

ISSN 0188-7297



Certificado en ISO 9001:2000
Laboratorios acreditados por EMA

SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES



"IMT, 20 años generando conocimientos y tecnologías para el desarrollo del transporte en México"

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA MODELACIÓN DEL AUTOTRANSPORTE: CARGA VS PASAJEROS

Eric Moreno Quintero

Publicación Técnica No 300
Sanfandila, Qro 2006

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

**Análisis comparativo de la modelación del
autotransporte: carga vs pasajeros**

**Publicación Técnica No. 300
Sanfandila, Qro. 2006**

Este trabajo fue realizado en la Coordinación de Integración del Instituto Mexicano del Transporte (CIT) por el Dr. Eric Moreno Quintero. La investigación surgió originalmente como aportación a la línea de trabajo de modelación del transporte dentro de la CIT, y posteriormente atrajo la atención de la Dirección General de Planeación (DGP) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, durante las reuniones de colaboración del IMT con esta dependencia. El trabajo se desarrolló en el proyecto TE-03/06 para la DGP, habiéndose terminado y entregado en diciembre de 2006. Se agradece la participación del Ing. Roberto Aguerrebere quien hizo la revisión del documento, y aportó útiles comentarios para el desarrollo del trabajo.

Contenido

Resumen	iii
Abstract	v
Resumen ejecutivo	vii
1. Introducción	1
2. La modelación del transporte	5
2.1 Estudios de transporte enfocados a carga	5
2.2 Una panorámica de los modelos de carga	7
2.3 El enfoque sistémico	15
3. El modelo de las cuatro etapas	23
3.1 El antecedente de CATS	23
3.2 Diferencias entre el flujo de carga y el de pasajeros	26
3.3 Aplicaciones al transporte de carga	29
3.4 El problema de los datos para los modelos de carga	35
4. Desarrollos recientes en la planeación del transporte de carga	41
4.1 La planeación del transporte de carga norteamericano	41
4.2 La experiencia europea reciente en el transporte de carga	44
5. Conclusiones y recomendaciones	51
Bibliografía	57

Resumen

La planeación del transporte, al buscar medidas que mejoren el desempeño del transporte, necesariamente usa representaciones simplificadas de la compleja realidad que analiza. Estas representaciones simplificadas son los *modelos* del sistema de transporte, que suelen ser construcciones de tipo conceptual o de carácter lógico-matemático que incluyen los aspectos esenciales del sistema de transporte, y que permiten estudiar el comportamiento esperado del sistema al considerar diversas políticas para administrarlo.

La primera referencia moderna de un esfuerzo de modelación explícito para planificar el transporte, parece ser el Modelo de las Cuatro Etapas (*the Four-Step Model*) originado en los Estados Unidos a fines de la década de los años 1950, y conocido en dos referencias que hoy son clásicas: el Estudio de Transporte del Área de Detroit (*Detroit Area Transportation Study, DATS*), y el Estudio de Transporte del Área de Chicago (*Chicago Area Transportation Study, CATS*).

Estos estudios pioneros, así como mucho de la modelación en los años 1970 y 1980, atendieron mayoritariamente al transporte de pasajeros; debido en parte, a la importancia que la congestión vial y la accidentalidad tuvieron en las agendas políticas de los países desarrollados. De estos trabajos surgieron medidas, como las políticas del uso racional del automóvil; el fomento del transporte público; el uso de combustibles alternativos, el uso de carriles exclusivos para autobuses, y otras más, que han permitido aminorar los impactos del transporte.

En el autotransporte de carga, sin embargo, no hubo un desarrollo igual. Si bien se han adaptado modelos para transporte de pasajeros al caso de la carga con algún éxito, varios aspectos del modelado de flujos de carga requieren un tratamiento distinto. El autotransporte de carga tiene rasgos que no existen en el caso del de pasajeros, como por ejemplo, los múltiples actores que deciden los flujos, las necesidades de apoyo en las terminales de carga, o los factores que determinan sus costos de operación. La obtención de datos en particular es más difícil, pues en el transporte de carga, mucha información tiene valor estratégico o comercial para el transportista, y de manera natural se considera de carácter confidencial.

Tales características del movimiento de carga plantean el problema de diseñar una modelación adecuada de esta actividad, para que las representaciones de los sistemas de transporte de carga resulten aplicables en la planeación.

Este trabajo revisa los antecedentes de la modelación del autotransporte tanto para pasajeros como para carga, y analiza las diferencias básicas entre ambos para finalmente comparar los aspectos metodológicos relevantes, y así abordar la modelación del autotransporte de carga con mejores posibilidades de lograr representaciones adecuadas, que sustenten pronósticos y estimaciones razonables y útiles del comportamiento de los flujos, y sus impactos en la sociedad.

Abstract

Transport planning, in the search of measures to improve transport performance, has to use simplified representations of the complex reality under analysis. These simplified representations are the *models* of the transport system, usually presented as conceptual or logical-mathematical constructions that include the essentials of the transport system and allow the study of the expected behaviour of the system under alternative policies to apply.

The first modern reference of an explicit modelling effort to support transport planning seems to be the *Four Step Model*, originated in the United States by the end of the 1950s, and disseminated in two references nowadays classic: the *Detroit Area Transportation Study, DATS*, and the *Chicago Area Transportation Study, CATS*.

These seminal studies, as well as much of the modelling done during the 1970s and 1980s, were focused mainly to passenger transportation, due in part to the high priority that congestion and road accidents had in the political scenarios of the developed countries. From these works raised measures as the policies for the rational use of the car, the fostering of the public transport, the search for alternative fuels, the use of bus-dedicated lanes and more, that have contributed to lessen the impacts of the transport system.

Road freight transport, however, had no similar development. Even if some passenger transportation models have been adapted to the case of freight movement with some degree of success, there exist some features of freight flows not shared with passenger movements, as for example, the multiplicity of agents deciding on the flows, the support needs on terminals or the cost factors in the operations. Data collection in particular is quite difficult, because much of the freight information has a strategic or commercial value to transport operators, and naturally is seen as confidential.

These features of freight transport pose the need of a proper modelling of this activity in order to have sound representations of the freight transport systems to base the tasks of transport planning.

This work reviews the background of road transport modelling both in passengers and in freight, analysing the basic differences among them, to finally compare the relevant methodological aspects as to address the modelling of road freight transport with enhanced possibilities to get appropriate representations of the freight transport systems and so generate more accurate forecasts and reasonable estimates of the freight flows and their impacts in the society.

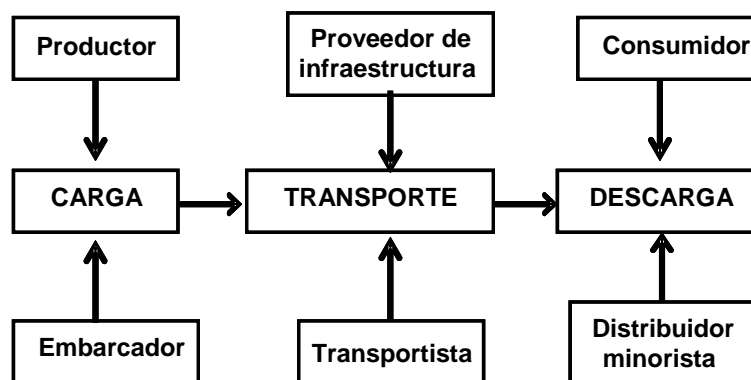
Resumen ejecutivo

La planeación del transporte, en su examen del potencial que diversas acciones pueden tener para orientar el sistema de transporte en una dirección deseada, toma en cuenta diferentes aspectos económicos, técnicos, geográficos, y otros relacionados con la situación de interés. Al hacer esto, el planificador necesariamente usa representaciones simplificadas de la realidad compleja que está analizando, y de esta manera empieza a construir *modelos* de la situación estudiada.

Entre los modelos usados en la planeación del transporte, los de tipo conceptual como las cadenas causa–efecto, o los diagramas sistémicos de bloques con flujos diversos entre ellos, y los modelos lógico–matemáticos han sido los más comunes; es este tipo de modelos el que se revisa en este trabajo.

Luego de la Introducción en el Capítulo 1, en el Capítulo 2 se aborda la cuestión de la modelación del transporte, comenzando con la observación de que en general, la literatura sobre transporte de pasajeros es mucho más abundante que la del transporte de carga, lo que refleja la relativa poca experiencia que internacionalmente se tiene en este tema.

Como primer rasgo que distingue al transporte de carga, se observa la multiplicidad de actores que determinan los flujos, como se observa en la secuencia básica de carga–transporte–descarga del siguiente diagrama.



