferrocarril y un tercero para cruces fronterizos (carreteros y ferroviarios). Los cruces fronterizos se manejaron como un modo independiente debido a que el comportamiento que se tiene en las aduanas (tiempos de espera, revisiones, capacidades, etc.) es substancialmente diferente al que se tiene en los tramos carreteros y ferroviarios (vehículos en circulación). En el STAN, el sistema de centroides es el mismo para todos los modos.

El STAN obtiene los flujos de los diferentes productos en los arcos y nodos de transferencia de la red multimodal, que minimizan el costo total generalizado de enviar los productos desde los orígenes hasta los destinos, vía los modos permitidos, satisfaciéndose a la vez las restricciones usuales de conservación de flujo y no-negatividad.

La red carretera modelada en este estudio está constituida de dos partes, la red mexicana y la red estadounidense, las cuales se enlazan mediante cruces fronterizos por carretera.

La red carretera mexicana modelada es la denominada Red Carretera Básica, de alrededor de 50,000 km de longitud (44,000 km de carreteras libres de 2 carriles y 6,000 km de carreteras de cuota de 4 o más carriles). Esta se modeló a través de 450 nodos, 660 arcos bidireccionales y 49 centroides. Esta modelación se basó en datos disponibles en la SCT sobre la geometría de la red, aforos vehiculares y capacidad de los tramos carreteros, costos de operación vehicular y de deterioro de infraestructura y tarifas en carreteras y puentes de cuota, así como en información de otras fuentes.

La red carretera norteamericana modelada es básicamente la red de carreteras interestatales, de alrededor de 77,000 km de longitud. Esta red se modeló a través de 450 nodos, 700 arcos bidireccionales y 56 centroides. En este caso, la información fue obtenida de la Oficina de Estadísticas de Transporte y de la Administración Federal de Carreteras de Estados Unidos, así como de otras fuentes.

La modelación para la red ferroviaria siguió los mismos principios que para la red carretera. La red ferroviaria modelada se dividió en dos partes, una para cada país, enlazadas mediante cruces fronterizos por ferrocarril.

La red ferroviaria mexicana modelada es prácticamente todo el sistema ferroviario mexicano, de alrededor de 17,700 km de longitud. Esta red se modeló a través de 160 nodos (100 comunes con la red carretera mexicana) y 190 arcos bidireccionales.

La red ferroviaria norteamericana modelada es la red ferroviaria principal, de alrededor de 40,000 km de longitud. Esta se modeló a través de 260 nodos (150 comunes con la red carretera norteamericana) y 380 arcos bidireccionales. La información en este caso fue obtenida de una serie documentos técnicos de los Estados Unidos.

Cada uno de los 17 cruces fronterizos se modeló a través de un arco carretero (que engloba todos los cruces físicos por este modo en la zona) y otro ferroviario (que representa todos los cruces ferroviarios en la zona). En aquellas zonas fronterizas en las que sólo existen cruces a través de un modo, sólo se modeló el arco correspondiente a ese modo. Estos arcos fueron conectados a las redes mexicana y norteamericana del modo correspondiente. Los 17 cruces fronterizos se modelaron a través de 30 arcos (17 para autotransporte y 13 para ferrocarril). Las características físicas y operativas representativas para cada arco fueron obtenidas a partir del Estudio Binacional de Planeación y Programación del Transporte Transfronterizo y otros estudios realizados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Adicionalmente se modelaron 70 sitios de transferencia intermodal entre autotransporte y ferrocarril en México, ubicados en estaciones ferroviarias importantes o en terminales intermodales existentes. En Estados Unidos también se modelaron 70 sitios de transferencia intermodal entre autotransporte y ferrocarril. La información para la modelación de estos nodos provino de documentos técnicos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y de la Union Pacific Railroad y de la Federal Highway Administration.

La información de la demanda es ingresada en el STAN a través de matrices O-D. El programa permite asignar los flujos en estas matrices sobre la capacidad disponible para ellos en los arcos (capacidad del arco menos el efecto de los flujos de automóviles y autobuses). En cada corrida de asignación, el STAN permite que se especifiquen las matrices que se desea asignar a cada modo. De esta manera, fue posible calibrar por separado los sistemas de cada modo, asignando la matriz indirecta agregada O-D del autotransporte a la red carretera binacional modelada y la matriz indirecta O-D del ferrocarril al sistema ferroviario binacional. El STAN cuenta con un procedimiento interno que permite realizar un análisis de regresión entre flujos actuales y predichos en los arcos después de cada asignación, obteniéndose la R2 correspondiente. Una vez que el sistema carretero fue calibrado, se obtuvo un valor de R2 igual a 0.78 entre flujos agregados predichos (variable dependiente) y reales (independiente) por autotransporte. Para el sistema ferroviario se obtuvo un valor de R2 igual a 0.88 para la regresión entre flujos agregados predichos y reales por ferrrocarril, después de la calibración.

El modelo se construyó para manejar flujos semanales de carga.

Una vez elaborado el modelo de asignación, el STAN permite desplegar tres tipos de información: el primero se refiere a informes de repetición de cualquiera de los datos ingresados sobre la oferta de transporte (p. ej. sistema de centroides, características físicas y operativas de la red); el segundo corresponde a la demanda multiproducto ingresada a través de matrices O-D y se presenta mediante la graficación e impresión de matrices así como la graficación de histogramas de matrices; el tercero se refiere a los análisis de asignación efectuados. A continuación se muestran algunos de estos resultados que se consideran más importantes.

La Figura 1 muestra los 21 pares directos O-D de mayor tonelaje para la carga agregada por autotransporte con sus correspondientes valores de flujo semanal de toneladas. El flujo entre estos pares representa el 23% del tonelaje total de carga movido por autotransporte entre México y Estados Unidos. En la figura anterior es evidente la importancia del intercambio comercial entre los estados fronterizos de los dos países. Este representa del orden del 45% del valor del comercio total entre México y Estados Unidos y del 60% del tonelaje.

La Figura 2, obtenida de la asignación de la matriz indirecta agregada O-D del autotransporte a la red carretera binacional, ilustra los 40,000 km de arcos carreteros en un sentido (ó 20,000 km de arcos bidireccionales) con flujo por encima de 60,000 ton de carga agregada por semana. Por esta fracción de la red carretera modelada (25% de la longitud total) circula alrededor del 90% de las toneladas-kilómetro que se mueven por autotransporte entre México y Estados Unidos.

La información en ambas figuras anteriores será de utilidad en la identificación y análisis de corredores (por tipo de producto incluso). Figuras similares fueron obtenidas para el ferrocarril.

Adicionalmente, el modelo permite elaborar planos con los flujos de vehículos, de tonelaje de carga o de costos a través de los elementos de transporte así como obtener los caminos de costo mínimo desde un centroide específico hacia todos los demás. Todos los resultados anteriores pueden ser generados para la carga agregada o para cada tipo de producto. Asimismo pueden calcularse, entre otros, estimados de las toneladas-kilómetro y de los costos de transporte por tipo de producto.

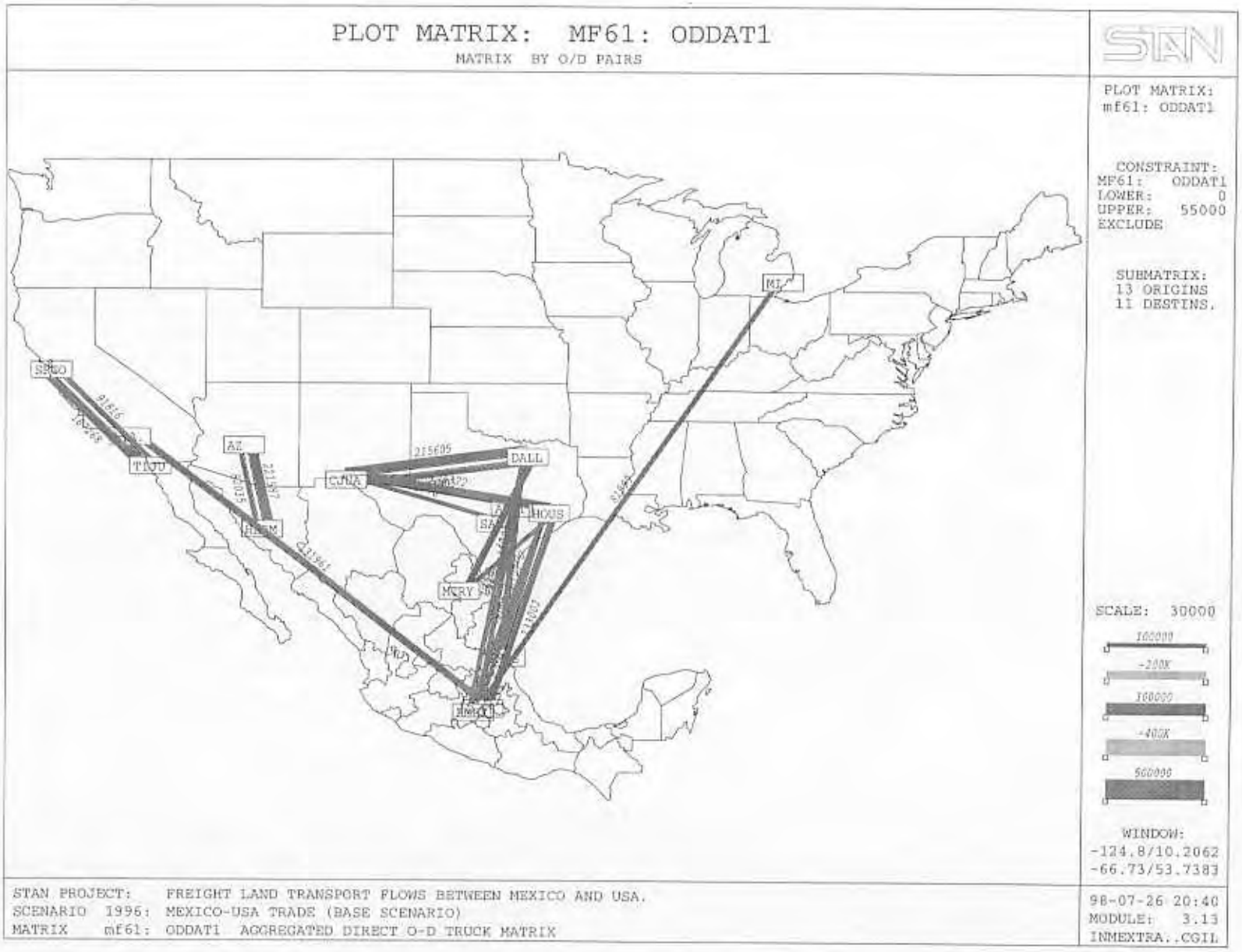

FIGURA 1 21 Pares Directos O-D de Mayor Tonelaje para la Carga Agregada por Autotransporte

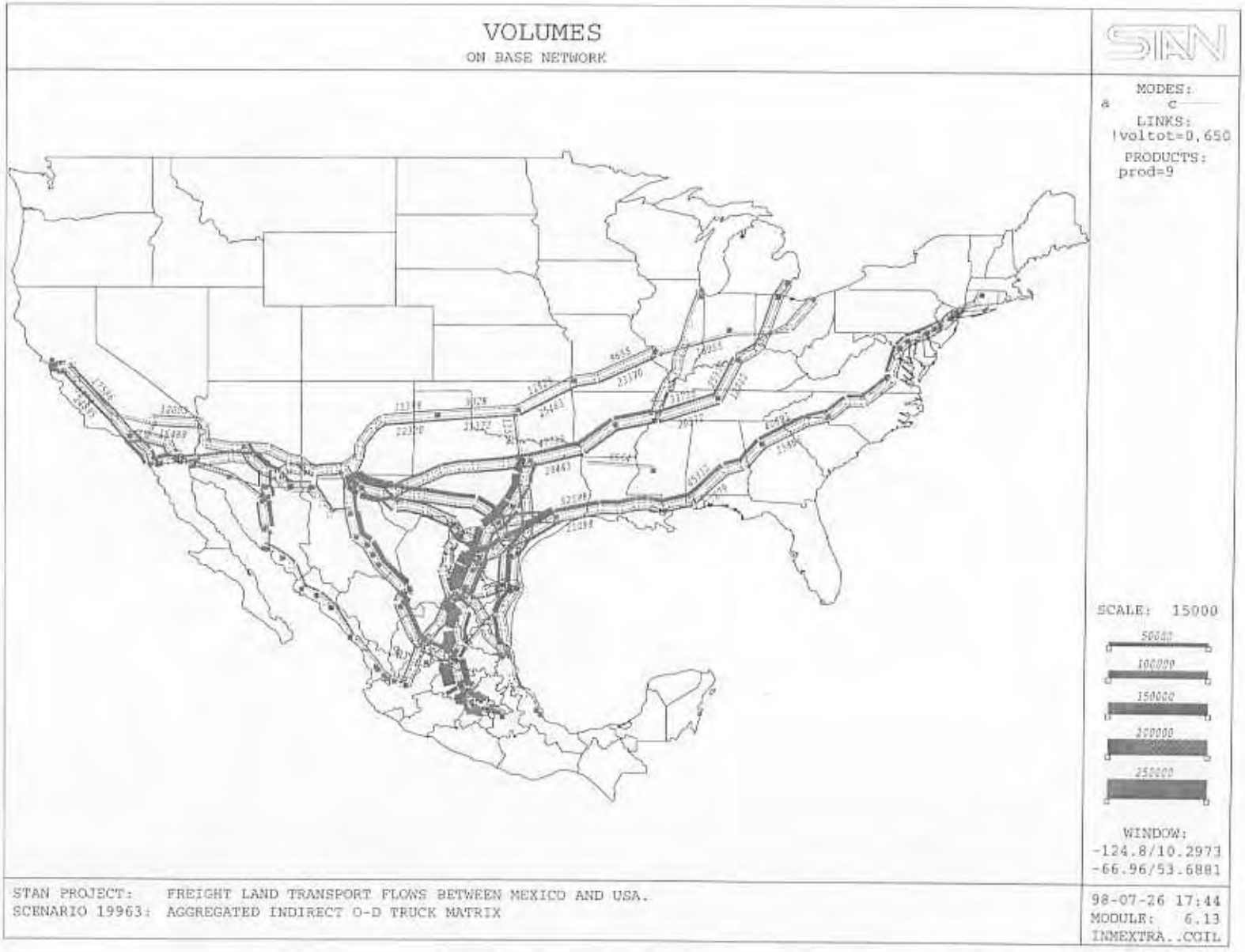

FIGURA 2 Principales Corredores para Transporte Carretero entre México y Estados Unidos

Los valores obtenidos arrojan un costo promedio para el autotransporte de 3.5 centavos de dólar por tonelada-kilómetro (3 centavos de dólar por tonelada-kilómetro para el sentido México-Estados Unidos y 2 para el sentido opuesto) y de 2 centavos de dólar para el transporte por ferrocarril (2.5 centavos de dólar por tonelada-kilómetro para el sentido México-Estados Unidos y 1.5 para el otro sentido). Se obtiene también que la distancia media de recorrido por viaje para el autotransporte es de 1,021 km y para el ferrocarril es de 1,407 km.

Reparto Modal Óptimo

La Tabla 2 presenta los resultados de un análisis de reparto modal a partir de una serie de corridas para ambos modos terrestres, realizadas con el STAN. Este análisis consistió en transferir carga de la matriz O-D agregada del autotransporte a la del ferrocarril (en los pares O-D de más de 300 km en que ambos modos operan), exógenamente al modelo. De esta manera se generaron las matrices indirectas O-D de ambos modos, correspondientes a los distintos escenarios de reparto modal considerados en la tabla. Estas matrices fueron posteriormente asignadas, por separado, a sus respectivas redes. La Tabla 2 resume los resultados obtenidos de estas corridas. Se muestran, primero para el autotransporte y después para el ferrocarril, el tonelaje de carga representativo de los distintos valores de reparto, el valor promedio ponderado de la saturación de los arcos de ambas redes (por la longitud de los mismos), las toneladas-kilómetro por semana transportadas, así como los costos de transporte correspondientes.