Enseguida se muestra una panorámica de modelos de carga encontrados en la literatura, con un enfoque económico y/o de planeación, y que han usado representaciones econométricas o de redes de flujo del sistema de transporte, así como distintos criterios de equilibrio. Estos ejemplos en general, se han construido para resolver los siguientes problemas:

- El reparto del tráfico entre modos de transporte (modelos simples)
- La elección del modo de transporte de carga:
 - a) Bajo un esquema de maximizar la utilidad

- b) Bajo el esquema de maximizar el beneficio de la empresa, respetando su programa de producción-inventario
- La demanda derivada de los servicios de transporte a través de la función de costos de la empresa, y condiciones optimales de primer orden adecuadas (basándose en el lema de Shephard que se usa en microeconomía).
- El concepto de equilibrio:
 - a) Como equilibrio oferta-demanda que determina los orígenes y los destinos para la carga
 - b) Como equilibrio espacial de precios que determina los flujos de carga
 - c) Como equilibrio espacial en una red, suponiendo los principios de optimalidad de Wardrop (ya sea equilibrio del usuario o equilibrio del sistema)

Continuando con el análisis, se presenta un enfoque de sistemas para el transporte de carga, tratando de identificar los actores y componentes principales, así como los parámetros que resultan relevantes; de manera que en las tareas de modelación se puedan representar las interacciones de estos actores entre sí y con los elementos físicos involucrados en el movimiento carretero de carga, a fin de buscar medidas de control y de mejora del desempeño del sistema de transporte de carga.

Al finalizar el Capítulo 2, se hace la observación de cómo la presencia de múltiples actores en la generación de movimientos de carga, plantea el problema de la búsqueda simultánea de objetivos distintos, y a veces contradictorios; para lo cual se indican posibles herramientas matemáticas adecuadas para situaciones de conflicto, como son la programación de metas; la teoría de juegos; la optimización multicriterio; y la programación binivel.

En el Capítulo 3 se revisa el origen del clásico modelo de las cuatro etapas: generación, distribución, reparto modal y asignación, derivado del Estudio de Transporte del Área de Chicago (Chicago Area Transportation Study, CATS) de 1955, y que fue el primer estudio integral de transporte que consideró el uso del suelo y los aspectos socioeconómicos del transporte para conocer sus alternativas regionales.

Se exploran las adaptaciones básicas del modelo de las cuatro etapas al movimiento de carga, y se muestran las diferencias más significativas que hay entre los flujos de carga y los de pasajeros, para identificar aspectos relevantes para la modelación.

Luego de esto se analizan detalles de las aplicaciones al transporte de carga, como son los factores que intervienen en la generación y atracción de flujos de carga, algunas posibilidades de organizar la primera etapa de modelación (generación de viajes) y su secuencia lógica con el resto de las etapas. Para la aplicación de este enfoque de modelado a situaciones reales, se incluye una lista

de cinco familias temáticas de tipos similares de problemas que pueden orientar al planificador en su interés particular de transporte; estas familias temáticas son:

1. Mejoramiento de la capacidad del sistema de transporte
2. Conservación del sistema
3. Operación del sistema
4. Gestión de la demanda
5. Políticas de transporte

En su última parte, el Capítulo 3 revisa el problema de la obtención de datos para el modelado del transporte de carga, inevitablemente ligado a la confidencialidad y al secreto comercial de los transportistas, y muestra un esquema reciente que ha propuesto el Transportation Research Board norteamericano y que tiene muchas semejanzas con la situación mexicana, pudiendo ser una guía de inicio para la organización de un sistema nacional de información en el sistema de carga.

En el Capítulo 4 se resumen las experiencias de la planeación del transporte de carga tanto en los Estados Unidos como en Europa, destacando las iniciativas recientes de los norteamericanos; por ejemplo, el Manual de Carga de Respuesta Rápida (Quick Response Freight Manual), y el Marco de Análisis de Carga (Freight Analysis Framework, FAF), así como el enfoque europeo con nuevas líneas de modelado, que incluyen la interrelación entre economía y flujos de carga, las redes de base logística, y el uso de hiper-redes que representan flujos multimodales y multiusuarios.

Para terminar, en el Capítulo 5 se resumen las conclusiones y recomendaciones de este trabajo.

1 Introducción

La planeación del transporte como se conoce actualmente siguió al desarrollo de la planeación urbana en Europa y en los Estados Unidos durante el siglo XX. La planeación en sí puede considerarse como un proceso que examina el potencial de acciones futuras para orientar una situación actual o un sistema en la dirección deseada y así lograr metas establecidas, evitar problemas, o ambas cosas. En el caso del transporte, ya que un objetivo básico de éste es dar acceso eficiente a las actividades que requiere la población (trabajo, escuela, aprovisionamiento, entretenimiento, etc.), la planeación del transporte tiene el propósito general de satisfacer esas necesidades de movilidad, del mejor modo posible.

En un enfoque sistémico, el transporte se ve como un sistema tecnológico y organizacional que mueve pasajeros o carga, para equilibrar el natural desfase espacial y temporal que se da entre los puntos de oferta y los de demanda. Este desfase ocurre a nivel urbano, regional, nacional, internacional o global (Garrido, 2001). La componente tecnológica del sistema incluye a los equipos de transporte y a la infraestructura utilizada; por su parte, la componente organizacional abarca la forma de trabajar de los operadores y usuarios, así como la administración de la infraestructura y la reglamentación aplicable al transporte administrada por las autoridades competentes.

Para resolver los problemas de transporte del mundo real, el planificador del transporte considera diversos aspectos económicos, técnicos, geográficos y otros relacionados con la circunstancia de interés, viéndose obligado a usar representaciones simplificadas de esa compleja realidad. Estas representaciones simplificadas son los modelos; y para que éstos sean útiles es deseable que se trate de construcciones manejables (p ej, por el número y complejidad de las ecuaciones y supuestos usados), para las que existan soluciones eficientes (esto es, en términos del cómputo y tiempo necesarios), y que a la vez conserven lo esencial de la realidad representada (Papacostas y Prevedourous, 1993).

Así, un modelo resulta ser una representación simplificada hecha específicamente para una realidad y problemática dadas. Como ejemplos están los modelos físicos: maquetas, dibujos a escala, etc; los modelos conceptuales como las cadenas de causa – efecto, o diagramas de bloques con flujos diversos entre ellos; y los modelos lógico – matemáticos, con entidades cuantitativas y ecuaciones que describen sus relaciones. Es este último tipo de modelo, el que más frecuentemente se encuentra en las tareas de planeación del transporte y en el que se centrará la atención en este trabajo.

Aunque en la literatura de las matemáticas aplicadas hay modelos diversos relacionados con el transporte (p ej, el modelo de transporte y transbordo, o el modelo de asignación, referencias típicas de investigación de operaciones), la primera referencia contemporánea de un esfuerzo de modelación orientado a la planeación del transporte, es el modelo de las cuatro etapas (the Four-Step Model), implementado por primera vez en los Estados Unidos en los años 1950

para el Estudio de Transporte del Área de Detroit (Detroit Area Transportation Study, DATS) y para el Estudio de Transporte del Área de Chicago (Chicago Area Transportation Study, CATS).

Ambos estudios se centraron en el autotransporte; aunque la metodología se ha extendido a otros modos, como el transporte aéreo o el ferroviario. Estos modelos trataron por primera vez de modo combinado, proyecciones del uso del suelo y características socioeconómicas, con modelos de demanda de transporte para analizar las alternativas de éste, a largo plazo. La metodología resultante de planeación del transporte urbano se aplicó luego a diversas ciudades norteamericanas, y también se difundió a otras áreas urbanas en el mundo, a través de diversas empresas consultoras.

Las prioridades de la planeación del transporte, sin embargo, no han cubierto totalmente las necesidades de la actividad del transporte. Ya que el congestionamiento urbano y los accidentes viales han sido dos de los principales problemas de interés para la ciudadanía y para los políticos en la mayor parte del mundo industrializado, el esfuerzo de planeación y modelación se ha concentrado en el movimiento de pasajeros.

De estos esfuerzos de modelación en el autotransporte de pasajeros han surgido medidas, tales como las políticas de racionalidad en el uso del automóvil; el fomento en el uso del transporte público; la búsqueda de combustibles alternativos, el diseño de carriles de alta ocupación, y carriles exclusivos para transporte público; y otras más con diversos grados de éxito en el alivio de los impactos del transporte. En particular, la modelación de la manera en que los pasajeros eligen el modo de transporte (automóvil privado, autobús, metro, etc) se ha fortalecido con la teoría de elecciones discretas, basada en los trabajos teóricos del premio Nobel de economía 2000, Daniel Mc Fadden, lo que ha mejorado las proyecciones de flujos de pasajeros.

En el autotransporte de carga, por otra parte, no hay un desarrollo semejante. Aunque los modelos para flujos de pasajeros se han adaptado al caso de carga con relativo éxito, varios aspectos del modelado de esta actividad exigen esfuerzos adicionales. El autotransporte de carga tiene características propias que no existen en el caso de pasajeros, como por ejemplo la multiplicidad de actores que deciden los movimientos, los requerimientos de apoyo en terminales de carga/descarga, o los factores que intervienen en la determinación de sus costos de operación. Además, en el movimiento de carga, mucha información que en principio podría obtenerse por encuestas o cuestionarios, resulta de valor estratégico o comercial para el transportista; y por tanto, es información que no se obtiene fácilmente.

Estas características propias del movimiento de carga plantean el problema de diseñar un tratamiento adecuado de la modelación de esta actividad, para que las representaciones logradas de los sistemas de transporte de carga resulten aplicables en la planeación.

Junto con lo anterior, la globalización de los mercados surgida en la segunda mitad del siglo XX, ha evidenciado la necesidad de profundizar en estudios de

transporte de carga, debido a la intensa competencia resultante y a los requerimientos ambientales y de política energética de los últimos años, que exigen métodos adecuados de pronóstico y control del autotransporte de carga para reducir los impactos de esta actividad.

En este trabajo se revisan los antecedentes de la modelación del autotransporte, como un elemento del proceso de planeación tanto en el flujo de pasajeros como en el de carga, y se analizan las diferencias básicas entre ambos para finalmente hacer una comparación de los aspectos metodológicos relevantes a fin de abordar la modelación del autotransporte de carga con mayores posibilidades de lograr representaciones adecuadas, que sustenten pronósticos y estimaciones razonables y útiles en el comportamiento de los flujos.

2 La modelación del transporte

Aceptando la definición de “transportar” como la acción de “llevar a alguien o algo de un lugar a otro” (Diccionario de la Real Academia Española, 2006), enseguida ubica esta actividad en dos categorías: movimiento de pasajeros, y de carga.

Esta definición, aunque clara, no muestra todos los matices que una situación de transporte puede tener. Si el flujo es de pasajeros, podría ser urbano o interurbano, a distintas horas del día y con diferentes propósitos, o con diversidad de frecuencias o alternativas para realizarlo. Si es de carga, puede ser de interés el tipo de producto movido, el vehículo empleado, los requerimientos de entrega, o las maniobras de carga y descarga implícitas. Adicionalmente, el transporte inevitablemente genera impactos no deseados, como el congestionamiento; los accidentes; la contaminación ambiental; el ruido, y el deterioro de la infraestructura; hecho que no salta a la vista en la definición del verbo transportar.

Los impactos del autotransporte surgieron junto con el auge del automóvil en el inicio del siglo XX, y se han mantenido las sociedades industrializadas del mundo pese al desarrollo tecnológico en motores, combustibles y control de tráfico, y de la aplicación de políticas de racionalización en el uso del automóvil.

En los países en desarrollo ocurren los mismos impactos del autotransporte que en los industrializados; los cuales, agregados a los problemas crónicos de infraestructura insuficiente, escasez de recursos e información para la planeación, bajos ingresos de la población y urbanización acelerada, plantean a los planificadores del transporte un gran desafío (Ortúzar y Willumsen, 1994, p.1).

Al resolver problemas reales de transporte, la consideración de factores económicos, geográficos, sociales, tecnológicos y otros que influyen en esta actividad llevan a emplear simplificaciones adecuadas de la situación estudiada; estas simplificaciones son el primer paso de la modelación. Al simplificar la realidad, es deseable que la representación del sistema de interés sea manejable en tamaño, con ecuaciones solubles por métodos de cálculo eficientes realizables en equipos de cómputo estándar, para que el modelo resultante sea transferible a otros contextos semejantes (p ej, otras ciudades, otras regiones, etc.). Esta actividad de modelado es parte del proceso de planeación; suele completarse con buenas prácticas administrativas, un marco institucional dedicado a la temática, un cuerpo de profesionales capacitados, y una comunicación eficaz con los que toman las decisiones y con el gran público que participa en la problemática.

2.1. Estudios de transporte enfocados a carga

Para empezar, en la literatura especializada se nota una escasez de estudios de transporte de carga, en comparación con los que hay para el de pasajeros. Una muestra de ello se ilustra en las figuras 2.1 y 2.2, que resumen los resultados de búsquedas realizadas en la base de datos *TRIS Online*, del Transportation Research Board norteamericano, que contiene referencias de artículos de temas de transporte publicados en las revistas especializadas del tema. La profusión de

trabajos en el área de pasajeros, comparada con la de carga resulta clara.

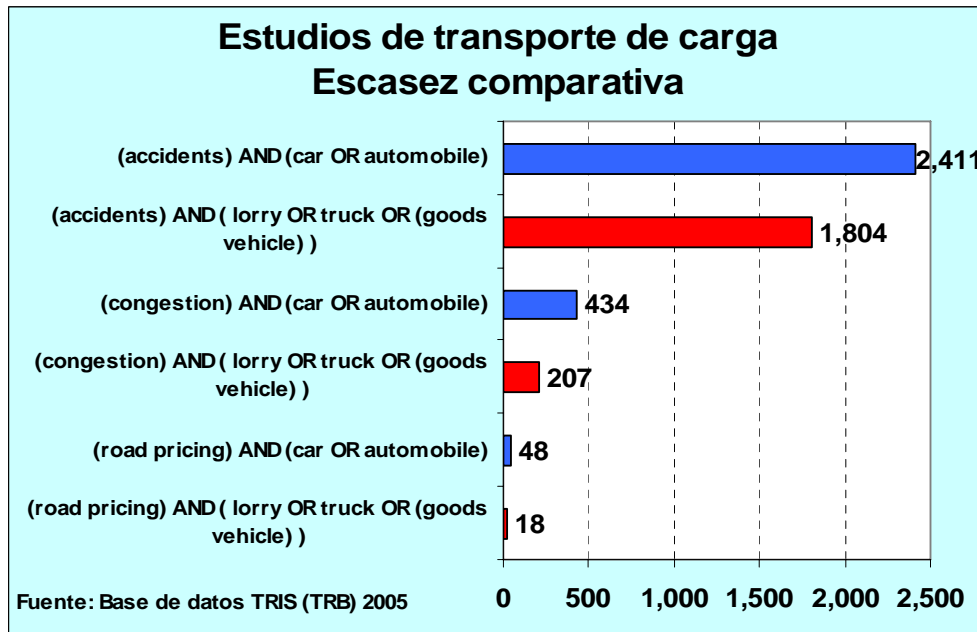


Figura 2.1. Escasez comparativa de estudios de carga. Palabras clave: *accidentes, congestión y tarificación* junto con *vehículos de pasajeros o de carga* fuente: TrisOnline: <http://ntlsearch.bts.gov/tris/index.do>.

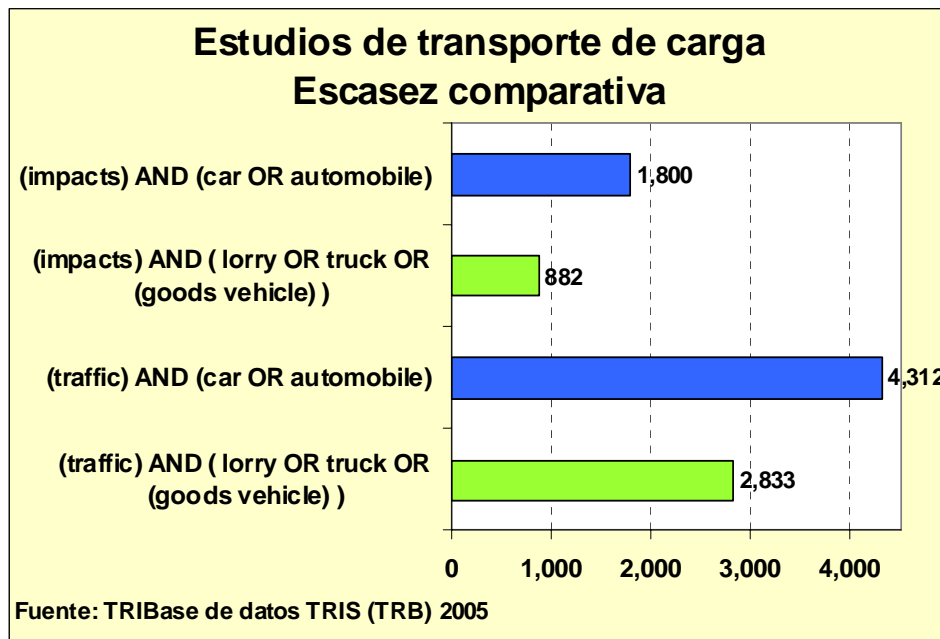


Figura 2.2. Escasez comparativa de estudios de carga. Palabras clave relativas a *impacto y tráfico* junto con *vehículos de pasajeros o de carga* (fuente: Tris Online: <http://ntlsearch.bts.gov/tris/index.do>)