A partir de la tabla anterior es evidente que el costo mínimo total de transporte se genera para un reparto del orden de 40% de la carga terrestre actual para el ferrocarril y 60% para el autotransporte (escenario 3 en la Tabla 2). En relación con la situación existente, lo anterior representa un incremento del orden de 123.1 x 103 toneladas semanales de carga en el ferrocarril (ó 6.4 millones adicionales al año, que con los 15.1 millones actuales hacen un total de 21.5 millones de toneladas).

Destaca también que el reparto actual de toneladas-kilómetro entre ambos modos es de 35.1% para el ferrocarril y 64.9% para el autotransporte y que para la solución óptima dicho reparto resulta ser de 47.2% para el ferrocarril y 52.8% para el autotransporte. El desplazamiento hacia esta situación le generaría al sistema un ahorro del orden de 106 millones de dólares anuales (1.4% del costo total actual).

Tabla 2 Análisis de Reparto Modal

ESCENARIO	MODO												
	AUTOTRANSPORTE						FERROCARRIL						
	Tonelaje		Ton-km		Red	Costo	Tonelaje		Ton-km		Red	Costo	CostoTotal
	(ton 10^3 / semana)	%	(ton-km 10^6 / semana)	%	Nivel de Saturación	(US$ 10^3 / semana)	(ton 10^3 / semana)	%	(ton-km 10^6 / semana)	%	Nivel de Saturación	(US$ 10^3 /semana)	(10^3 / semana)
1	826	80	1,702.2	75.2	0.400	61,024	207	20	560.7	24.8	0.265	13,029	74,054
2 (situación actual)	743	72	1,517.3	64.9	0.356	55,992	290	28	821.6	35.1	0.405	16,354	72,347
3 (situación óptima)	**620**	**60**	**1,276.5**	**52.8**	**0.304**	**47,856**	**413**	**40**	**1,142.9**	**47.2**	**0.555**	**23,479**	**71,335**
4	516	50	1,063.5	42.5	0.252	39,871	516	50	1,439.1	57.5	0.711	32,420	72,291
5	413	40	851.2	33.0	0.200	31,912	620	60	1,730.9	67.0	0.846	45,775	77,687

El mismo resultado óptimo anterior fue obtenido de asignar la suma de las matrices indirectas O-D de ambos modos al sistema multimodal total modelado, permitiendo al programa generar endógenamente la solución de mínimo costo.

Algunas Perspectivas de Desarrollo del Transporte Ferroviario en México

Con el fin de identificar algunas perspectivas de desarrollo futuro para este modo de transporte, primero se realiza un análisis de reparto modal óptimo para el transporte terrestre doméstico de carga y posteriormente el mismo tipo de análisis para el transporte terrestre internacional de carga. Ambos tipos de análisis fueron generados a partir de esfuerzos de modelación de los flujos nacionales e internacionales de carga por las redes carretera y ferroviaria, ya mencionados.

La información obtenida de estos análisis, más la consideración de que el tonelaje de intercambio comercial entre México y Estados Unidos es alrededor de 10.3% del tonelaje doméstico, pero que el primero ha observado en los últimos años una tasa media de crecimiento anual del orden de 9% en tanto que el mercado interno se ha manifestado relativamente deprimido, permiten establecer las siguientes perspectivas de desarrollo de mediano plazo para el sistema ferroviario:

- Un crecimiento anual del 9% en la fracción del transporte terrestre doméstico correspondiente al transporte internacional entre México y Estados Unidos, la cual, como ya se indicó, tiene condiciones de reparto modal mucho más balanceadas que el transporte doméstico, irá arrastrando necesariamente a este último a mejores estadíos de reparto modal. Obviamente, lo anterior se dará más rápidamente si el transporte terrestre internacional evoluciona rápidamente hacia su propia situación de reparto modal óptimo ya señalada.

- Una consecuencia inmediata de lo expuesto en el punto anterior es que la fracción del sistema ferroviario vinculada al transporte terrestre internacional entre México y Estados Unidos empezará a observar presiones importantes por falta de capacidad en plazos relativamente cercanos. Por esta razón, las primeras necesidades de modernización y ampliación de la capacidad del sistema ferroviario se generarán precisamente en esta fracción del mismo.

- Lo anterior de ninguna manera significa que el ferrocarril deba desatender las necesidades de mejoramiento de los servicios y la infraestructura para el mercado doméstico, en el cual se estima que también tiene muy importantes nichos de mercado.

- Se considera que el ferrocarril tiene una oportunidad muy especial de crecimiento en participación en el transporte internacional, ya que las distancias de recorrido asociadas con este último son generalmente considerables.

Conclusiones y Recomendaciones

Una vez realizado este primer esfuerzo por analizar el transporte de carga multimodal multiproducto, a continuación se mencionan algunas conclusiones y recomendaciones:

- El estudio forma parte de un proyecto a largo plazo que servirá tanto a empresas transportistas como a las dependencias reguladoras del transporte, ya que los resultados que se obtienen están ligados a la planeación multimodal-multiproducto.

- El STAN hará posible realizar una modelación más completa y precisa, que eventualmente permitirá llevar a cabo evaluaciones eficientes del impacto de alternativas de modificación a la infraestructura y a los servicios de transporte de carga.

- Para las condiciones actuales de infraestructura ferroviaria, el ferrocarril puede tener un aumento en la captación de carga del orden del 50% del tonelaje que movía en 1994. Lo anterior generaría al país un ahorro de entre 50 y 100 millones de dólares anuales, cifra que representa del 0.5% al 1% del costo total anual. Lo anterior se lograría optimizando el uso de la infraestructura disponible, sin exceder la capacidad actual de los arcos ferroviarios, ya que éstos se saturan muy rápidamente ante incrementos de la demanda.

- Bajo las condiciones actuales de capacidad existente del ferrocarril, éste sólo puede aspirar a un reparto modal del orden del 15% de la carga terrestre, que representa un movimiento anual de 77.3 millones de toneladas anuales, es decir 50% más de lo que movía en 1994.

Indice

Resumen V

Abstract VII

Resumen Ejecutivo IX

1 Antecedentes 1

1.1 Introducción 1
1.2 Evolución del Comercio entre México y Estados Unidos 2
1.3 Participación de los Modos Terrestres 4
1.4 Reparto Modal de Carga entre Autotransporte y Ferrocarril 4
1.5 Categorías de Productos Consideradas 16
1.6 Mecanismos Generales de los Viajes Transfronterizos 23

2 Modelo de Asignación 27

3 Resultados del Modelo 33

3.1 Información de los Flujos 33
3.2 Análisis de Asignación 33
3.3 Reparto Modal Óptimo 42

4 Algunas Perspectivas de Desarrollo del Transporte Ferroviario en México 45

4.1 Breve Historia 46
4.2 Situación Actual 47

4.2.1 Infraestructura 47
4.2.2 Privatización 48
4.2.3 Concesiones 49
4.3 Perspectivas 50
4.3.1 Análisis de Reparto Modal en el Transporte Terrestre Doméstico 50
4.3.2 Análisis de Reparto Modal en el Transporte Terrestre Internacional 53
4.3.3 Algunas Perspectivas 54

5. Conclusiones y Recomendaciones 57

6. Referencias Bibliográficas 61

1 Antecedentes

1.1 Introducción

La eficiencia de cualquier sector productivo suele valuarse en términos de parámetros que relacionan la inversión de recursos realizada en la prestación del bien o servicio de que se trate (producto) y el resultado obtenido; el costo es la expresión típica de la inversión de recursos (humanos, materiales, de capital, etc.) de tal manera que es frecuente que la productividad se mida en términos del costo por unidad producida. En el caso del transporte de carga, el producto es cada tonelada-kilómetro transportada con ciertas características de calidad de servicio relacionadas con el tiempo de viaje, la seguridad, la confiabilidad, la tarifa, el bienestar de la carga, la cobertura espacial, etc. Este trabajo se refiere específicamente al transporte de carga por carretera y ferrocarril; el término transporte terrestre se referirá, de aquí en adelante, a la combinación de estos dos modos.

Se reconoce a nivel mundial la importancia económica de eliminar las ineficiencias en los sistemas de transporte, para poder competir comercialmente de manera más favorable. En el caso de la Región de Norteamérica, constituida por México, Estados Unidos y Canadá, agrupados en una zona de libre comercio bajo el Tratado de Libre Comercio de Norteamérica (TLCAN), una parte esencial de este proceso comprende el incremento de la productividad de los modos de transporte terrestre de carga.

Este trabajo es un primer paso dentro del esfuerzo global por analizar, mediante modelos de asignación vehicular en redes, las operaciones del transporte de carga entre México y Estados Unidos. Inicialmente se presentan una serie de antecedentes relevantes. Posteriormente se describe el modelo desarrollado para el transporte terrestre. Finalmente se muestran algunos resultados y análisis generados con el mismo.

El modelo elaborado permite la predicción de flujos en la red intermodal de autotransporte y ferrocarril para diferentes categorías de productos (multiproducto). Algunos de los análisis mostrados son por categoría de

producto (desagregados) en tanto que otros corresponden a la demanda agregada.

Los análisis presentados corresponden a una visión macro del transporte terrestre de carga entre México y Estados Unidos. Otros esfuerzos futuros buscarán cubrir el detalle de algunos elementos específicos (visión micro) así como ampliar los análisis a otros modos de transporte. La mayoría de los análisis mostrados corresponden a 1996. En este trabajo, cuando se haga referencia a valor económico de las mercancías, deberá entenderse que se trata del valor de transacción de las mismas, el cual se asienta en los documentos de pedimento de importación o exportación que se presentan ante las aduanas.

1.2 Evolución del Comercio entre México y Estados Unidos

La Tabla 1 muestra la evolución que han experimentado en los últimos años (1991-1997) los flujos anuales de tonelaje y valor económico de carga entre México y Estados Unidos. La información en la tabla proviene del Sistema de Información Comercial Mexicano (SICM) [*1*]. Este es una base de datos del comercio exterior de México, elaborada y publicada anualmente por la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial de México (SECOFI) de acuerdo con la clasificación del Sistema Armonizado de Designación y Codificación de Mercancías (SADCM) [*2*]. Cabe señalar que para 1996, alrededor del 41% del valor de los flujos comerciales Estados Unidos-México y del 45% de los del sentido opuesto, estuvieron relacionados con la industria maquiladora [*3*].

El último renglón de la Tabla 1 muestra los valores de la tasa de crecimiento media anual (TCMA) observados por los diferentes flujos durante el periodo considerado. Puede observarse que los flujos muestran una tendencia de crecimiento sostenido. La diferencia entre las tasas de crecimiento de valor y tonelaje para cada sentido (México-Estados Unidos y Estados Unidos-México) es indicativa de la forma como ha evolucionado la estructura de estos dos tipos de comercio.

La magnitud de los flujos en la Tabla 1 es similar a la que reportan fuentes norteamericanas que contienen el mismo tipo de información [*4*].

Tabla 1 Evolución del Comercio entre México y Estados Unidos (1991 - 1997)

	México - Estados Unidos		Estados Unidos - México	
Año	VALOR (10^6)	TONELAJE Miles TON	VALOR (10^6)	TONELAJE Miles TON
1991	33,952	16,239	36,868	39,047
1992	38,184	18,120	43,014	44,646
1993	42,841	17,298	43,112	36,037
1994	50,477	28,772	50,651	52,681
1995	63,442	25,772	44,707	35,553
1996	75,120	22,172	51,647	47,447
1997	85,829	23,360	71,378	52,485
TCMA[1]	*16.8%*	*9.1%*	*12.7%*	*8.3%*

[1] Tasa de Crecimiento Media Anual (%)

1.3 Participación de los Modos Terrestres

La Tabla 2 ilustra la participación del autotransporte y el ferrocarril en los flujos anuales de tonelaje y valor de carga entre México y Estados Unidos. La información en esta tabla corresponde a 1996 y nuevamente proviene de datos generados por SECOFI [*1*]. A partir de la Tabla 2 es evidente la preponderancia del transporte terrestre (particularmente del autotransporte) en el intercambio comercial entre los dos países. Debe destacarse que alrededor del 98% del valor de carga movido por ambos modos en este intercambio tiene como origen o destino a los Estados Unidos y sólo el 2% restante es carga de paso hacia otros países [*3*].

1.4 Reparto Modal de Carga entre Autotransporte y Ferrocarril

Un elemento fundamental para el desarrollo de este trabajo es la información origen-destino (O-D). Esta fue obtenida a partir de registros de la SECOFI [*5*] que contienen información de los flujos registrados en aduanas para cada tipo de producto (fracción arancelaria) en el SADCM [*2*]. Se cuenta con estimados del tonelaje y valor de estos flujos por ambos modos terrestres así como con su origen y su destino en México o en Estados Unidos. El conjunto de estos estimados para cada modo constituye su demanda de transporte de carga.

A partir de la información anterior, es posible construir dos tipos de matrices O-D. El primero corresponde a matrices con flujos directos de los orígenes en México hacia los destinos en Estados Unidos y viceversa (referidas de aquí en adelante como matrices directas O-D). El segundo se refiere a matrices con flujos de los orígenes en México hacia los cruces fronterizos y de éstos hacia los destinos en Estados Unidos y viceversa (matrices indirectas O-D). La estructura de estos dos tipos de matrices se ilustra en las Figuras 1 y 2 respectivamente.

Por simplicidad y claridad de presentación, los datos sobre pares O-D y reparto modal de carga entre autotransporte y ferrocarril serán mostrados con base en matrices del primer tipo. La información que se utilice en análisis de asignación corresponderá, por otra parte, a matrices del segundo tipo con el fin de que la predicción de flujos sea más precisa al aprovecharse

Tabla 2 Participación del Autotransporte y el Ferrocarril en el Comercio entre México y Estados Unidos (1996)

SENTIDO	MODO	TIPO DE FLUJO			
		TONELAJE		VALOR	
		TON/AÑO (10^3)	%	US10^6	%
México - Estados Unidos	Autotransporte	14,482	65.3	48,350	64.4
	Ferrocarril	4,813	21.7	12,298	16.4
	Otros Modos	2,877	13.0	14,472	19.2
	Total	22,172	100.0	75,120	100.0
Estados Unidos - México	Autotransporte	24,246	51.1	44,092	85.4
	Ferrocarril	10,307	21.7	5,119	9.9
	Otros Modos	12,894	27.2	2,436	4.7
	Total	47,447	100.0	51,647	100.0

el conocimiento que se tiene de los cruces fronterizos por donde se realizan los intercambios.

Para los propósitos de este estudio se consideró suficiente una zonificación de los dos países a nivel de estado. Cada zona quedó asociada con el área metropolitana de mayor importancia económica (según ingreso) de cada estado. Sólo los estados norteamericanos de Texas y California, por su extensión territorial y diversidad de lugares de importancia en el comercio México-Estados Unidos, fueron divididos en varias zonas. De esta manera, en California se generaron 2 zonas (una para Los Angeles y otra para San Francisco) y en Texas 7 (para Dallas, Austin, San Antonio, Houston, Corpus Christi, El Paso y Amarillo, respectivamente).

Así, las matrices directas O-D son de orden 88 (32 zonas en México más 56 en Estados Unidos) x 88. Para la construcción de las matrices indirectas, fue necesario adicionar una zona por cada par de ciudades vecinas (una a cada lado de la frontera) de los 17 cruces fronterizos más importantes entre los dos países (en la Tabla 3); dado que una de ellas (Tijuana, Baja California) ya fue incluida como zona metropolitana más importante de su estado, sólo fueron incluidas zonas adicionales para los 16 cruces fronterizos restantes en la Tabla 3. De esta manera, el orden de dichas matrices es de 104 x 104.