Para adentrarse en el tema de transporte de carga, un punto de inicio es considerar los aspectos particulares de esta actividad que resultan pertinentes para las tareas de modelación, y que tienen que ver con la naturaleza de la carga en sí. Mahmassani (2001) hace notar que en general, y a diferencia de los pasajeros, la carga es inanimada y pasiva (excepto el movimiento de animales vivos), y raramente regresa a su origen. Además, la carga en sí no tiene actitudes ni percepciones, ni hábitos ni comportamiento adaptable. Estas características limitan a los planificadores con enfoques conductistas o utilitaristas en la modelación de flujos de transporte, y al mismo tiempo revelan que la carga requiere de actores que se involucren en una secuencia básica de carga, transporte y descarga, como se ilustra en la figura 2.3.

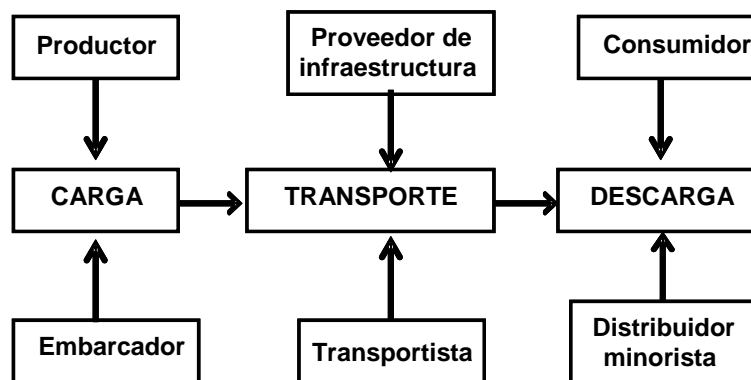


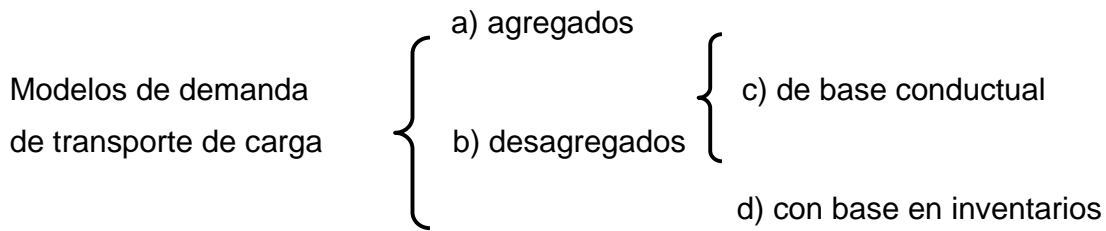
Figura 2.3. Secuencia básica del movimiento de carga y actores involucrados

La necesidad de agentes para resolver las distintas etapas de los movimientos de carga abre espacios para la intervención de productores, embarcadores, proveedores de infraestructura, transportistas y consumidores. En suma, un rasgo fundamental del movimiento de carga es la presencia de múltiples actores implicados en el traslado de productos y mercancías y, como sería de esperar, de actores que persiguen sus propios objetivos.

2.2. Una panorámica de los modelos de carga

El enfoque económico y de planeación

La gran diversidad de los estudios relacionados con la carga ha motivado a algunos investigadores a la búsqueda de categorizaciones para manejar dicha diversidad. Distintas taxonomías pueden encontrarse, dependiendo de la perspectiva del investigador. Winston (1983) propone la categorización que se muestra enseguida para los modelos de demanda del transporte.

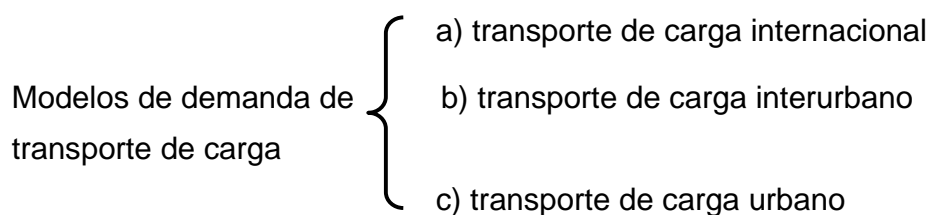


La clasificación de agregados/desagregados se refiere al tipo de datos que utilizan los modelos. Al respecto, los datos que alimentan los estudios agregados manifiestan características colectivas como por ejemplo, las de grupos de productos transportados, o regiones y segmentos de mercado, mientras que los datos usados en los modelos desagregados representan características individuales de los que toman las decisiones al elegir las opciones del transporte de carga.

En la clasificación de modelos agregados, Winston describe los primeros intentos de los estudios de elección modal usados en el transporte de carga para estimar las fracciones del mercado controladas por los modos competidores, y los modelos que derivan la función de demanda del transporte a partir de la función de costos de la empresa industrial o manufacturera, siempre que el transporte esté explícitamente identificado como uno de los factores de producción.

Respecto a los modelos desagregados, los de base conductual se enfocan en la elección del modo de transporte que hacen los cargadores y embarcadores en su intento de maximizar la utilidad de las operaciones; mientras que los modelos con base en inventarios adoptan el punto de vista del gerente de almacenamiento, que trata de optimizar la utilidad de la empresa al escoger las características del transporte a utilizar, bajo las condiciones impuestas por la política de producción e inventario de la empresa (Winston, 1983).

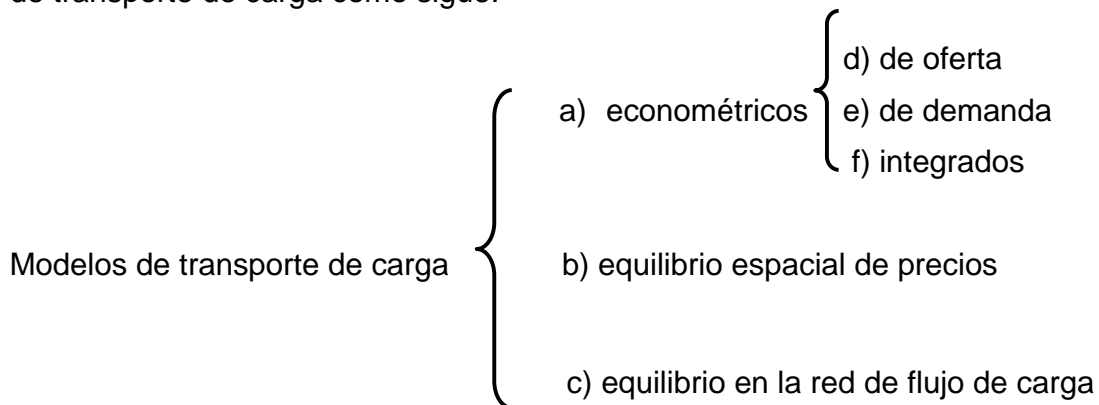
Regan y Garrido (2001), en un análisis conjunto de la demanda de transporte de carga y las reacciones del embarcador proponen una clasificación de esos modelos con un enfoque geográfico, como sigue.



La clasificación de transporte de carga interurbano es semejante a la que propone Winston; primero con los modelos agregados y desagregados, y luego con los de base conductual y de inventarios; sin embargo, el criterio geográfico propuesto separa de manera casi natural tanto a los tomadores de decisiones como a las fuerzas subyacentes que movilizan la carga dentro de cada categoría, en virtud de los rasgos totalmente distintos de cada tipo de movimiento. Por otra parte, Regan y Garrido mismos (2001, p. 187) hacen notar la potencial limitación que tiene este

enfoque geográfico, debido al fenómeno de la globalización que desde finales del siglo XX se ha estado extendiendo en el mundo.

Otros estudios más generales que los de demanda, han surgido también como es el caso de la planeación del transporte de carga. En un tratamiento de los flujos de carga interurbanos en los Estados Unidos, Harker (1987) clasifica a los modelos de transporte de carga como sigue:



De acuerdo con Harker, los modelos econométricos se basan en el análisis de series de tiempo o datos de corte seccional, que representan al sistema de carga por medio de las relaciones y correlaciones existentes entre sus variables. Los modelos de oferta se enfocan en las características de la producción y en los costos del transporte de carga, más que en los pronósticos de servicios de transporte. Los modelos de demanda se concentran en la solicitud del servicio de transporte de carga y los modelos integrados consideran la demanda y la oferta de servicios de carga a fin de estimar un equilibrio entre ellas.

El modelo de equilibrio espacial de precios utiliza una red que representa el sistema de transporte de carga, donde los nodos representan áreas productivas, áreas consumidoras, o puntos de transbordo. Para las áreas de producción y de consumo se tienen funciones de oferta y de demanda; y el modelo representa las interacciones entre los productores, los consumidores y los embarcadores. Los transportistas no están representados explícitamente en el modelo, pero se tienen funciones de costo del servicio de transporte.

Este modelo estima los movimientos de carga a partir de los intercambios de productos entre los embarcadores, que intentan satisfacer la demanda. Dicho proceso de intercambios se mantiene hasta que se alcanza la siguiente condición de equilibrio para cualquier carga que se esté moviendo:

$$\text{precio en el destino} = \text{precio en el origen} + \text{costo de transporte}$$

El concepto de equilibrio espacial de precios ha demostrado ser de gran utilidad en el pronóstico de flujos interregionales de carga (Harker, 1987).

Los modelos de equilibrio en redes de flujo de carga también usan una red para

representar al sistema de transporte, enfocando la atención en las interacciones entre los embarcadores, los transportistas, y los transportistas potenciales. Los movimientos de carga se originan en las decisiones de los embarcadores, guiados por los principios de optimización de Wardrop. Algunos modelos se orientan hacia el llamado equilibrio del usuario, suponiendo que los embarcadores (o los transportistas) mueven sus cargas en un ambiente no-cooperativo, tratando cada quien de minimizar sus propios costos de operación. Otros modelos se enfocan hacia el llamado equilibrio del sistema, donde el objetivo es más bien normativo, tratando de minimizar el costo total del transporte de carga realizado en la red.

En algunos de estos modelos, la demanda se ha considerado fija en algunos nodos; pero en otros casos se han utilizado funciones de demanda variables, permitiendo así un tratamiento más general. Se han utilizado modelos de equilibrio en redes de flujo para movimientos de carga a nivel nacional para representar los flujos de carga multimodales y de múltiples productos (Harker, 1987).

Las categorizaciones presentadas, si bien no son una revisión exhaustiva de los modelos de carga, permiten sin embargo mostrar la diversidad encontrada en la modelación del transporte de carga, y la dificultad de encontrar una taxonomía que sea de aceptación universal. Los principales problemas que estos modelos abordan son los siguientes:

- El reparto del tráfico entre modos de transporte (modelos simples)
- La elección del modo de transporte de carga:
 - a) Bajo un esquema de maximizar la utilidad
 - b) Bajo el esquema de maximizar el beneficio de la empresa, respetando su programa de producción-inventario
- La demanda derivada de los servicios de transporte a través de la función de costos de la empresa, y condiciones optimales de primer orden adecuadas (basándose en el lema de Shephard que se usa en microeconomía).
- El concepto de equilibrio:
 - d) Como equilibrio oferta-demanda que determina los orígenes y los destinos para la carga
 - e) Como equilibrio espacial de precios que determina los flujos de carga
 - f) Como equilibrio espacial en una red suponiendo los principios de optimalidad de Wardrop (ya sea equilibrio del usuario o equilibrio del sistema)

Harker (1987) discute de modo muy conciso las ventajas y desventajas de cada tipo de modelo.

Así, los modelos econométricos y también los de tipo agregado/desagregado, utilizan datos básicos de trabajo, capital, energía o niveles de servicio para obtener buenas estimaciones de la demanda, del costo o de las funciones de producción en la actividad del transporte de carga. Las relaciones entre las variables del modelo, así como las correlaciones que resultan de estos modelos, permiten estimar los impactos potenciales de distintos escenarios, o políticas de transporte que se pretenda aplicar.

Sin embargo, los modelos econométricos no tienen una descripción detallada de la red usada para el transporte, y no toman en cuenta la complejidad de los movimientos reales del transporte de carga que tienen que enfrentar elecciones de ruta, congestión, o costos percibidos.

En los modelos de equilibrio espacial de precios y de equilibrio en redes de flujo, se utiliza una red que representa el sistema de transporte. La red subyacente describe la infraestructura de transporte por medio de un conjunto de nodos y de arcos uniendo estos nodos. Asociando parámetros a los nodos se pueden representar oferta o demanda de productos, o capacidades de almacenamiento; mientras que en los arcos, los parámetros pueden representar nivel de servicio, tiempo de tránsito, o costo generalizado de cruzar por esos arcos.

Los modelos de redes de flujo, fácilmente calculan el valor del flujo de equilibrio en la red. Mientras que el modelo de equilibrio espacial de precios se enfoca en la diferencia del precio de los productos entre orígenes y destinos, los modelos de equilibrio de flujo se centran en la asignación de flujos a los arcos, siguiendo los principios de optimalidad de Wardrop. De esta manera, estos modelos pueden tratar los problemas de selección de ruta y de costos percibidos en redes de transporte con congestión.

Como contraparte, la red de caminos fija que se usa en estos modelos, no les permite tratar con cambios dinámicos en la actividad del transporte de carga, como por ejemplo, la construcción de nuevos caminos, la clausura de tramos carreteros, o la sustitución de insumos como capital, trabajo y energía.

Un posible criterio de clasificación

Las clasificaciones de modelos ya mostradas enfatizan diversos aspectos de la demanda de transporte de carga, o algún concepto de equilibrio donde el análisis económico juega el papel central. Desde un punto de vista sistémico del transporte, que trata de captar las interacciones entre las partes que lo integran, en este trabajo se propone un criterio de clasificación que surge de tres preguntas básicas cuyas respuestas esclarecen la dinámica de los movimientos de carga.

1) ¿Qué carga es la que se mueve?

- ¿Se cuantifica en toneladas, en metros cúbicos, o por valor?
- ¿Cuáles son las características de la carga?

- ✓ ¿Sólida, líquida, gas, contenerizada, tipo de embalaje, a granel, refrigerada, perecedera, peligrosa, densidad económica (\$/t)?
- ✓ ¿Cuál es el tamaño y frecuencia de los embarques?
- ✓ ¿Cuál es la sensibilidad de la distribución al costo de transporte?
- ¿Quiénes son las partes interesadas, o los actores involucrados?

Estas preguntas se relacionan con la *demanda del transporte de carga*.

2) ¿Por dónde se mueve la carga?

- ¿Dónde se genera, a dónde es atraída, y cuánto se demanda?
- ¿Qué rutas y criterios de selección de ruta se usan?
- ¿Qué peajes o impuestos se pagan, y cuál es el costo de operar los vehículos
- ¿Cuál es la calidad del camino (congestionamiento, rugosidad, pendiente, accesibilidad)?
- ¿Quiénes son las partes interesadas, o los actores involucrados?

Estas preguntas se relacionan con los detalles de la *red* sobre la que se efectúa el movimiento de carga.

3) ¿Qué organización está involucrada?

- ¿Cuál es la composición de la flota: el número de vehículos y sus tipos?
- ¿Qué clase de ruteo vehicular, programación o administración de flota se utiliza?
- ¿Qué grado de consolidación en colecta y distribución o en ruteo es usado?
- ¿Qué reglas empíricas o heurísticas se utilizan?
- ¿Cuáles son los atributos del servicio?
- ¿Qué apoyos de comunicaciones y técnicas de transporte inteligente se usan?
- ¿Quiénes son las partes interesadas, o los actores involucrados?

Estas preguntas se relacionan con la *organización* y los recursos empleados en el transporte de carga.

Este esquema se inspira en el paradigma de las “tres preguntas de la asignación de recursos” que se utilizan en economía para abordar la cuestión de la escasez de los recursos, y que son: *¿qué producir?*, *¿cómo producirlo?*, y *¿para quién producirlo?* (Samuelson y Nordhaus, 1989; AmosWEB, 2003).