Con las consideraciones anteriores de zonificación, se construyeron por separado las matrices directas O-D para el autotransporte y el ferrocarril. A partir de éstas se elaboró la Tabla 4 que muestra información del reparto modal de carga entre ambos modos terrestres para el comercio entre México y Estados Unidos en 1996. La información se presenta para cada sentido así como para el comercio global entre los dos países.

Las últimas dos columnas de la Tabla 4 se refieren a los pares O-D en los que se detectaron flujos para cada modo. Puede observarse en la parte del comercio global que del total de pares posibles entre los que pueden generarse intercambios comerciales para la zonificación considerada en el caso de las matrices directas O-D (7,744), sólo se registraron movimientos en 1,555 de ellos (20%). El autotransporte registró envíos en 99% de estos últimos (en 35.7% de manera exclusiva y en 63.3% en combinación con el ferrocarril) en tanto que el ferrocarril registró movimientos en 64.3% de ellos.

Se identificaron flujos en un mayor número de pares para el comercio Estados Unidos-México (1,454) que para el de sentido opuesto (1,023). Asimismo, las coberturas de estos pares por ambos modos resultaron mayores en este sentido (99.1% y 62.9% para autotransporte y ferrocarril

Destino / Origen	32 Zonas de México	56 Zonas de Estados Unidos
32 Zonas de México	Submatriz con elementos igual a cero	Submatriz con elementos que pueden tener valor diferente de cero
56 Zonas de Estados Unidos	Submatriz con elementos que pueden tener valor diferente de cero	Submatriz con elementos igual a cero

FIGURA 1 Estructura de las Matrices Directas O-D

Origen / Destino	32 Zonas de México	16 Zonas Fronterizas	56 Zonas de Estados Unidos
32 Zonas de México	Submatriz con elementos igual a cero	Submatriz con elementos que pueden tener valor diferente de cero	Submatriz con elementos igual a cero
16 Zonas Fronterizas	Submatriz con elementos que pueden tener valor diferente de cero	Submatriz con elementos igual a cero	Submatriz con elementos que pueden tener valor diferente de cero
56 Zonas de Estados Unidos	Submatriz con elementos igual a cero	Submatriz con elementos que pueden tener valor diferente de cero	Submatriz con elementos igual a cero

FIGURA 2 Estructura de las Matrices Indirectas O-D

Tabla 3 Zonas Adicionales en Ciudades Vecinas Fronterizas

Zona (Ciudad Mexicana - Ciudad Norteamericana)
Matamoros, Tamaulipas - Brownsville, Texas
Reynosa, Tamaulipas - Hidalgo, Texas
Miguel Alemán, Tamaulipas - Roma, Texas
Nuevo Laredo, Tamaulipas - Laredo, Texas
Piedras Negras, Coahuila - Del Río, Texas
Ciudad Acuña, Coahuila - Eagle Pass, Texas
Ojinaga, Chihuahua - Presidio, Texas
Ciudad Juárez, Chihuahua - El Paso, Texas
Rodrigo M. Quevedo, Chihuahua - Columbus, New Mexico
Agua Prieta, Sonora - Douglas, Arizona
Naco, Sonora - Naco, Arizona
Nogales, Sonora - Nogales, Arizona
Sonoyta, Sonora - Lukeville, Arizona
San Luis Río Colorado, Sonora - San Luis, Arizona
Mexicali, Baja California - Calexico, California
Tecate, Baja California - Tecate, California
Tijuana, Baja California - San Ysidro, California

Tabla 4 Reparto Modal de Carga entre Autotransporte y Ferrocarril en el Comercio entre México y Estados Unidos (1996)

SENTIDO	CASOS	TIPO DE FLUJO					
		TONELAJE		VALOR		PARES O-D	
		TON/AÑO (10^3)	%	US$10^6	%	No.	%
México - Estados Unidos	Sólo Servicios de Autotransporte	4,547	23.6	18,336	30.2	613	59.9
	Sólo Servicios de Ferrocarril	633	3.3	1,403	2.3	108	10.6
	Ambos Autotransporte	9,935	51.4	30,014	49.5		
	Ambos Ferrocarril	4,180	21.7	10,895	18.0	302	29.5
	Total Autotransporte	14,482	75.0	48,350	79.7	915	89.4
	Total Ferrocarril	4,813	25.0	12,298	20.3	410	40.1
	Gran Total	19,295	100.0	60,648	100.0	1,023	100.0
Estados Unidos - México	Sólo Servicios de Autotransporte	494	1.4	1.079	2.2	539	37.1
	Sólo Servicios de Ferrocarril	11	0.0	4	0.0	13	0.9
	Ambos Autotransporte	23,752	68.7	43,013	87.4		
	Ambos Ferrocarril	10,296	29.8	5,115	10.4	902	62.0
	Total Autotransporte	24,246	70.2	44,092	89.6	1,441	99.1
	Total Ferrocarril	10,307	29.8	5,119	10.4	915	62.9
	Gran Total	34,553	100.0	49,211	100.0	1,454	100.0
Global	Sólo Servicios de Autotransporte	945	1.8	2,805	2.6	554	35.7
	Sólo Servicios de Ferrocarril	9	0.0	2	0.0	16	1.0
	Ambos Autotransporte	37,783	70.2	89,637	81.6		
	Ambos Ferrocarril	15,111	28.0	17,415	15.8	985	63.3
	Total Autotransporte	38,728	72.0	92,442	84.2	1,539	99.0
	Total Ferrocarril	15,120	28.0	17,417	15.8	1,001	64.3
	Gran Total	53,848	100.0	109,859	100.0	1,555	100.00

respectivamente vs 89.4% y 40.1% para el sentido México-Estados Unidos). También en este sentido hay un mayor porcentaje de esos pares en los que se registró servicio por ambos modos (62% vs 9.5% para el sentido México-Estados Unidos).

Para los diferentes casos en la Tabla 4, se muestra el tonelaje movido y el valor de la carga transportada en 1996. Puede observarse que el reparto global del tonelaje es de 72.0% para el autotransporte y de 28.0% para el ferrocarril. En términos del valor económico de las mercancías, 84.2% corresponde al autotransporte y 15.8% al ferrocarril.

El reparto de tonelaje es más balanceado para el sentido Estados Unidos-México (70.2% y 29.8% para autotransporte y ferrocarril respectivamente vs 75.0% y 25.0% para el sentido México-Estados Unidos) aunque en términos de valor lo es más para el sentido México-Estados Unidos (79.7% y 20.3% para autotransporte y ferrocarril respectivamente vs 89.6% y 10.4% para el sentido Estados Unidos-México). Esto último es resultado de la baja densidad económica (valor económico por tonelada) de las mercancías movidas por ferrocarril de Estados Unidos hacia México (5,119x106 US dollars/10,307x103 metric ton).

También se obtuvo, por separado, información del reparto modal para los movimientos de las fronteras hacia Estados Unidos y de las mismas hacia México, utilizándose en este caso las correspondientes matrices indirectas O-D de ambos modos. Tanto para los movimientos en Estados Unidos como para los movimientos en México, se obtuvieron porcentajes de reparto de la carga entre ambos modos similares a los mostrados en la parte de comercio global en la Tabla 4. Lo anterior indica que los movimientos transfronterizos son fundamentalmente unimodales, aunque en los sitios de origen y destino de los viajes registrados suelen darse operaciones intermodales de consolidación y desconsolidación asociadas con la recolección inicial y/o la distribución final de la carga.

Finalmente, información de fuentes norteamericanas [*4*] indica que la estructura del reparto en la Tabla 4 (porcentajes) se ha mantenido relativamente constante durante los últimos años (1993-1997).

1.5 Categorías de Productos Consideradas

Como ya se indicó, el nivel más desagregado de productos para el que los registros de SECOFI pueden permitir la generación de información O-D es la fracción arancelaria. Sin embargo, para la modelación multiproducto en este trabajo se requiere de una desagregación menos detallada (más práctica).

En este trabajo, los análisis multiproducto para ambos modos se efectúan en términos de 9 categorías de productos. Las primeras 7 se refieren respectivamente a los productos forestales, agrícolas, animales y sus derivados, minerales, petróleo y sus derivados, industriales y otros; estas categorías corresponden a un sistema de agregación de las fracciones arancelarias del SADCM utilizado por el Banco de México [*6*]. Las otras 2 se refieren: una, al movimiento de vehículos vacíos y la otra, a la agregación de todos los productos.

Con el fin de ilustrar la composición de la demanda contenida en los datos O-D disponibles, la Tabla 5 muestra, para cada categoría de producto, información de los flujos de tonelaje y valor de carga movidos en 1996 por ambos modos terrestres en ambos sentidos, así como el peso promedio de carga transportado por vehículo estándar (un camión de carga T3-S2 para el autotransporte y un vagón de 28 ton de peso propio para el ferrocarril). Estos pesos promedio por vehículo provienen de un estudio de campo realizado anualmente por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) para el caso del autotransporte (descrito ya en otros trabajos [*7*]) y de Ferrocarriles Nacionales de México (FNM) para el caso del ferrocarril [*8*]; esta información es fundamental para la modelación que se describirá más adelante.

Las dos últimas columnas para cada modo en la Tabla 5 corresponden a estimados del flujo vehicular por categoría de producto, obtenidos de dividir los tonelajes entre los tonelajes por vehículo correspondientes.

La información de movimientos en vacío en la Tabla 5 fue obtenida de asumir que en promedio éstos son iguales a un 25% de los flujos vehiculares de todas las mercancías agregadas [*4, 7*].

En la Tabla 5 destacan las participaciones de los productos agrícolas e industriales por autotransporte de México hacia Estados Unidos y del petróleo y sus derivados e industriales en el sentido opuesto. En el caso del ferrocarril, destacan los minerales e industriales de México hacia Estados

Tabla 5 Flujos de las Diferentes Categorías de Productos Movidas por Autotransporte y Ferrocarril en el Comercio entre México y Estados Unidos (1996)

SENTIDO	PRODUCTO	MODO												
		AUTOTRANSPORTE							FERROCARRIL					
		VALOR		TONELAJE		TONELAJE/	VEHICULOS		VALOR		TONELAJE		TONELAJE/	VEHICULOS	
		US$106	%	TON/AÑO (10^3)	%	VEHICULO	VEH/AÑO	%	US$106	%	TON/AÑO (10^3)	%	VEHICULO	VEH/AÑO	%
México-Estados Unidos	Forestales	388.2	0.8	516.6	3.6	16.3	31,693	2.6	29.6	0.2	105.7	2.2	39.8	2,656	2.4
	Agrícolas	2,958.9	6.1	4,059.5	28.0	14.8	274,291	22.2	79.4	0.6	87.0	1.8	64.8	1,343	1.2
	Animales y sus productos	605.0	1.3	185.7	1.3	12.1	15,347	1.2	10.7	0.1	18.5	0.4	66.2	279	0.3
	Minerales	480.5	1.0	454.1	3.1	21.3	21,319	1.7	334.0	2.7	1,153.9	24.0	71	16,252	14.7
	Petróleo y sus derivados	26.7	0.1	159.6	1.1	24.4	6,541	0.5	6.6	0.1	110.0	2.3	65.5	1,679	1.5
	Industriales	42,067.1	87.0	8,806.2	60.8	14.4	611,542	49.5	11,829.9	96.2	3,325.3	69.1	50.4	65,978	59.7
	Otros	1,823.7	3.8	300.3	2.1	11	27,300	2.2	7.8	0.1	12.6	0.3	52.8	239	0.2
	Vacios	0.0	0.0	0.0	0.0	0	247,008	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	22,107	20.0
	Agregado	48,350	100.0	14,482.0	100.0	11.7	1,235,041	100	12,298.0	100.0	4,813.0	100.0	43.5	110,533	100.0
Estados Unidos - México	Forestales	379.8	0.9	736.8	3.0	16.3	45,202	2.5	231.9	4.5	876.0	8.5	39.8	22,010	10.0
	Agrícolas	1,349.8	3.1	1,824.0	7.5	14.8	123,243	6.8	1,145.3	22.4	2,597.8	25.2	64.8	40,090	18.3
	Animales y sus productos	890.8	2.0	532.1	2.2	12.1	43,975	2.4	212.0	4.1	369.9	3.6	66.2	5,588	2.5
	Minerales	767.5	1.7	2,003.1	8.3	21.3	94,042	5.2	170.6	3.3	1,366.8	13.3	71	19,251	8.8
	Petróleo y sus derivados	604.8	1.4	6,487.4	26.8	24.4	265,877	14.6	180.0	3.5	2,757.6	26.8	65.5	42,101	19.2
	Industriales	39,847.1	90.4	12,613.3	52.0	14.4	875,924	48.2	3,171.6	62.0	2,336.9	22.7	50.4	46,367	21.1
	Otros	252.2	0.6	49.3	0.2	11	4,482	0.2	7.5	0.1	2.1	0.0	52.8	40	0.0
	Vacios	0.0	0.0	0.0	0.0	0	363,186	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	43,861	20.0
	Agregado	44,092	100.0	24,246.0	100.0	13.4	1,815,932	100.0	5,119.0	100.0	10,307.0	100.0	47.0	219,307	100.0