El criterio propuesto no se basa ni en el tipo de datos empleado en los modelos (agregado/desagregado), ni en el método de cálculo utilizado (p ej, como en la

estimación de la demanda inversa a partir de una función de producción), ni tampoco en el paradigma de las cuatro etapas de la planeación del transporte; aun cuando cada una de estas etapas puede entrar en la clasificación, por ejemplo, tratando las etapas de generación de viajes, distribución y selección de modo podrían considerarse estudios de demanda; y la etapa de asignación, como estudio de redes de flujo. Este criterio, sin embargo, no cubre la totalidad de los modelos; así por ejemplo, en el equilibrio espacial de precios se tiene una componente principal en la representación de la red; a la vez que se modela el equilibrio de los flujos demandados entre orígenes y destinos, por lo que la clasificación podría tenerse tanto en los modelos de demanda como en los de redes de flujo.

El enfoque de la logística

De particular importancia son los modelos logísticos, originados en estudios que han proliferado en las últimas décadas. La tabla 2.1 muestra los resultados de una búsqueda reciente de los términos *logistics* (logística) y *supply chain* (cadena de suministro) en la base de datos TRIS Online, donde se aprecia el constante incremento en el número de trabajos relacionados con estos conceptos a partir de la década de los años 1980.

Tabla 2.1. Búsqueda de los términos “logística” y “cadena de suministro” en la base de datos TRIS Online (fuente: Tris Online: <http://ntlsearch.bts.gov/tris/index.do>)

Periodo	Término: LOGISTICS		Término: SUPPLY CHAIN	
	Número	Prom. anual	Número	Prom. anual
1915-1960	-	-	-	-
1961-1970	13	1.3	-	-
1971-1980	230	23.0	0	-
1981-1990	1,033	103.3	4	0.4
1991-2000	3,246	324.6	326	32.6
2001- Oct/06	3,571	612.2*	1,189	259.4
* proporcional a oct/2006				

Según Ratliff y Nulty (1996), una *cadena de suministro* es el conjunto de todos los componentes y funciones asociados a la creación y la entrega final de un producto o un servicio; mientras que la *logística* es el conjunto de actividades ligadas a la adquisición, transporte, almacenamiento y distribución de bienes, a través de cadenas de suministro.

En el ámbito del transporte, la logística está más cerca de la idea de distribución física. Según Lowe (2002), la logística es “*Un concepto total incluyendo la planeación y organización del abastecimiento y movimiento de materiales, bienes, etc. desde sus fuentes originales a través de las etapas de producción, ensamble, empaque, almacenamiento, manejo y distribución hasta llegar al consumidor final*”.

Esta visión integral de la logística se ilustra en la figura 2.4, donde las flechas anchas indican necesidades de transporte.

En la figura 2.4 pueden identificarse los requerimientos de transporte en las distintas etapas del sistema logístico. Así, el abastecimiento de materias primas se presta más al movimiento de embarques a granel; los movimientos de artículos terminados desde la fábrica hasta los centros de distribución, probablemente incluirán consideraciones sobre embalaje; y en las últimas etapas para llegar al usuario final, una distribución eficiente para atender una gran cantidad de consumidores es necesaria. Vehículos de varios tamaños y capacidades se usan en las diferentes etapas; y las características de tráfico cambian según que la carga se mueva en carretera, con condiciones climáticas o tipos de terreno que dificulten el transporte o que el movimiento sea en la ciudad, donde la congestión y el espacio limitado debe compartirse con grandes volúmenes de automóviles y autobuses.

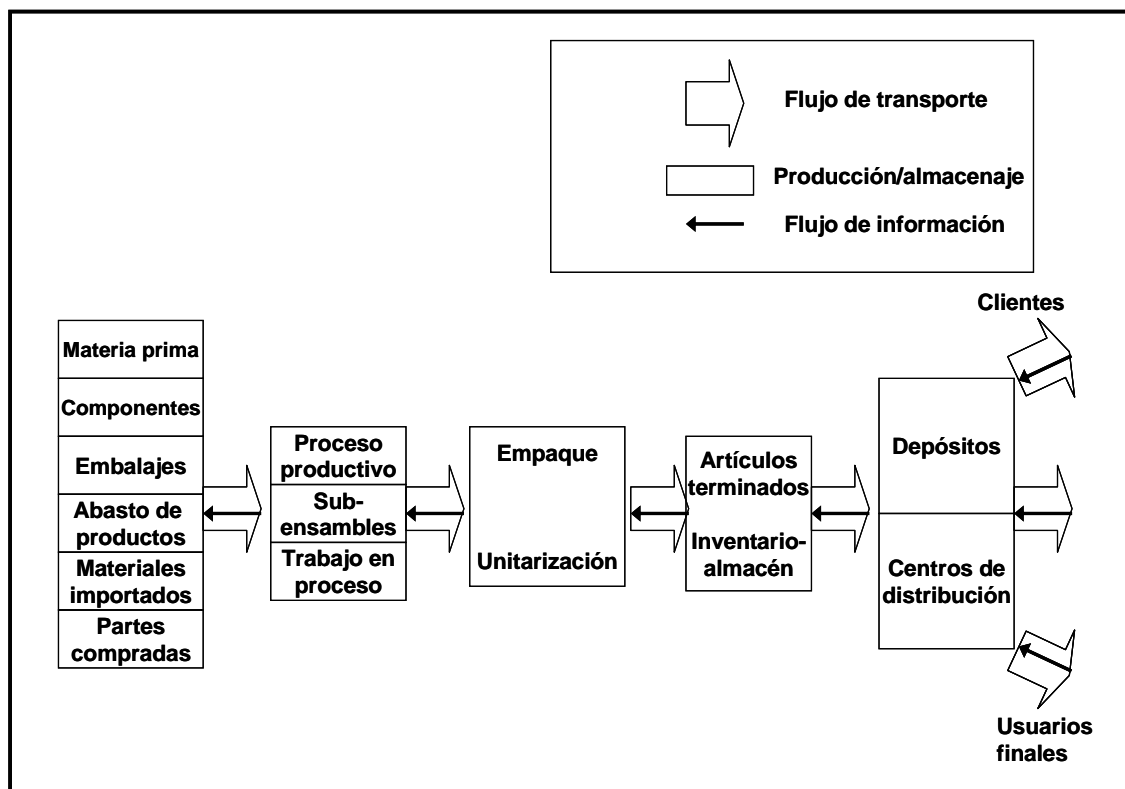


Figura 2.4. Principales elementos de un sistema logístico (reproducido de Rushton, Oxley and Croucher, 1989)

Como el enfoque logístico es integral, desde el abasto de materias primas en el origen hasta el consumo final en el destino, las áreas críticas se identifican fácilmente. Los puntos clave que un sistema logístico tiene que resolver son: 1) la ubicación de las instalaciones y los servicios; 2) la planeación de los inventarios; y 3) la selección del modo de transporte, y las rutas a emplear (Bianco, 1987).

La localización de instalaciones y servicios tiene que ver con el número, la ubicación y el tamaño de las plantas productivas, los puntos de almacenaje y los proveedores de materia prima y servicios necesarios. La planeación de inventarios se hace para controlar los niveles de almacén, y contribuir a minimizar el costo total. La política de inventario determina qué artículos almacenar y en qué cantidades, y decide los puntos de reorden.

La selección del modo de transporte y de las rutas a utilizar se relacionan con las necesidades de consolidación; con la adecuación del modo al tamaño de los embarques; con los planes de ruteo para colecta y distribución y con las decisiones sobre cuáles clientes debe atender cada centro de distribución.

En la actualidad, es claro que ni transportistas ni embarcadores pueden actuar independientemente; de manera que las decisiones de transporte y las decisiones logísticas estarán inevitablemente interrelacionadas, lo que es una característica a tomar en cuenta en cualquier proceso de planeación de las empresas.

2.3. El enfoque sistémico

Ya que en la generación del transporte de carga interviene una diversidad de actores de manera simultánea y con diferentes objetivos, las tareas de modelación de esta actividad difieren notablemente del modelado del transporte de pasajeros.

Para estudiar el tráfico de carga desde un punto de vista ingenieril es útil el enfoque de sistemas, considerando al autotransporte de carga como un sistema formado por componentes que interactúan entre sí, para el objetivo común de mover la carga de sus orígenes a sus destinos. Un antecedente de esta representación de interacciones entre las partes del sistema de transporte, aunque con un enfoque económico, la da Harker (1987), con un marco general para explicar la demanda del transporte de carga identificando a los principales actores que intervienen, tal como se ilustra en la figura 2. 5.

La figura 2.5 muestra cómo la interacción entre productores y consumidores genera una demanda derivada de transporte que motiva al embarcador a coleccionar y hacer envíos, apoyándose en los servicios del transportista. Éste a su vez se relaciona con el responsable del camino, exigiendo la provisión de infraestructura para realizar el transporte de carga en sí. El responsable de la infraestructura por su parte, tiene que proveerla y mantenerla, y a fin de racionalizar su uso aplica regulaciones para controlar a los usuarios. Los diversos actores se relacionan por conceptos económicos que guían su conducta; así por ejemplo, productores, consumidores y embarcadores por los precios de mercado de los productos y de los servicios de transporte; embarcadores y transportistas por precios de mercado, fletes y niveles de servicio; los transportistas y el responsable del camino, por peajes, regulaciones e impuestos al combustible.

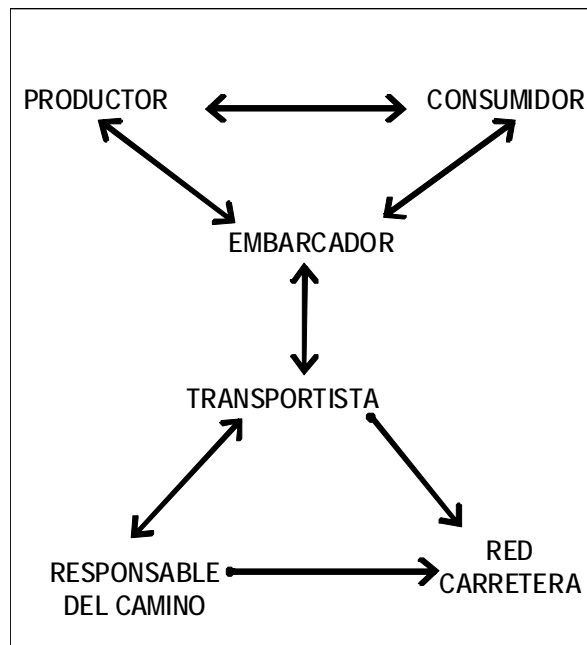


Figura 2.5. Relaciones entre actores y elementos del transporte de carga (con base en Harker, 1987)

Si bien el diagrama mostrado enfatiza las relaciones económicas del movimiento de carga, ayuda a aclarar qué actores están involucrados en la generación del tráfico, cuáles son sus parámetros de desempeño (p ej, precios de mercado, peajes, regulaciones); y quiénes son sus contrapartes que los limitan (el responsable del camino que impone regulaciones, los embarcadores que siguen las fluctuaciones de la oferta y la demanda, etc.). Esta observación antecede a la adopción de un enfoque sistémico más amplio del transporte de carga, donde el enfoque sea el punto de vista del responsable de la infraestructura.

Un punto de partida de este enfoque sistémico es un diagrama de imagen enriquecida (Checkland, 1999) donde el sistema de autotransporte de carga se representa como un todo, y los componentes son agregados o excluidos según la importancia que tengan para los propósitos de modelación del sistema. Este diagrama se muestra en la figura 2.6.

El diagrama de imagen enriquecida identifica los elementos relevantes al objetivo de modelación, así como las variables numéricas que naturalmente se prestan para medir el desempeño de cada componente. De esta manera, el diagrama sugiere la interacción que surge entre los transportistas que usan la infraestructura carretera para movilizar las cargas, y el responsable del camino que provee la infraestructura y el mantenimiento, así como los parámetros que cada uno controla en su respectiva actividad y los correspondientes impactos que tienen que afrontar.

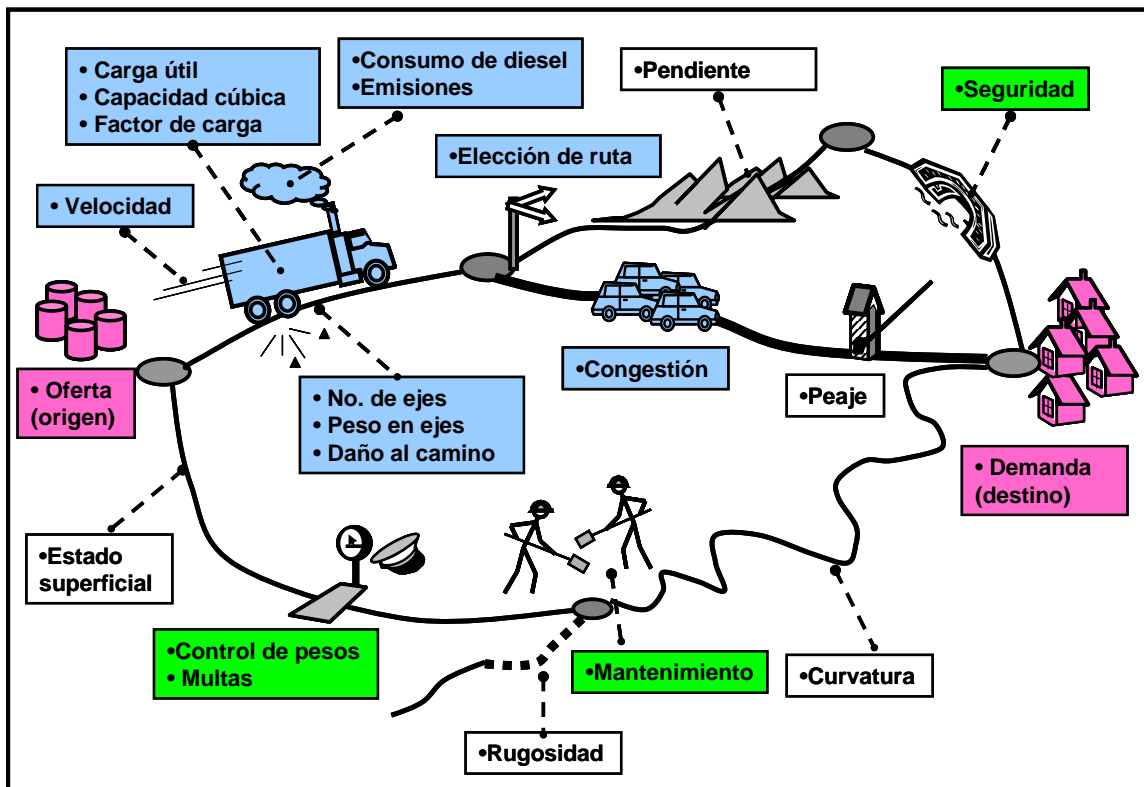


Figura 2.6. Diagrama de “imagen enriquecida” para el transporte de carga, base para identificar elementos y parámetros relevantes para la modelación

El diagrama de imagen enriquecida identifica los elementos relevantes al objetivo de modelación, así como las variables numéricas que naturalmente se prestan para medir el desempeño de cada componente. De esta manera, el diagrama sugiere la interacción que surge entre los transportistas que usan la infraestructura carretera para movilizar las cargas, y el responsable del camino que provee la infraestructura y el mantenimiento, además de los parámetros que cada uno controla en su respectiva actividad, y los correspondientes impactos que tienen que afrontar.

Con base en lo observado en la imagen enriquecida del transporte de carga, en la figura 2.7 se muestran tres elementos relevantes del sistema de transporte de carga: el usuario del camino (los transportistas); la infraestructura; y el responsable de la carretera; ligados junto con las variables que controlan y los impactos que les afectan.



Figura 2.7. Componentes y parámetros del sistema de transporte de carga

La representación de la figura 2.7 da la pauta para modelar las interacciones de los actores y elementos físicos involucrados en movimiento carretero de carga, y buscar medidas de control para desarrollar la actividad del autotransporte en un marco de uso racional de la infraestructura, que permita al responsable de ésta un desempeño adecuado, así como una mayor cobertura en extensión y en calidad en la red carretera.

Estos elementos básicos entrelazados por la actividad del movimiento de carga describen un sistema con entradas, que se transforman por medio de un proceso en salidas del sistema, y que reflejan el punto de vista del responsable del camino. Un diagrama de bloques de esta representación del sistema de transporte de carga se presenta en la figura 2.8. En él, las decisiones del transportista se basan en sus costos de operación, que los lleva a elegir sus variables operativas en la actividad de mover carga sobre la red carretera disponible. El responsable del camino, a fin de controlar a los transportistas establece medidas de regulación, que puede modificar a fin de influenciar el comportamiento de éstos y así lograr cierto desempeño del sistema de transporte.

El desempeño del sistema se evalúa por el estado del sistema, descrito por un conjunto de variables que miden los objetivos del planificador, tales como el ingreso por peaje; el daño al pavimento; los niveles de sobrepeso en los flujos carreteros; etc. El sistema genera tanto las salidas esperadas, por ejemplo, intensidades de flujos vehiculares, o patrones de ruta, como impactos que son consecuencias no planeadas del proceso, como el daño a la infraestructura, los accidentes, o la contaminación ambiental.