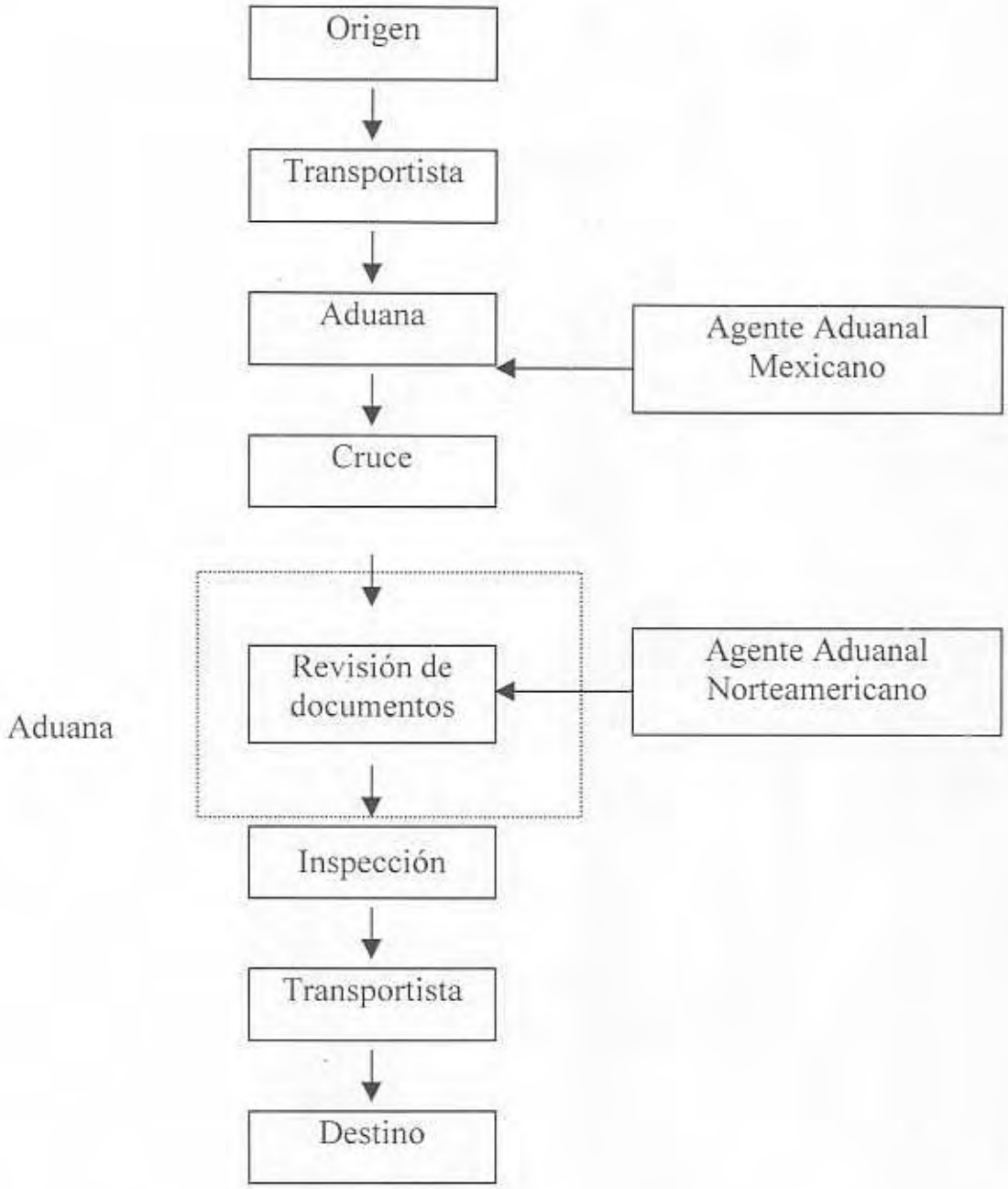

FIGURA 3 Mecanismo General de los Viajes Transfronterizos México-Estados Unidos

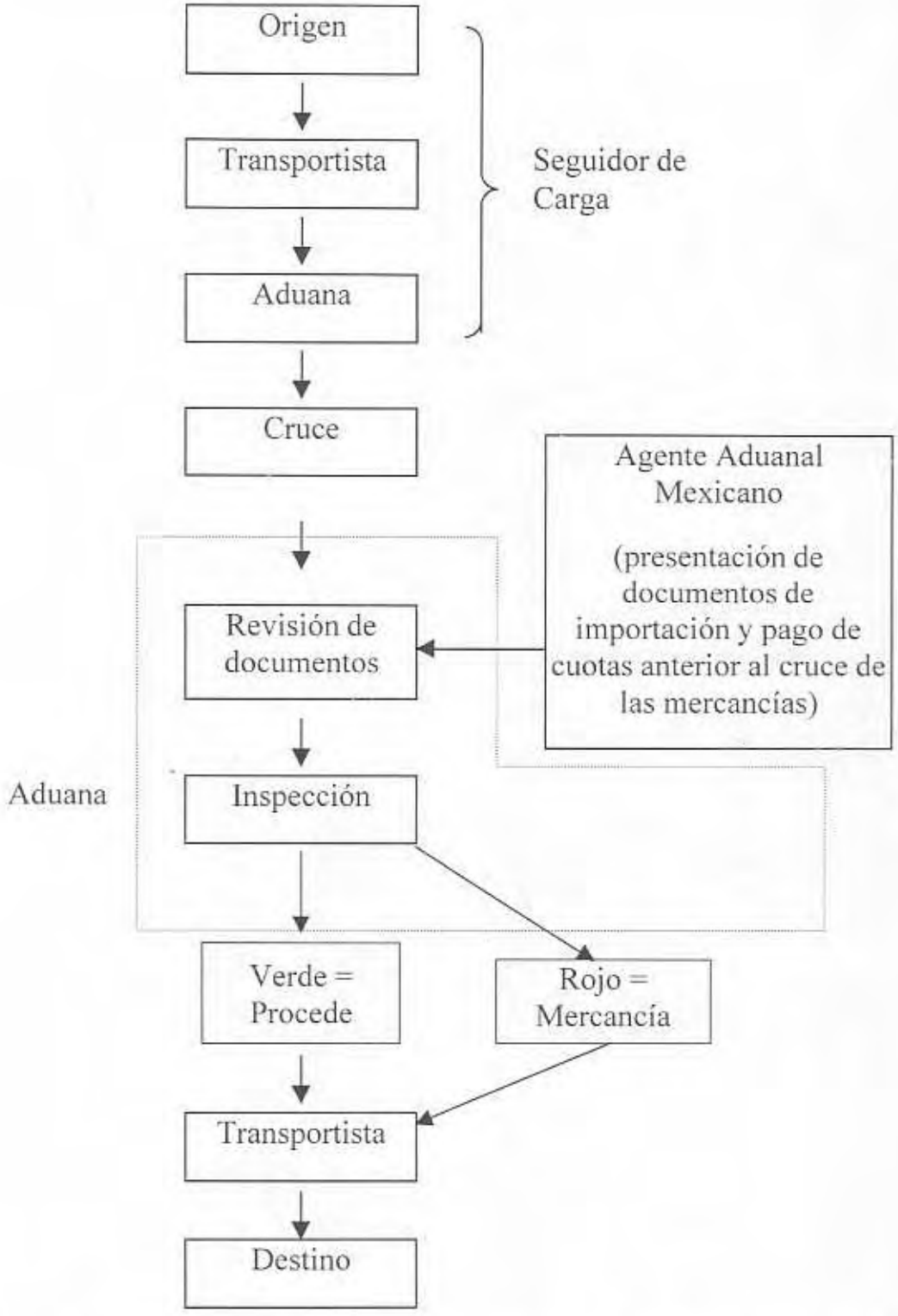

FIGURA 4 Mecanismo General de los Viajes Transfronterizos Estados Unidos-México

Unidos y los agrícolas, petróleo y sus derivados e industriales en el otro sentido.

Más adelante, cuando se presenten algunos resultados del modelo generado, se describirán con mayor detalle los flujos O-D multiproducto de ambos modos de transporte.

1.6 Mecanismos Generales de los Viajes Transfronterizos

Las Figuras 3 y 4 esquematizan el mecanismo general de los viajes transfronterizos de carga por ambos modos terrestres, en cada sentido respectivamente. En el establecimiento de estos mecanismos han influido de manera determinante las regulaciones de cada país. Cabe señalar que según la terminología empleada en el comercio internacional (INCOTERMS) [9], una gran cantidad de los fletes terrestres de carga México-Estados Unidos se realizan bajo contratos de transportación tipo "Free on Board (FOB)" en tanto que para el sentido opuesto una gran cantidad son tipo "Cost Insurance and Freight (CIF)".

En el caso de los fletes México-Estados Unidos (Figura 3), una empresa transportista mexicana mueve la carga desde su origen en México hasta la aduana mexicana en el sitio fronterizo. Previamente a la llegada de la carga a esta aduana, el agente aduanal mexicano contratado para atender el flete en México presenta ante ella los documentos de pedimento de exportación correspondientes. Con base en estos documentos, la aduana determina si el cargamento necesita una inspección detallada o no. Después de realizada esta operación, se pagan derechos de trámite aduanero ante la aduana y se realiza el cruce. Previamente a la llegada de la carga a la aduana norteamericana, el agente aduanal norteamericano encargado del flete en Estados Unidos presenta ante ella los documentos de pedimento de importación. Ya en la aduana norteamericana, el cargamento es sujetado a una primera inspección a la entrada del patio fiscal. Si la documentación es completa y veraz y la carga cumple con todas las regulaciones, la mercancía es liberada; de lo contrario, es sujetada a una segunda revisión más minuciosa en el patio fiscal o de inspección secundaria, pudiendo ser retenida o revocada en caso de no cumplir nuevamente o aprobada y liberada. Una vez que el cargamento es liberado, debe llenarse un resumen de entrada de consumo ("entry summary of consumption") y deben pagarse los impuestos a la aduana dentro de los 10 días hábiles de la liberación. Finalmente, una empresa transportista norteamericana mueve la carga desde el sitio fronterizo hasta su destino en Estados Unidos. En algunos

sitios fronterizos (principalmente sobre el Río Grande) y para los fletes por autotransporte, el acarreo del remolque que contiene la carga desde patios de estacionamiento antes de la aduana mexicana hasta estacionamientos después de la norteamericana (incluyendo el cruce y las revisiones aduanales) es realizado por el tractor de un autotransportista mexicano contratado especificamente para ello (denominado "transfer").

En el caso de los fletes Estados Unidos-México (Figura 4), la carga es movida por una empresa transportista norteamericana desde su origen en Estados Unidos hasta la aduana norteamericana en el sitio fronterizo. Esta parte del viaje es usualmente monitoreada por un agente denominado "seguidor de carga". La aduana norteamericana sólo inspecciona el tránsito comercial hacia el sur en algunos sitios fronterizos, con propósitos de control de armas, documentos fraudulentos, productos de patente prohibidos o vehiculos robados. Antes de que se realice el cruce, el agente aduanal mexicano debe ya haber presentado ante la aduana mexicana los documentos de pedimento de importación. Una vez que estos documentos han sido validados por la aduana, el agente aduanal debe pagar las tarifas e impuestos correspondientes. Una vez que éstos han sido pagados, el seguidor de la carga es notificado y el cargamento puede cruzar la frontera hacia México. Antes de que el cargamento deje los Estados Unidos, el agente aduanal debe llenar una declaración denominada "Shipper's Export Declaration (SED)". Cuando la carga arriba a la aduana mexicana, el agente aduanal estará esperando para presentar los documentos de importación validados. La información referente al cargamento se introduce al sistema computarizado de la aduana, que aleatoriamente determina si el flete va a inspección detallada o no (luz roja/luz verde); ésta incluye la verificación de las cantidades, tipos y pesos de mercancías, verificación de permisos e impuestos y control de productos ilegales. El porcentaje de fletes que son sujetos a inspección detallada depende del tipo de producto, siendo menor para los cargamentos de maquiladoras. Si el flete cumple con todos los requisitos legales, el agente aduanal recibe los documentos acreditados y el cargamento es liberado. Finalmente, una empresa transportista mexicana mueve la carga desde el sitio fronterizo hasta su destino en México, siendo sujeta a una inspección adicional en los límites de la zona fronteriza para revisar la documentación aduanal verificada, pero usualmente sin inspeccionar la carga. En este sentido también se presenta la operación de acarreo fronterizo mediante "transfer" en algunos sitios de cruce y para los fletes por autotransporte, aunque en este caso el "transfer" es norteamericano.

En las revisiones aduanales de cada lado de la frontera participan organismos de distinta índole de los respectivos Gobiernos Federales (de justicia, agricultura, comercio, transporte, relaciones internacionales, hacienda, defensa, ecología, administración, etc.). Por ley, las aduanas norteamericanas inspeccionan todos los fletes dirigidos a Estados Unidos, en tanto que las aduanas mexicanas sólo inspeccionan la fracción de los fletes a México que obtiene luz roja en el semáforo fiscal. La retención o revocación de los fletes en las aduanas da lugar frecuentemente a penalizaciones que van desde la aplicación de multas hasta acciones de tipo judicial.

Por supuesto, en los distintos cruces fronterizos existen variantes de los mecanismos generales anteriores, atendiendo al grado de automatización de las operaciones (p. ej. nivel de uso de herramientas informáticas y de comunicación, tecnologías ITS, código de barras y lectores ópticos), calidad del importador o exportador (p. ej. opción "line release" en aduanas norteamericanas para los importadores que tienen un historial de precisión en las facturas y están libres de asuntos legales), modo de transporte (p. ej. sistema de procesamiento de tres filas para el autotransporte en aduanas norteamericanas), tipo de mercancía (p. ej. cargamento de maquiladoras, productos agrícolas), nivel de preferencia en el tratamiento (p. ej. inspección en patios fiscales en el destino), etc.

Este trabajo será una etapa adicional en el esfuerzo global por modelar, a través de redes, las operaciones de transporte de carga en México. Específicamente, en este trabajo se pretende simular los flujos de carga que se producen en los sistemas carretero y ferroviario nacionales. Se reitera que la simulación de los flujos se realizará a través de modelos de red. Cabe señalar que ya se han realizado algunos esfuerzos de modelación en red de las operaciones en ambos modos, aunque de manera muy limitada, pues se han basado en programas computacionales de simulación con objetivos muy diferentes a la modelación del transporte de carga.

Eventualmente, en pasos subsiguientes del esfuerzo global antes señalado, la modelación podrá extenderse a otros modos (transporte marítimo de altura y cabotaje, por ductos, etc.), no sólo del comercio doméstico de México sino también del comercio internacional.

2 Modelo de Asignación

Tras más de 60 años de continuo esfuerzo, México cuenta actualmente con una infraestructura carretera de poco más de 300,000 km de longitud, la cual representa uno de los soportes más importantes del desarrollo económico y social del país. De esta infraestructura, destacan alrededor de 50,000 km que constituyen la red de caminos federales pavimentados, sobre la que se transportan más del 70% de las toneladas-kilómetro (ton-km) de carga y más del 95% de los pasajeros-km. Esta fracción, comúnmente denominada como Red Federal Básica, es la que mayor soporte proporciona a la actividad económica y comercial del país, razón por la cual es a la que fundamentalmente se hará referencia en este trabajo. Específicamente, dicha red está compuesta por 44,000 km de carreteras libres y alrededor de 6,000 km de carreteras de cuota, generalmente de cuatro carriles o más; de estas últimas, 1,300 km son administrados directamente por el Gobierno Federal y el resto han sido concesionados a Gobiernos Estatales y a particulares.

En la elaboración del modelo de asignación se utilizó el programa computacional Strategic Transportation ANalysis (STAN) [*10*], el cual permite simular el comportamiento de los flujos de diferentes tipos de productos (multiproducto) a través de un sistema de transporte compuesto por varios modos (multimodal). El STAN requiere tanto de la construcción de la red de transporte a modelar (la red intermodal de autotransporte y ferrocarril en este caso) como de su alimentación con los datos físicos y operativos de la misma y los flujos O-D a asignar. La red de transporte, así como las caracteristicas físicas y operativas de cada uno de sus elementos, constituyen la oferta de transporte. Las matrices O-D para los diferentes grupos de productos constituyen la demanda.

La red se construye a través de arcos, nodos, centroides (nodos asociados con las zonas), conectores de centroides y nodos de transferencia entre modos. En el modelo desarrollado en este trabajo se consideraron 3 modos, uno para autotransporte, otro para ferrocarril y un tercero para cruces fronterizos (carreteros y ferroviarios). Los cruces fronterizos se manejaron como un modo independiente debido a que el comportamiento que se tiene en las aduanas (tiempos de espera, revisiones, capacidades, etc.) es substancialmente diferente al que se tiene en los tramos carreteros y

ferroviarios (vehículos en circulación). En el STAN, el sistema de centroides es el mismo para todos los modos.

El STAN obtiene los flujos de los diferentes productos en los arcos y nodos de transferencia de la red multimodal, que minimizan el costo total generalizado de enviar los productos desde los orígenes hasta los destinos, vía los modos permitidos, satisfaciéndose a la vez las restricciones usuales de conservación de flujo y no-negatividad [*11*]. La función de costo total generalizado del sistema es:

$$\text{Costo Generalizado Total} = \sum_{\text{products}} \left[\sum_{\text{arcs}} \text{unit cost}_a^p(\text{volume}) \ \text{volume}_a^p + \sum_{\text{transfers}} \text{unit cost}_t^p(\text{volume}) \ \text{volume}_t^p \right]$$

donde:

costo unitario$_a^p$*(volumen)*, es el costo generalizado de mover una tonelada del producto *p* a través del arco *a*, para un flujo total de mercancías *volumen* en el arco; este costo aumenta exponencialmente cuando el flujo *volumen* aumenta reflejando así el congestionamiento que se va generando en el arco; en este trabajo el costo generalizado toma en consideración el costo de operación (incluyendo operación vehicular más deterioro de infraestructura) más las cuotas en autopistas y puentes que deben pagarse en el recorrido entre el origen y el destino (no se incluyen pagos realizados en las aduanas);

volumen$_a^p$, es el flujo de toneladas del producto *p* a través del arco *a*;

costo unitario$_t^p$*(volumen)*, es el costo unitario generalizado para los nodos de transferencia entre modos; tiene características similares a las definidas para el costo generalizado en los arcos.

$volumen_t^p$, es el flujo de toneladas del producto p a través del nodo de transferencia t.

Para la parte del costo generalizado en los arcos carreteros correspondiente al costo de operación vehicular (COV), se definió para cada arco una función de comportamiento del COV para un vehículo representativo de la mezcla de camiones de carga en el comercio internacional entre México y Estados Unidos (T3-S2) versus el grado de saturación (flujo de camiones de carga/capacidad disponible para camiones de carga). La función de comportamiento de cada arco fue determinada a partir de relaciones velocidad versus grado de saturación en el Manual de Capacidad de Carreteras [*12*] para diferentes tipos de carreteras, así como de relaciones COV (por km) versus velocidad para el vehículo representativo. Estas últimas fueron obtenidas utilizando el modelo del Banco Mundial denominado "Costos de Operación Vehicular" [*13*]. Para la aplicación en el modelo de las herramientas anteriores es necesario transformar los flujos de carga en flujos vehiculares, utilizando los valores de peso promedio de carga por vehículo en la Tabla 5 para los distintos tipos de productos.

Para la red ferroviaria, la función de comportamiento del COV versus el grado de saturación de cada arco fue definida a través de un procedimiento similar al empleado para los arcos carreteros, utilizándose en este caso costos de operación vehicular (COV's) proporcionados por empresas ferroviarias [*14, 15*] y la SCT [*16*] y los principios contenidos en [*17*].

Para los cruces fronterizos, la función de comportamiento de cada cruce fue definida con base en "teoría de líneas de espera o colas" (para estimar el tiempo promedio de cruce en función de la relación demanda/capacidad) y COV's de autotransporte o ferrocarril, según se trate de un cruce carretero o ferroviario.

Para los conectores de centroide se consideró un costo unitario generalizado de cero para todos los grupos de productos.

Para las transferencias intermodales entre autotransporte y ferrocarril se consideró un costo unitario generalizado correspondiente al costo de pasar la carga del vehículo de un modo al vehículo del otro.

Para las transferencias entre cualquiera de ambos modos terrestres y los cruces fronterizos se consideró un costo unitario generalizado de cero para todos los grupos de productos (los costos en este caso ya han sido incluidos en el arco de cruce correspondiente).

La red carretera modelada en este estudio está constituida de dos partes, la red mexicana y la red estadounidense, las cuales se enlazan mediante cruces fronterizos por carretera.

La red carretera mexicana modelada es la denominada Red Carretera Básica, de alrededor de 50,000 km de longitud (44,000 km de carreteras libres de 2 carriles y 6,000 km de carreteras de cuota de 4 o más carriles). Esta se modeló a través de 450 nodos, 660 arcos bidireccionales y 49 centroides. Esta modelación se basó en datos disponibles en la SCT sobre la geometría de la red [*18*], aforos vehiculares y capacidad de los tramos carreteros [*19*], costos de operación vehicular y de deterioro de infraestructura [*13*] y tarifas en carreteras y puentes de cuota [*16*] así como en información de otras fuentes [*20*].

La red carretera norteamericana modelada es básicamente la red de carreteras interestatales, de alrededor de 77,000 km de longitud. Esta red se modeló a través de 450 nodos, 700 arcos bidireccionales y 56 centroides. En este caso, la información fue obtenida de la Oficina de Estadísticas de Transporte [*21, 22*] y de la Administración Federal de Carreteras de Estados Unidos [*23, 24*] así como de otras fuentes [*4, 25, 26*].

La modelación para la red ferroviaria siguió los mismos principios que para la red carretera. La red ferroviaria modelada se dividió en dos partes, una para cada país, enlazadas mediante cruces fronterizos por ferrocarril.

La red ferroviaria mexicana modelada es prácticamente todo el sistema ferroviario mexicano, de alrededor de 17,700 km de longitud. Esta red se modeló a través de 160 nodos (100 comunes con la red carretera mexicana) y 190 arcos bidireccionales. Los datos para esta modelación se obtuvieron de [*8, 14, 16, 20, 27, 28, 29, 30*].

La red ferroviaria norteamericana modelada es la red ferroviaria principal, de alrededor de 40,000 km de longitud. Esta se modeló a través de 260 nodos (150 comunes con la red carretera norteamericana) y 380 arcos bidireccionales. La información en este caso fue obtenida de [*15, 21, 22, 23, 25*].

Cada uno de los 17 cruces fronterizos se modeló a través de un arco carretero (que engloba todos los cruces físicos por este modo en la zona) y otro ferroviario (que representa todos los cruces ferroviarios en la zona). En aquellas zonas fronterizas en las que sólo existen cruces a través de un modo, sólo se modeló el arco correspondiente a ese modo. Estos arcos

fueron conectados a las redes mexicana y norteamericana del modo correspondiente. Los 17 cruces fronterizos se modelaron a través de 30 arcos (17 para autotransporte y 13 para ferrocarril). Las características físicas y operativas representativas para cada arco fueron obtenidas a partir de [*4, 31*].

Adicionalmente se modelaron 70 sitios de transferencia intermodal entre autotransporte y ferrocarril en México, ubicados en estaciones ferroviarias importantes o en terminales intermodales existentes [*16*]. En Estados Unidos también se modelaron 70 sitios de transferencia intermodal entre autotransporte y ferrocarril [*23*]. La información para la modelación de estos nodos provino de [*4, 15, 16, 23*].

La información de la demanda es ingresada en el STAN a través de matrices O-D. El programa permite asignar los flujos en estas matrices sobre la capacidad disponible para ellos en los arcos (capacidad del arco menos el efecto de los flujos de automóviles y autobuses). En cada corrida de asignación, el STAN permite que se especifiquen las matrices que se desea asignar a cada modo. De esta manera, fue posible calibrar por separado los sistemas de cada modo, asignando la matriz indirecta agregada O-D del autotransporte a la red carretera binacional modelada y la matriz indirecta O-D del ferrocarril al sistema ferroviario binacional. El STAN cuenta con un procedimiento interno que permite realizar un análisis de regresión entre flujos actuales y predichos en los arcos después de cada asignación, obteniéndose la R2 correspondiente. Una vez que el sistema carretero fue calibrado, se obtuvo un valor de R2 igual a 0.78 entre flujos agregados predichos (variable dependiente) y reales (independiente) por autotransporte. Para el sistema ferroviario se obtuvo un valor de R2 igual a 0.88 para la regresión entre flujos agregados predichos y reales por ferrrocarril, después de la calibración.

El modelo se construyó para manejar flujos semanales de carga.

3 Resultados del Modelo

Una vez elaborado el modelo de asignación, el STAN permite desplegar tres tipos de información: el primero se refiere a informes de repetición de cualquiera de los datos ingresados sobre la oferta de transporte (p. ej. sistema de centroides, características físicas y operativas de la red); el segundo corresponde a la demanda multiproducto ingresada a través de matrices O-D y se presenta mediante la graficación e impresión de matrices, así como la graficación de histogramas de matrices; el tercero se refiere a los análisis de asignación efectuados. A continuación se muestran algunos de estos resultados que se consideran más importantes.

3.1 Información de los Flujos

La Figura 5 muestra los 21 pares directos O-D de mayor tonelaje para la carga agregada por autotransporte con sus correspondientes valores de flujo semanal de toneladas. El flujo entre estos pares representa el 23% del tonelaje total de carga movido por autotransporte entre México y Estados Unidos.

La Figura 6, por otra parte, ilustra los 24 pares directos O-D de mayor tonelaje por ferrocarril. Estos representan el 37% de la carga total ferroviaria entre los dos países.

En las Figuras 5 y 6 es evidente la importancia del intercambio comercial entre los estados fronterizos de los dos países. Este representa del orden del 45% del valor del comercio total entre México y Estados Unidos y del 60% del tonelaje.

3.2 Análisis de Asignación

La Figura 7, obtenida de la asignación de la matriz indirecta agregada O-D del autotransporte a la red carretera binacional, ilustra los 40,000 km de arcos carreteros en un sentido (ó 20,000 km de arcos bidireccionales) con flujo por encima de 60,000 ton de carga agregada por semana. Por esta fracción de la red carretera modelada (25% de la longitud total) circula alrededor del 90% de las toneladas-kilómetro que se mueven por autotransporte entre México y Estados Unidos.

La Figura 8 presenta información similar, pero ahora para el ferrocarril. En este caso se muestran los 20,000 km de arcos ferroviarios en un sentido (ó 10,000 km de arcos bidireccionales) con flujo por encima de 3,000 ton de carga agregada por semana. Por esta fracción de la red ferroviaria modelada (40%) circula alrededor del 90% de las toneladas-kilómetro movidas por ferrocarril entre los dos países.

La información en ambas figuras anteriores será de utilidad en la identificación y análisis de corredores (por tipo de producto incluso).

Adicionalmente, el modelo permite elaborar planos con los flujos de vehículos, de tonelaje de carga o de costos a través de los elementos de transporte, así como obtener los caminos de costo mínimo desde un centroide específico hacia todos los demás. Todos los resultados anteriores pueden ser generados para la carga agregada o para cada tipo de producto. Asimismo pueden calcularse, entre otros, estimados de las toneladas-kilómetro y de los costos de transporte por tipo de producto. La Tabla 6 muestra los estimados anteriores por modo, por categoría de producto y por sentido. Los costos de transporte en la Tabla 6 son reflejo del flujo transportado, del tipo de producto, del costo de operación del modo empleado, de las cuotas pagadas en autopistas y puentes, así como de los retrasos enfrentados en la frontera y en general en todo el recorrido. Puede observarse que se obtiene un costo total de transporte para el comercio terrestre binacional de 9,800 millones de dólares por año. De éste, aproximadamente 2% corresponde a daño a la infraestructura (carretera y ferroviaria).

Los valores en la Tabla 6 arrojan un costo promedio para el autotransporte de 3.5 centavos de dólar por tonelada-kilómetro (3 centavos de dólar por tonelada-kilómetro para el sentido México-Estados Unidos y 2 para el sentido opuesto) y de 2 centavos de dólar para el transporte por ferrocarril (2.5 centavos de dólar por tonelada-kilómetro para el sentido México-Estados Unidos y 1.5 para el otro sentido).

La división de la suma de las toneladas-kilómetro de carga agregada por autotransporte en ambos sentidos en la Tabla 6 (400,000,000 + 317,636,992) entre el tonelaje semanal asignado (702,877) da una distancia media de recorrido por viaje para este modo de 1,021 km. La operación correspondiente para el ferrocarril ((100,000,000 + 207,236,013)/218,362) da una distancia media de recorrido por viaje ferroviario de 1,407 km.

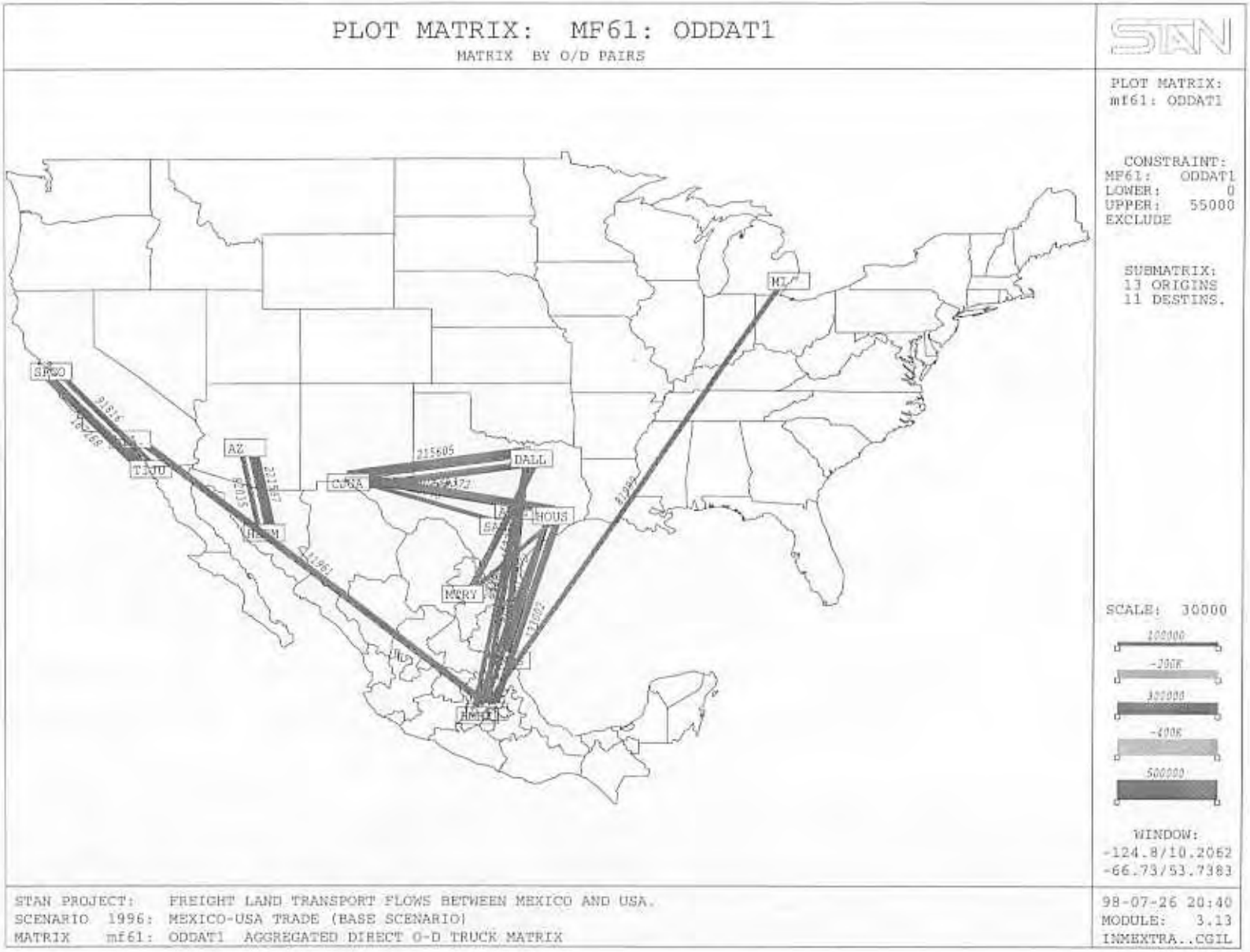

FIGURA 5 21 Pares Directos O-D de Mayor Tonelaje para la Carga Agregada por Autotransporte

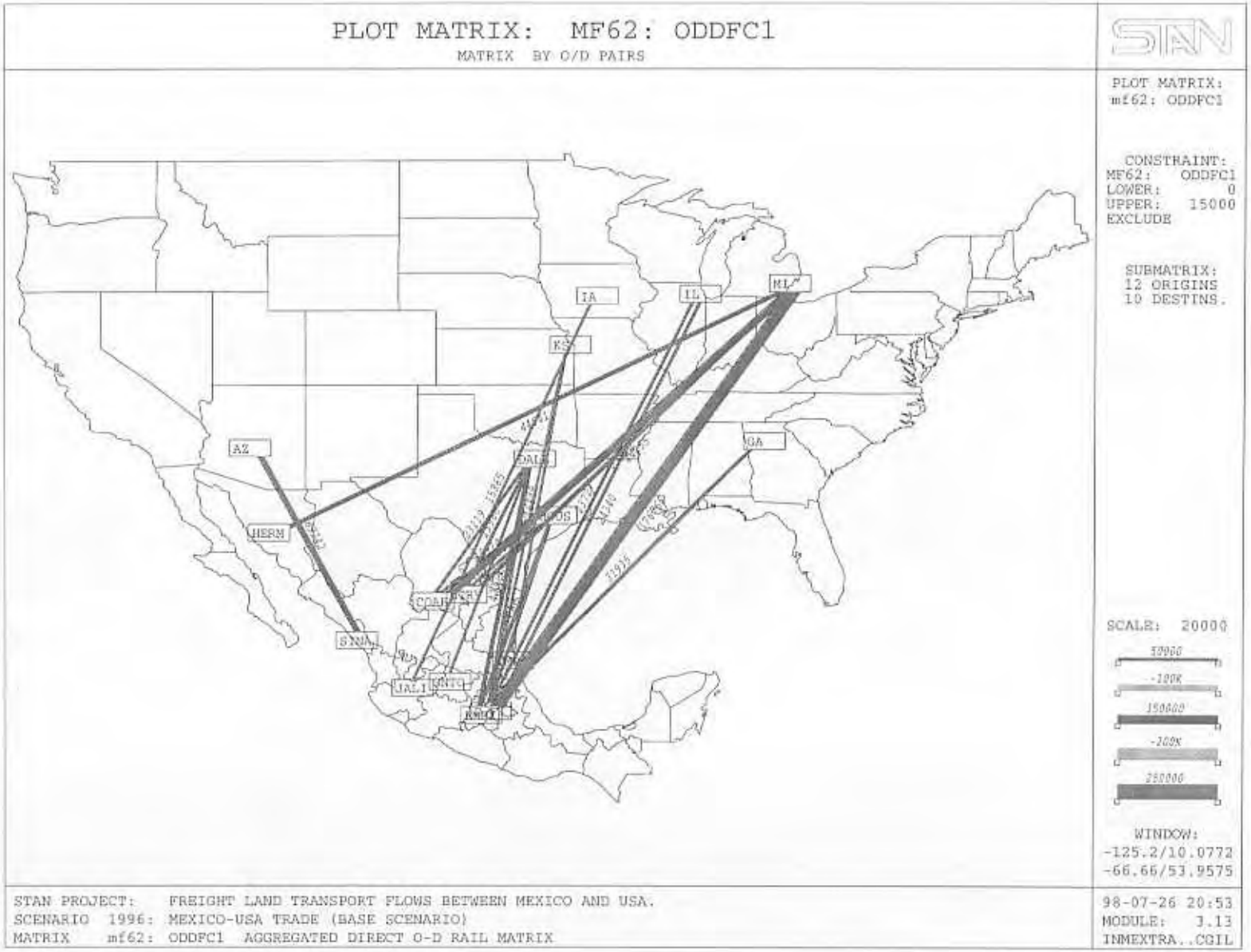

FIGURA 6 24 Pares Directos O-D de Mayor Tonelaje por Ferrocarril

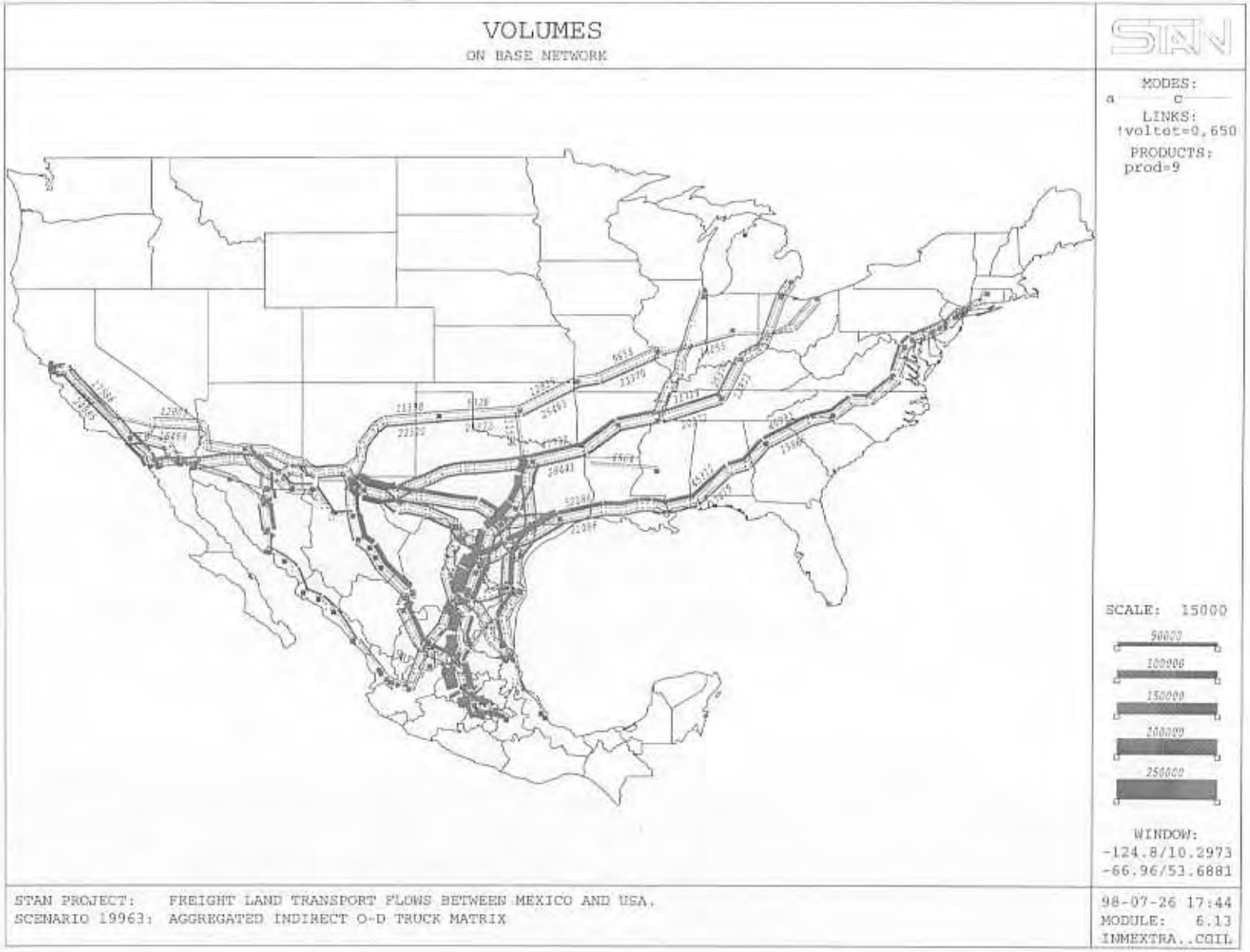

FIGURA 7 Principales Corredores para Transporte Carretero entre México y Estados Unidos

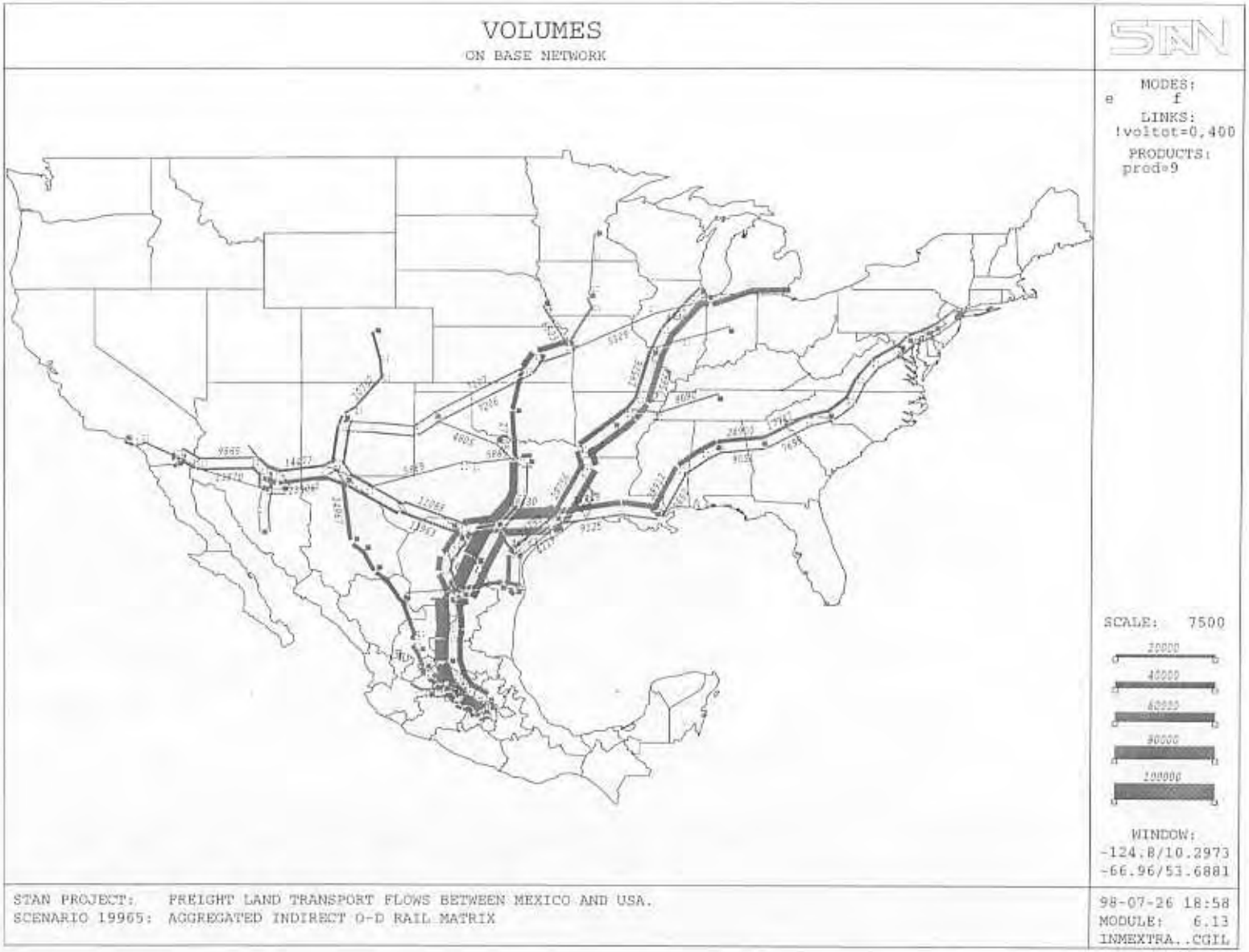

FIGURA 8 Principales Corredores para Ferrocarril entre México y Estados Unidos

Tabla 6 Toneladas-Kilómetro y Costos de Transporte

		MODO							
		AUTOTRANSPORTE				*FERROCARRIL*			
		Ton-km		Costo		Ton-km		Costo	
SENTIDO	PRODUCTO	(ton-km 103/semana)	%	($103/ semana)	%	(ton-km 103/semana)	%	($103/ semana)	%
México - USA	Forestales	25,742	4.0	682	2.8	4,866	2.0	81	1.3
	Agrícolas	136,931	21.0	3,659	15.2	4,970	2.0	75	1.2
	Animales y sus Derivados	6,645	1.0	221	0.9	530	0.2	21	0.3
	Minerales	22,636	3.5	582	2.4	48,934	20.1	704	11.5
	Petróleo y sus Derivados	5,900	0.9	153	0.6	9,819	4.0	153	2.5
	Industriales	437,006	67.1	15,087	62.8	173,982	71.4	4,858	79.3
	Otros Productos	16,781	2.6	618	2.6	522	0.2	4	0.1
	Vacios	0	0.0	3,003	12.5	0	0.0	234	3.8
	Carga Agregada	*651,641*	*100*	*24,006*	*100*	*243,623*	*100*	*6,130*	*100*
USA – México	Forestales	25,755	3.0	671	2.1	58,520	10.1	943	9.2
	Agrícolas	71,761	8.3	1,910	6.0	143,602	24.8	1,980	19.4
	Animales y sus Derivados	17,178	2.0	565	1.8	20,639	3.6	415	4.1
	Minerales	85,996	9.9	2,209	6.9	88,942	15.4	1,259	12.3
	Petróleo y sus Derivados	195,787	22.6	5,168	16.2	156,896	27.1	2,396	23.4
	Industriales	467,227	54.0	16,176	50.6	109,278	18.9	2,720	26.6
	Otros Productos	1,947	0.2	72	0.2	100	0.0	1	0.0
	Vacios	0	0.0	5,214	16.3	0	0.0	512	5
	Carga Agregada	*865,651*	*100*	*31,986*	*100*	*577,978*	*100*	*10,224*	*100*
TOTAL		1,517,292 (64.9%)[a]		55,992 (74.4%)[a]		821,601 (35.1%)[a]		16,354 (24.6%)[a]	

a Porcentaje del total para ambos modos

3.3 Reparto Modal Óptimo

La Tabla 7 presenta los resultados de un análisis de reparto modal realizado a partir de una serie de corridas para ambos modos terrestres, realizadas con el STAN. Este análisis consistió en transferir carga de la matriz O-D agregada del autotransporte a la del ferrocarril (en los pares O-D de más de 300 km en que ambos modos operan), exógenamente al modelo. De esta manera, se generaron las matrices indirectas O-D de ambos modos, correspondientes a los distintos escenarios de reparto modal considerados en la tabla. Estas matrices fueron posteriormente asignadas, por separado, a sus respectivas redes. La Tabla 7 resume los resultados obtenidos de estas corridas. Se muestran, primero para el autotransporte y después para el ferrocarril, el tonelaje de carga representativo de los distintos valores de reparto, el valor promedio ponderado de la saturación de los arcos de ambas redes (por la longitud de los mismos), las toneladas-kilómetro por semana transportadas, así como los costos de transporte correspondientes.

A partir de la tabla anterior es evidente que el costo mínimo total de transporte se genera para un reparto del orden de 40% de la carga terrestre actual para el ferrocarril y 60% para el autotransporte (escenario 3 en la Tabla 7). En relación con la situación existente, lo anterior representa un incremento del orden de 123.1 x 103 toneladas semanales de carga en el ferrocarril (ó 6.4 millones adicionales al año, que con los 15.1 millones actuales hacen un total de 21.5 millones de toneladas).

Destaca también que el reparto actual de toneladas-kilómetro entre ambos modos es de 35.1% para el ferrocarril y 64.9% para el autotransporte y que para la solución óptima dicho reparto resulta ser de 47.2% para el ferrocarril y 52.8% para el autotransporte. El desplazamiento hacia esta situación le generaría al sistema un ahorro del orden de 106 millones de dólares anuales (1.4% del costo total actual).

El mismo resultado óptimo anterior fue obtenido de asignar la suma de las matrices indirectas O-D de ambos modos al sistema multimodal total modelado, permitiendo al programa generar endógenamente la solución de mínimo costo.

Tabla 7 Análisis de Reparto Modal

ESCENARIO	MODO												
	AT						FC						
	Tonelaje (ton 10^3 / semana)	%	Ton-km (ton-km 10^6/semana)	%	Red Nivel de Saturación	Costo (US$ 10^6 /semana)	Tonelaje (ton 10^6 / semana)	%	Ton-km (ton-km 10^6/semana)	%	Red Nivel de Saturación	Costo (US$ 10^3 /semana)	Cost.Total (10^3 / semana)
1	826	80	1,702.2	75.2	0.400	61,024	207	20	560.7	24.8	0.265	13,029	74,054
2 (situación actual)	743	72	1,517.3	64.9	0.356	55,992	290	28	821.6	35.1	0.405	16,354	72,347
3 (situación óptima)	**620**	**60**	**1,276.5**	**52.8**	**0.304**	**47,856**	**413**	**40**	**1,142.9**	**47.2**	**0.555**	**23,479**	**71,335**
4	516	50	1,063.5	42.5	0.252	39,871	516	50	1,439.1	57.5	0.711	32,420	72,291
5	413	40	851.2	33.0	0.200	31,912	620	60	1,730.9	67.0	0.846	45,775	77,687

4 Algunas Perspectivas de Desarrollo del Transporte Ferroviario en México

Esta parte reseña la historia contemporánea del ferrocarril mexicano (de 1940 hasta la fecha). Posteriormente describe la situación actual de este modo de transporte en términos de infraestructura y participación del sector privado en su operación; lo anterior, a raíz de la reciente política de privatización emprendida por el Gobierno Federal para este modo de transporte. Después, describe los resultados de algunos análisis de reparto modal en el transporte terrestre que permiten determinar las situaciones de reparto modal óptimo en el movimiento doméstico e internacional de carga e identificar algunas oportunidades y requerimientos futuros de modernización del ferrocarril mexicano. Finalmente, se presentan algunas conclusiones.

En los últimos años, la mayor contribución del ferrocarril en el transporte en México ha sido en el movimiento de carga. En ese período de tiempo, la participación de este modo en el transporte terrestre doméstico de carga ha sido del orden de 10% en términos de tonelaje (52.1 millones de toneladas anuales) o de 12.4% en términos de tonelaje-kilómetro (36.6 mil millones de toneladas-kilómetro). Los flujos anteriores han sido transportados básicamente através de una infraestructura troncal principal de alrededor de 20 mil kilómetros. Los autores de este trabajo consideran que, en el futuro, este modo deberá jugar un papel más protagónico en el transporte nacional e internacional de México. Inicialmente se reseña la historia contemporánea del ferrocarril mexicano (de 1940 hasta la fecha). Posteriormente se describe la situación actual de este sistema en términos de infraestructura y participación del sector privado en su operación; lo anterior, fundamentalmente a raíz de la reciente política de privatización emprendida por el Gobierno Federal para este modo. Después, se describen los resultados de algunos análisis de reparto modal en el transporte terrestre que permiten determinar las situaciones de reparto modal óptimo en el movimiento doméstico e internacional de carga e identificar los nichos de mercado en los cuales el ferrocarril pudiese ganar una mayor participación. Finalmente se presentan algunas conclusiones.

En este trabajo cuando se haga referencia al transporte terrestre, deberá entenderse que se trata del transporte por ferrocarril y por carretera. Cuando se mencione el término reparto modal óptimo, deberá entenderse que se trata del reparto del transporte terrestre de carga entre ambos modos, que resulta en el

mínimo costo total de transporte. Asimismo, se entenderá por transporte terrestre internacional al correspondiente al comercio internacional entre lugares de México y de Estados Unidos; incluye, por lo mismo, la parte de estos recorridos que se realiza en territorio nacional. Se entenderá por transporte doméstico o nacional al que se realiza en territorio mexicano; incluye, por lo tanto, la parte de los recorridos en territorio nacional de los fletes terrestres del comercio internacional entre México y Estados Unidos.

4.1 Breve Historia

Para el año de 1946 se iniciaba la obra de rehabilitación ferroviaria más importante desde el final de la Revolución Mexicana, 30 años antes; se inauguraron vías anchas y se prolongaron rutas de tal manera que la suma nacional de red ferroviaria llegaba a más de 23 mil kilómetros, cifra que representa casi el 90% de la longitud total actual de la red (1998). Al término de la administración del Presidente Miguel Alemán, el panorama de los ferrocarriles en México era aún más optimista, pues éste era el país latinoamericano que utilizaba sus vías férreas más intensamente; además, contaba con la infraestructura necesaria para industrializarse con la seguridad de lograr el progreso material que antes no pudo alcanzar; sin embargo, aún faltaba unir las penínsulas de Yucatán y Baja California, así como concluir los grandes sistemas pendientes: el ferrocarril Chihuahua-Pacífico y la vía a Acapulco que uniría ambos océanos. Hacia 1950 se concluían los ferrocarriles Sonora-Baja California y del Sureste, y con la adquisición de pequeños sistemas privados fueron constituidas instituciones descentralizadas que conservaron su autonomía en su administración. A finales de los años 70's, la estabilidad económica del país, su paulatina industrialización y la persistente decisión gubernamental de impedir que el ferrocarril se volviese obsoleto y antieconómico, obligaron a invertir tanto en la modernización de equipo como en la capacitación de personal; asimismo, fue necesario promover la eficiencia en la estructura y administración de las empresas, ya todas públicas desde 1970. Cuando ya se tenían más de 24 mil kilómetros de vías, con el fin de simplificar y unificar los sistemas estructurales y administrativos, se fusionan las otras cuatro empresas: Ferrocarril del Pacífico, Ferrocarriles Unidos del Sureste, Ferrocarril Chihuahua-Pacífico y Ferrocarril Sonora-Baja California, en una sola denominada Ferrocarriles Nacionales de México.

A principios de los 80's, nuevamente se anticipaba un futuro progresista para este modo de transporte, sobre todo en el sistema de carga, con el cual las carreteras no podían competir tan favorablemente. Como resultado de esta

política se generaron importantes esquemas gubernamentales de promoción a este modo de transporte, que lo condujeron a que en 1983 atendiese la cifra récord hasta ahora registrada para el ferrocarril de 71.9 millones de toneladas de carga.

En los últimos años el ferrocarril perdió el lugar central que ocupaba en el sector transporte. A pesar de sus considerables avances tecnológicos, globalmente perdió territorio e incluso en algunos países, desapareció casi silenciosamente.

4.2 Situación Actual

4.2.1 Infraestructura

Indudablemente, el ferrocarril ha sido un importante medio de comunicación para el movimiento de mercancías y pasajeros, que ha contribuido a estructurar procesos de expansión industrial y a impulsar el desarrollo regional.

La red ferroviaria mexicana comunica a 30 entidades federativas y enlaza a sus principales ciudades con centros agrícolas, mineros y de desarrollo industrial, así como con los principales puertos y puntos fronterizos. Su longitud es de 26 mil 445 kilómetros, de los cuales 20 mil 445 son de vía principal que comunica a los principales centros económicos del país. De estos últimos, sólo el 40% son de vía moderna (rieles soldados continuos apoyados sobre durmientes de concreto); el 38% son de vía clásica (rieles de 100 b/yd); y el 22% son obsoletos (rieles de bajo calibre).

De acuerdo con la densidad del tráfico, se considera que 11 mil 200 kilómetros constituyen la Red Básica Prioritaria, es decir aquélla por donde circulan los trenes más importantes y que generan la mayor parte de los ingresos. Cabe señalar que los 8 mil 200 kilómetros de vía moderna están incluidos en esta red.

El equipo tractivo de FNM para el año de 1994 estaba formado por 1,700 locomotoras, que representaban una potencia total de 4,311,490 HP, cubriendo así, los servicios de patio, camino-carga, camino-pasajeros y trenes de trabajo. Para el servicio exclusivo de carga, el equipo disponible estaba formado por 21,793 furgones, 13,047 góndolas, 3,268 tolvas, 2,477 plataformas, 1,606 tanques, 687 jaulas, 336 refrigeradores y 789 cabuses.

4.2.2 Privatización

Considerando, entre otras cosas, que las empresas del sector público están obligadas a prestar sus servicios con la calidad, suficiencia y eficiencia que demanda tanto la recuperación y el crecimiento de nuestra economía como la competitividad internacional, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) se ve obligada a formular y conducir programas de expansión y mejoramiento del servicio ferroviario en apoyo a las actividades industriales, comerciales, agropecuarias y del sector servicios.

Como primer paso en la búsqueda de los objetivos planteados, en mayo de 1991 se celebra el Convenio de Concertación para la Modernización del Sistema Ferroviario Mexicano; el cual tiene como base la Ley Orgánica de la Administración Pública, la Ley Orgánica de los Ferrocarriles Nacionales de México y la Ley de Vías Generales de Comunicación.

En este convenio se establece que la SCT coordinará la ejecución del Programa de Modernización del Sistema Ferroviario Nacional, el cual impulsará el mejoramiento en lo referente a operación, comercialización, competitividad y situación financiera de los ferrocarriles; algunas de las políticas planteadas para el cumplimiento de este objetivo son las siguientes:

- Autorizar una política tarifaria que contribuya a acrecentar la competitividad de la economía nacional; ello implica flexibilizar las tarifas atendiendo a factores como tipo de servicio, volumen y clase de carga, etc.

- Construir escapes de carga y descarga de los usuarios para reducir el ciclo de cargadura y de esta manera eficientar el servicio.

- Establecer sistemas modernos de comunicaciones y cómputo que apoyen la programación y operación de los servicios.

- Promover la celebración de convenios con ferrocarriles norteamericanos y canadienses para ampliar el manejo de trenes unitarios entre estos países y México.

- Promover la participación de la iniciativa privada en el financiamiento de los grandes proyectos de infraestructura y equipo.

- Buscar nuevas estrategias comerciales para recuperar tráficos desviados a otros modos; tener mayor penetración en el mercado.

Para dar continuidad al objetivo planteado inicialmente se establece el Programa de Cambio Estructural 1992-1994, cuya estrategia central fue el principio de que la actividad ferroviaria permaneciera en manos del Estado, de modo que FNM conservara como patrimonio la infraestructura de vías y por tanto la responsabilidad de su uso y operación, dando oportunidad de participación privada en lo referente a comercialización y prestación de servicios ferroviarios.

En mayo de 1995, como siguiente paso en el proceso de privatización se constituye la Ley Reglamentaria del Servicio Ferroviario, la cual tiene por objeto regular la construcción, operación, explotación, conservación y mantenimiento de vías férreas, así como el servicio público de transporte ferroviario que en ellas opera y los servicios auxiliares: terminales, talleres de mantenimiento de equipo ferroviario y centros de abasto para la operación de los equipos. En ella se mencionan ya las características de las concesiones y de los permisos que autorizan la participación de los inversionistas privados en las actividades mencionadas. Cabe señalar que esta ley conserva la estrategia central del Programa de Cambio Estructural, dado que considera que la infraestructura y los bienes que se hubieren concesionado, se revertirán a la Nación en buen estado operativo, sin costo alguno; y faculta a la SCT para intervenir en la operación cuando sea necesario. Asimismo, establece que los concesionarios y permisionarios fijarán libremente las tarifas, las cuales deberán permitir condiciones satisfactorias de calidad, seguridad competitividad y permanencia; preservando la competencia efectiva.

4.2.3 Concesiones

El sistema ferroviario mexicano fue concesionado de una manera que intenta maximizar la oportunidad tanto para los flujos que cruzan la frontera como para los flujos domésticos; para ello, éste fue dividido en tres grandes zonas (la del Noreste, la del Pacífico Norte y la del Sureste), más una compañía terminal que sirve al área metropolitana del Distrito Federal (Terminal del Valle de México). De manera interesante, el Gobierno Mexicano procedió de una forma un tanto distinta a lo que aparenta ser útil para los gobiernos que desean actuar rápidamente; es decir, las zonas antes mencionadas fueron transformadas en empresas diferentes con administración separada, listas para la venta pero aún en manos del gobierno y transferidas paulatinamente por medio de licitaciones restringidas, en lugar de otorgar una sola concesión de todo el sistema; procedimiento que facilitó y agilizó la licitación y adjudicación.

La primera concesión otorgada fue la del Noreste, que conecta a México con los Estados Unidos en Nuevo Laredo, adjudicada a un consorcio México-Estadounidense encabezado por la compañía de transporte TFM (Transportación Ferroviaria Mexicana) y la compañía norteamericana Kansas City Southern, en alrededor de 1,400 millones de dólares. Posteriormente, fue otorgada la concesión del Pacífico Norte a un consorcio formado por industriales mexicanos y la Union Pacific Railroad, por alrededor de 520 millones de dólares. Recientemente fue vendida la concesión del ferrocarril del Sureste, al Grupo Tribasa (Grupo Industrial Mexicano), en alrededor de 290 millones de dólares. En un futuro cercano, el gobierno pretende licitar la Terminal del Valle de México junto con una serie de líneas cortas que aparentan tener más valor si operan independientemente en vez de todas ellas agrupadas en una sola empresa.

4.3 Perspectivas

Con el fin de identificar algunas perspectivas de desarrollo futuro para este modo de transporte, primero se presenta un análisis de reparto modal óptimo para el transporte terrestre doméstico de carga y posteriormente el mismo tipo de análisis para el transporte terrestre internacional de carga. Ambos tipos de análisis fueron generados a partir de esfuerzos de modelación de los flujos nacionales e internacionales de carga por las redes carretera y ferroviaria [*32 y 33*]. Los modelos de red desarrollados fueron generados utilizando el programa de cómputo denominado Strategic Transportation Analysis (STAN) [*7*].

4.3.1 Análisis de Reparto Modal en el Transporte Terrestre Doméstico

Para la realización de este análisis, inicialmente tuvieron que modelarse con el STAN, las redes carretera y ferroviaria. En el caso de la red carretera, se modeló la Red Básica Federal, que cuenta con alrededor de 50 mil km actualmente (44 mil km de carreteras libres de un carril por sentido y 6 mil km de autopistas de cuota, generalmente de 4 ó más carriles). En el caso del ferrocarril, se modeló la Red Básica Prioritaria de 17 mil 700 km. La modelación también incluyó las operaciones intermodales entre ambas redes.

A partir de una serie de corridas del modelo generado, la Tabla 8 presenta los resultados obtenidos, primero para el ferrocarril y después para el autotransporte, del tonelaje de carga representativo de distintos valores de

reparto modal. Se presenta, asimismo, el valor promedio ponderado de la saturación de los arcos de ambas redes, por la longitud de los mismos. Se muestran también las toneladas-kilómetro por semana transportadas, así como los costos de transporte correspondientes.

El primer renglón de las secciones del transporte ferroviario y carretero en la Tabla 8 corresponde aproximadamente a la situación de reparto actual. Como ya se indicó, la participación actual del ferrocarril en el transporte terrestre doméstico de carga es del orden de 10% (52.1 millones de toneladas); en términos de toneladas-kilómetro, la participación actual de este modo es de 12.4% (36.6 mil millones de toneladas-kilómetro). Ambos porcentajes anteriores reflejan un desbalance del movimiento doméstico de carga con un marcado predominio del autotransporte. Si se dividen para cada modo las toneladas-kilómetro entre el correspondiente tonelaje de carga en este renglón, se obtiene una distancia promedio por viaje para el autotransporte de 550 km y de 702 km para el ferrocarril.

Como puede observarse en la Tabla 8, el costo mínimo total de transporte se genera para un reparto del orden de 15% del tonelaje terrestre actual para el ferrocarril y 85% para el autotransporte; asimismo, el reparto óptimo de las toneladas-kilómetro es de 18.2% y 81.8%, respectivamente. El desplazamiento hacia esta situación le generaría al país un ahorro del orden de entre 50 y 100 millones de dólares anuales (0.5 a 1.0% del costo total actual). Llama la atención que en la solución óptima, señalada con negrillas en la Tabla 8, el nivel de saturación promedio ponderado de los arcos de ambos modos es muy similar; actualmente la red carretera muestra una saturación promedio bastante mayor (42.7%) que la ferroviaria (27.3%)

Este análisis, que cae dentro del campo de las posibilidades que permite la oferta, muestra que, para las condiciones actuales de la infraestructura ferroviaria, el ferrocarril puede tener un aumento en la captación de carga del orden del 50% del tonelaje que actualmente mueve, lo cual generaría al país un ahorro de entre 50 y 100 millones de dólares anuales, cifra que representa del

Tabla 8 Análisis de Reparto Modal del Transporte Terrestre Doméstico de Carga

MODO FERROVIARIO						
CARGA * TON/SEM	REPARTO (%)	CARGA * TON-KM/SEM	COSTO * DLLS/SEM	COSTO DE DIST. * DLLS/SEM	COSTO TOTAL FC * DLLS/SEM	SATURACION sat f
0.999	10.00	701.440	14.029	5.995	20.024	0.273
1.483	**14.87**	**1,041.221**	**30.448**	**8.899**	**39.347**	**0.399**
1.995	20.00	1,400.425	54.375	11.969	66.345	0.530
2.992	30.00	2,100.672	106.342	17.954	124.296	0.691

MODO CARRETERO					TOTALES AMBOS MODOS	
CARGA * TON/SEM	REPARTO (%)	CARGA * TON-KM/SEM	COSTO * DLLS/SEM	SATURACION sat_c	TONELAJE * TON/SEM	COSTO * DLLS/SEM
8.975	90.00	4,936.460	172.776	0.427	9.975	192.800
8.491	**85.13**	**4,670.250**	**152.077**	**0.397**	**9.975**	**191.420**
7.980	80.00	4,389.007	132.390	0.368	9.975	198.730
6.982	70.00	3,840.072	100.093	0.318	9.974	224.390

*** CANTIDADES EN MILLONES**

NOTA El costo de distribución, 6 dólares por tonelada, es considerado por los costos de recolección y distribución final (acarreo transbordo de la carga) que se generan en este modo (3 dólares por tonelada en cada extremo del recorrido ferroviario).

0.5 al 1% del costo total actual del transporte doméstico terrestre. El análisis también señala que bajo las condiciones actuales de capacidad existente del ferrocarril, éste sólo puede aspirar a un reparto modal del orden de 15% de la carga terrestre, que representa un movimiento anual o límite superior de posibilidades actuales de 77.3 millones de toneladas anuales. Cabe señalar que el sistema ferroviario actual ya llegó a mover un tonelaje anual de este orden de magnitud en 1983 (71.9 millones de toneladas).

4.3.2 Análisis de Reparto Modal en el Transporte Terrestre Internacional

Como ya se mencionó en el punto 3.3., la Tabla 7 presenta los resultados de un análisis de reparto modal en el comercio terrestre internacional entre México y Estados Unidos, similar al antes descrito para el transporte doméstico de carga.

En este caso, se modeló la misma red carretera mexicana que para el caso doméstico, añadiéndose además los 77 mil kilómetros de carreteras interestatales norteamericanas. A su vez, la red ferroviaria modelada fue la misma red ferroviaria mexicana modelada para el caso doméstico, adicionada con los 70 mil kilómetros de red troncal ferroviaria norteamericana.

A partir de la Tabla 7 es evidente que la participación actual del ferrocarril en el transporte terrestre de carga entre México y Estados Unidos es de 28% (15.1 millones de toneladas); en términos de toneladas-kilómetro, la participación actual de este modo aumenta a 35.1% (85.7 mil millones de toneladas-kilómetro). Ambos porcentajes anteriores señalan que el reparto modal es bastante más balanceado en este tipo de transporte que en el transporte terrestre doméstico.

Si se dividen ahora las toneladas-kilómetro para cada modo, entre sus tonelajes correspondientes se obtiene una distancia promedio por viaje para el autotransporte de 2,043 km y de 2,833 km para el ferrocarril.

Como puede observarse de la Tabla 7, el costo mínimo en el caso del transporte terrestre internacional se genera para un reparto modal de 40% del tonelaje para el ferrocarril y 60% para el autotransporte. Asimismo, el reparto óptimo de toneladas-kilómetro entre ambos modos es de 52.8% para el autotransporte y 47.2% para el ferrocarril. El desplazamiento de la situación actual hacia esta situación óptima generaría un ahorro del orden de 106

millones de dólares anuales (1.4% del costo total actual del transporte terrestre internacional).

4.3.3 Algunas Perspectivas

La información contenida en las dos secciones anteriores, más la consideración de que el tonelaje de intercambio comercial entre México y Estados Unidos es alrededor de 10.3% del tonelaje doméstico, pero que el primero ha observado en los últimos años una tasa media de crecimiento anual del orden de 9% en tanto que el mercado interno se ha manifestado relativamente deprimido [*33*], permiten establecer las siguientes perspectivas de desarrollo de mediano plazo para el sistema ferroviario:

- Un crecimiento anual del 9% en la fracción del transporte terrestre doméstico correspondiente al transporte internacional entre México y Estados Unidos, la cual, como ya se indicó, tiene condiciones de reparto modal mucho más balanceadas que el transporte doméstico, irá arrastrando necesariamente a este último a mejores estadíos de reparto modal. Obviamente, lo anterior se dará más rápidamente si el transporte terrestre internacional evoluciona rápidamente hacia su propia situación de reparto modal óptimo ya señalada. Para este último caso, la Tabla 9 muestra que una participación del sistema ferroviario del orden de 15% se daría dentro de 10 años a partir de ahora, en tanto que la capacidad o límite superior de posibilidades actuales de movimiento de carga de este modo (alrededor de 75 millones de toneladas) se alcanzaría entre los años 6 y 7. Puede afirmarse, por lo tanto, que ambas situaciones anteriores se presentarán en el mediano plazo (aún cuando no se tuviese el reparto óptimo en el transporte internacional sino el actual).

- Una consecuencia inmediata de lo expuesto en el punto anterior es que la fracción del sistema ferroviario vinculada al transporte terrestre internacional entre México y Estados Unidos empezará a observar presiones importantes por falta de capacidad en plazos relativamente cercanos. Por esta razón, las primeras necesidades de modernización y

Tabla 9 Efecto del Comercio Internacional en el Reparto Modal Doméstico Terrestre

AÑOS	COMERCIO INTERNACIONAL				COMERCIO INTERNO		TRANSPORTE DOMÉSTICO			
	Ferrocarril		Autotransporte		Ferrocarril	Autotransporte	Ferrocarril		Autotransporte	
	(Ton)	(%)	(Ton)	(%)	(Ton)	(Ton)	(Ton)	(%)	(Ton)	(%)
0 (Situación Actual)	15,1	28,1	38,7	71,9	37	429,3	52,1	10,0	468,0	90,0
1	19,9	34,0	38,7	66,0	37	429,3	56,9	10,8	468,0	89,2
2	25,2	39,5	38,7	60,5	37	429,3	62,2	11,7	468,0	88,3
3	27,9	40,0	41,8	60,0	37	429,3	64,9	12,1	471,1	87,9
4	30,4	40,0	45,6	60,0	37	429,3	67,4	12,4	474,9	87,6
5	33,1	40,0	49,7	60,0	37	429,3	70,1	12,8	479,0	87,2
6	36,1	40,0	54,1	60,0	37	429,3	73,1	13,1	483,4	86,9
7	39,3	40,0	59,0	60,0	37	429,3	76,3	13,5	488,3	86,5
8	42,9	40,0	64,3	60,0	37	429,3	79,9	13,9	493,6	86,1
9	46,7	40,0	70,1	60,0	37	429,3	83,7	14,4	499,4	85,6
10	51,0	40,0	76,4	60,0	37	429,3	88,0	14,8	505,7	85,2
11	55,6	40,0	83,3	60,0	37	429,3	92,6	15,3	512,62	84,7

ampliación de la capacidad del sistema ferroviario se generarán precisamente en esta fracción del mismo.

- Lo anterior de ninguna manera significa que el ferrocarril deba desatender las necesidades de mejoramiento de los servicios y la infraestructura para el mercado doméstico, en el cual se estima que también tiene muy importantes nichos de mercado. Asimismo debe mencionarse que las mejoras que se realicen en la fracción del sistema ferroviario vinculada al transporte terrestre internacional entre México y Estados Unidos, también producirán importantes beneficios al transporte de los productos del mercado interno.

- Se considera que el ferrocarril tiene una oportunidad muy especial de crecimiento en participación en el transporte internacional, ya que las distancias de recorrido asociadas con este último son generalmente considerables (como ya se hizo evidente anteriormente).

5 Conclusiones y Recomendaciones

Este trabajo cuantifica algunos valores que caracterizan la operación de los modos terrestres en el transporte de carga entre México y Estados Unidos. Las tendencias de crecimiento de los volúmenes de carga entre los dos países así como los resultados de reparto óptimo obtenidos, son indicativos de un notable potencial de desarrollo de la demanda del transporte ferroviario en este tipo de comercio. A la materialización de lo anterior seguramente contribuirá el éxito que puedan tener las políticas ferroviarias dirigidas a lograr la máxima satisfacción del cliente así como a atraer todas las posibilidades que brinde la demanda, independientemente de longitudes de viaje y tipos de producto.

Se han presentado argumentos objetivos para fundamentar que el ferrocarril puede efectuar una aportación relevante al equilibrio del sistema de transporte entre México y Estados Unidos. Dentro de las ventajas reconocidas al transporte ferroviario sobre el autotransporte, algunas no consideradas en este trabajo (externas), se cuentan su menor consumo energético por tonelada-kilómetro, inferior ocupación espacial, menor impacto ambiental y mayor seguridad en términos de accidentes.

En este trabajo se han realizado algunos análisis que respaldan el argumento de que en el futuro próximo los mayores incrementos de la demanda en el sistema ferroviario, y por lo tanto las mayores presiones en la infraestructura y los servicios, se darán en la porción del sistema vinculada al comercio internacional con Estados Unidos (y Canadá). Por su competitividad natural en largas distancias, el ferrocarril tiene una oportunidad especial de participación en este tipo de comercio. Lo anterior de ninguna manera significa que el ferrocarril deba desatender las necesidades de mejoramiento de los servicios y la infraestructura para el mercado doméstico, en el cual se estima que también tiene muy importantes nichos de mercado. Asimismo debe mencionarse que las mejoras que se realicen en la fracción del sistema ferroviario vinculada al transporte terrestre internacional entre México y Estados Unidos, también producirán importantes beneficios al transporte de los productos del mercado interno.

Algunas medidas que podrían incrementar la captación general del ferrocarril son:

- Implantar una política de búsqueda vehemente de la máxima satisfacción del cliente. A lo anterior contribuirían importantemente la aplicación de tarifas más competitivas y el aumento de los estándares de calidad en rubros como la

confiabilidad del servicio, la calidad de la información, la seguridad, las frecuencias, etc.

- Disminuir el tiempo de manejo local y permanencia de la carga en las terminales (tiempos de recolección y distribución local, de clasificación y despacho de la carga).

- Implementar políticas de planeación y organización en el aspecto operativo-administrativo, con el fin de elevar el grado de competitividad y agresividad comercial del ferrocarril.

- Aplicar de manera efectiva las regulaciones del autotransporte (de protección a la infraestructura, de seguridad, de velocidad, de consumo energético, ambientales, etc.). Otros estudios han demostrado que aplicar efectivamente el Reglamento de Pesos y Dimensiones de Vehículos de Carga produciría un incremento en las tarifas del autotransporte del orden de 15% (Referencia 4), ya que un 20% de los vehículos de carga que transitan por las carreteras del país lo hacen sobrecargados (Referencia 5). A su vez, este aumento de las tarifas del autotransporte podría incrementar en 18.2% la captación de la demanda terrestre de carga por parte del ferrocarril (Referencia 6).

- El ferrocarril deberá realizar un gran esfuerzo por mejorar su imagen.

Se considera que con la privatización de los ferrocarriles existe una importante posibilidad de que las medidas anteriores puedan ser implementadas.

En la recolección y carga de las mercancías hacia las terminales ferroviarias, así como en el proceso inverso, es donde residen las principales dificultades del ferrocarril para configurar una oferta global de calidad. El configurar una red de servicios (trenes expresos de mercancías) adaptada a las necesidades de la demanda, con características tales como menores tarifas que las del autotransporte y un servicio integral de recolección y entrega a domicilio, produciría un mejoramiento importante en la captación ferroviaria. A su vez, permitiría a este modo ser competitivo ante el autotransporte, no sólo en distancias largas sino también en medianas y cortas.

Debe tenerse en cuenta la necesidad de llevar a cabo una política de apoyo gubernamental (p. ej. a través de subsidios) en algunos servicios que no tengan viabilidad económica y que sean indispensables para lograr un desarrollo regional más equilibrado.

Es también necesario que se defina el papel del transporte ferroviario en el país en el futuro de mediano y largo plazo. Lo anterior será esencial para crear el

ambiente de certidumbre que es necesario para que puedan darse las inversiones que el sistema necesita para su modernización y desarrollo, ya que éstas, por el elevado monto que representan, sólo son recuperables en el largo plazo. Esta última característica generalmente actúa como un desincentivo para la inversión privada en este modo.

6 Referencias Bibliográficas

1. Sistema de Información Comercial Mexicano. Área de Estadística de Comercio Exterior, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, México, 1998.

2. Sistema Armonizado de Designación y Codificación de Mercancías (SADCM). Foro Internacional de Codificación del Consejo Internacional de Cooperación, Bruselas, Bélgica, 1973.

3. Flujos de Carga Transfronterizos (Trans-Border Surface Trade Flow Data). Oficina de Estadísticas del Transporte, Departamento de Transporte de Estados Unidos, Washington, D.C., 1998.

4. Estudio Binacional de Planeación y Programación del Transporte Transfronterizo. Barton-Aschman Associates, Inc. and La Empresa, S. de R. L., México, D.F., 1996.

5. Flujos de Mercancías Registrados en Aduanas. Area de Estadística de Comercio Exterior, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, México, 1998.

6. Estadísticas de Importación y Exportación. Banco de México, México D F, 1996.

7. Rico, A., A. Mendoza, J. L. Gutiérrez and E. Mayoral. A Mexican Field Study to Obtain Basic Information on Truck Transport. Artículo presentado en la 76th Reunión Anual del Transportation Research Board (TRB) y aceptado para publicación en el reporte del TRB, Washington, D.C., USA, 1997.

8. Estadísticas de Carga Clasificadas por Artículo y Estaciones Remitentes y Receptoras (Informe E-2). Ferrocarriles Nacionales de México (FNM), México D F, 1996.

9. INCOTERMS. Centro de Comercio Internacional, UNCTAD-GATT (1988).

10. Strategic Transportation ANalysis (STAN). INRO Consultants Inc., Montreal, Canada, 1995.

11. Guélat, J., M. Florian and T. G. Crainic. A Multimode Multiproduct Network Assignment Model for Strategic Planning of Freight Flows. Transportation Science 24(1), 25-39, 1990.

12. Special Report 209: Highway Capacity Manual. TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1985.

13. Aguerrebere, R. y F. Cepeda. Elementos de Proyecto y Costos de Operación en Carreteras. Publicación Técnica No. 20, Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, México, 1991.

14. Costos y Tarifas del Transporte Ferroviario de Carga. Ferrocarriles Nacionales de México (FNM), México D F, 1996.

15. Railroad and Intermodal Operating Information. Union Pacific Railroad, México D F, 1996.

16. Costo de Transporte Ferrocarril-Autotransporte. Dirección General de Tarifas, Transporte Ferroviario y Multimodal, Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), México D.F., 1996.

17. Petersen, E. R. Over-the-Road Transit Time for a Single Track Railway. Transportation Science No. 8, pp. 65-79, 1974.

18. Inventario Nacional de Infraestructura del Transporte. Instituto Mexicano del Transporte, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México D.F., 1996.

19. Datos Viales 1996. Dirección General de Servicios Técnicos, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México D.F., 1996.

20. Cartas Topográficas. Dirección General de Geografía, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), Aguascalientes, México, 1996.

21. National Transportation Atlas Data Bases: 1995. Bureau of Transportation Statistics, U.S. Department of Transportation, Washington D.C., 1996.

22. 1990 Census Transportation Planning Package. Bureau of Transportation Statistics, U.S. Department of Transportation, Washington D.C., 1990.

23. National Highway Planning Network. Version 2. Federal Highway Administration, Washington D.C., 1994.

24. Truck Inventory and Use Surveys (TIUS). Bureau of the Census, U.S. Department of Commerce, Washington D.C., 1992.

25. 1990 Census TIGER. Bureau of the Census, U.S. Department of Commerce, Washington D.C., 1990.

26. Traffic Information on the Primary Road System of the United States. University of Manitoba Transport Information Group (UMTIG), 1995.

27. Horarios. Ferrocarriles Nacionales de México (FNM), México D F, 1996.

28. Estadísticas Divisionales de Operación (Informe ET-1). Ferrocarriles Nacionales de México (FNM), México D F, 1996.

29. Catálogo de Locomotoras y Autovías. Ferrocarriles Nacionales de México (FNM), México D F, 1996.

30. Croquis de Trenes de Carga, Mixtos y de Pasajeros . Ferrocarriles Nacionales de México (FNM), México D F, 1996.

31. *Estudios de Cruces Fronterizos.* Cal y Mayor y Asociados, S.C., para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), México D F, 1995.

32. Gil A. Claudia. "Modelación de los Flujos Ferroviarios Nacionales de Carga". Tesis de Maestría en Vias Terrestres, Universidad Autónoma de Chihuahua; Querétaro, Qro., 1997.

33. Mendoza D. Alberto, C. Gil y J. M. Trejo. " A Multiproduct Analysis through Networks of the Freight Land Transport between Mexico and the USA". Transportation Research Record No. 1653, Transportation Research Board; Washington, D.C., 1998.