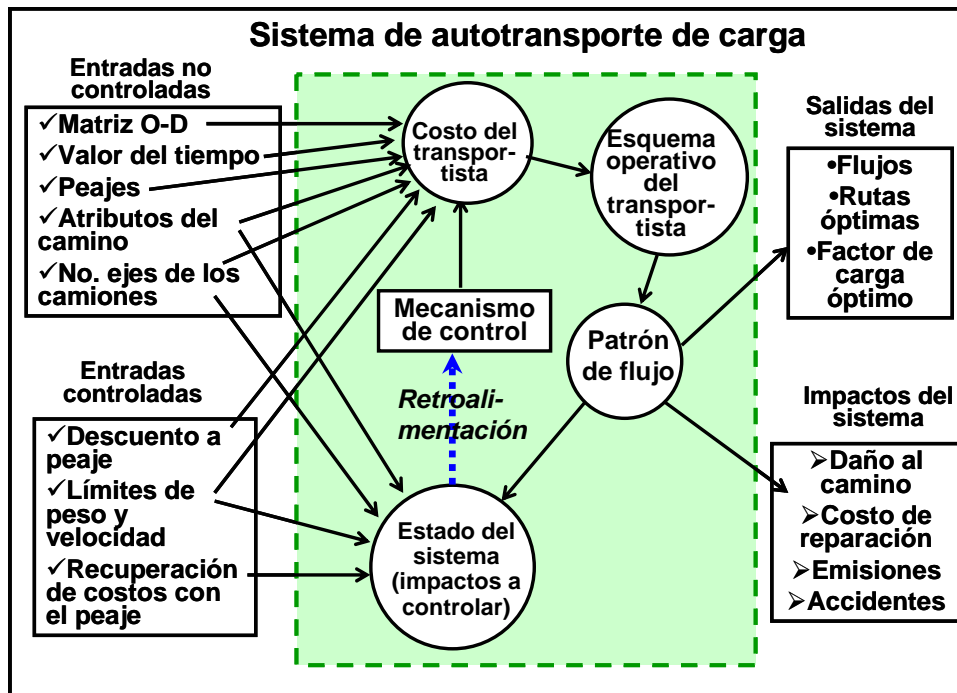


Figura 2.8. Un sistema para el autotransporte de carga

Una entrada al sistema puede ser controlada o no-controlada. La primera es un parámetro para los transportistas, para el planificador o para ambos; y la última es una variable de decisión que puede modificar el planificador. La elección que haga el transportista de sus variables operativas (p ej, selección de ruta o el factor de carga), que se basa en sus costos de operación, está influenciada tanto por las entradas al sistema, como por el mecanismo de control impuesto por el planificador, y tiene un impacto en el estado del sistema. Es así que las decisiones de transportistas y del planificador se afectan mutuamente.

Por ejemplo, el factor de carga es un parámetro que el responsable del camino usa en sus cálculos de daño al pavimento; pero este factor es al mismo tiempo una variable de decisión que el transportista fija para minimizar sus costos. Análogamente, el nivel de la multa por tonelada en exceso señalada en la reglamentación, es un parámetro para estimar los costos de operación del transportista, pero al mismo tiempo es una variable de decisión del planificador en su proceso de minimizar los daños a la infraestructura. El diagrama de la figura 2.9 ilustra esta interdependencia.

De esta manera, mientras que el máximo número de unidades de vigilancia en la red carretera es un parámetro que afecta exclusivamente al costo del planificador (indicado en el subconjunto 1 de la fig. 2.9), el número de ejes del camión o el factor de carga utilizados son variables de decisión del transportista, que al mismo tiempo representan parámetros para calcular el costo del planificador (subconjunto 2 de la fig. 2.9). Ambos actores comparten parámetros comunes, tales como la

pendiente del camino o el valor del tiempo para las cargas movidas (subconjunto 3, fig.2.9). Algunos parámetros son únicos para los transportistas, como el total de toneladas-kilómetro demandadas, o el costo de los movimientos vacíos (subconjunto 4, fig. 2.9); y algunas variables de decisión son sólo de los transportistas, p ej, los fletes cobrados o el nivel de servicio (subconjunto 5, fig. 2.9).

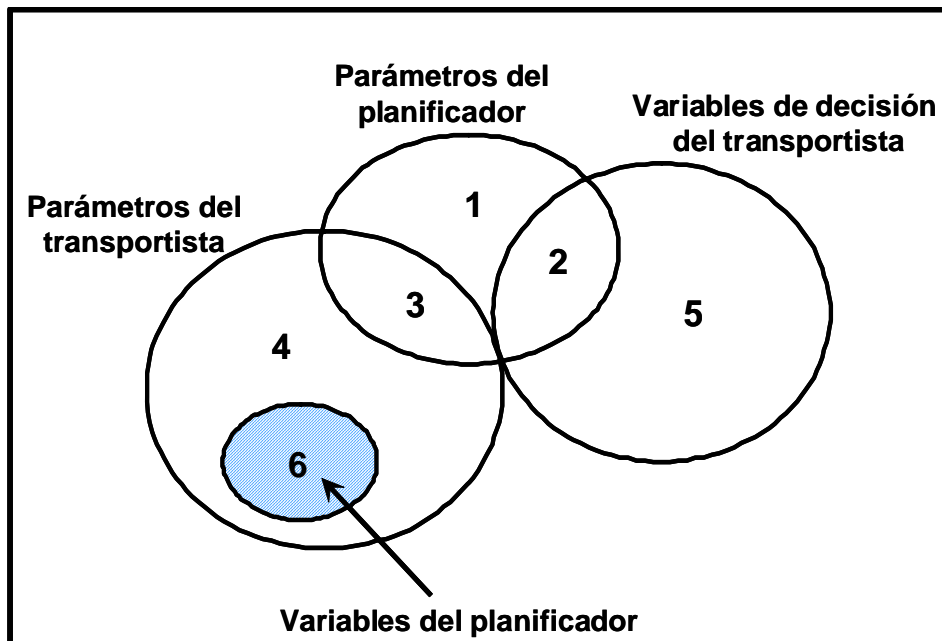


Figura 2.9. Interdependencia entre parámetros y variables

Finalmente, ya que el planificador tiene como objetivo de controlar las respuestas de los transportistas, las variables de decisión del responsable del camino son parámetros que afectan los cálculos de costo de operación para el transportista (subconjunto 6, fig. 2.9)

Esta interdependencia entre parámetros y variables de decisión para transportistas y planificadores indica que las interacciones entre ellos ocurrirán de modo natural cuando estos actores desplieguen sus actividades, buscando su propio desempeño óptimo, independientemente unos de otros.

La herramienta de modelado adecuada deberá entonces adaptarse para manejar diferentes actores que simultáneamente persiguen diferentes objetivos, y aún más, objetivos contradictorios. Con esta base, la revisión de modelos matemáticos para representar conflictos o para manejar objetivos de criterios múltiples parece ser apropiada, siempre que puedan adaptarse adecuadamente para representar la problemática del transporte de carga.

Algunos posibles modelos que pueden representar interacciones entre actores que persiguen sus propios objetivos independiente y simultáneamente, y que tienen potencial para aplicarse en la problemática del transporte de carga, son los

siguientes:

- Programación de metas (Goal-programming) También llamada programación por objetivos, es una técnica que aplica la programación matemática a problemas en los que existen objetivos contradictorios; cada uno buscando su propio nivel deseado, pero aceptando compensaciones. En este contexto, una *meta* no es ni una función objetivo ni una restricción; más bien representan relaciones deseadas que podrían violarse si se obtiene una compensación adecuada (Greenberg, 2006). La programación de meta trata a los múltiples objetivos rivales de un problema asignando metas numéricas para cada uno, y luego buscando una solución de compromiso en una sola función objetivo que refleje la importancia relativa de cada meta. Un ejemplo típico de función objetivo en la programación de metas, es la que minimiza la suma de los valores absolutos de las desviaciones individuales de cada una de las metas; otro ejemplo es la función objetivo que toma una suma ponderada de las distintas metas, a fin de reflejar su importancia relativa.
- Teoría de juegos. En este enfoque, los “jugadores” (participantes) en el problema utilizan sus propias estrategias para lograr sus objetivos; y una matriz de ganancias (llamada matriz de pagos) se usa para expresar los resultados que se obtienen de cada combinación posible de estrategias de las partes. Cada jugador busca la estrategia que maximiza sus pagos en el juego. Este esquema se adapta bien para modelar situaciones competitivas o de conflicto (Greenberg, 2001). Según los supuestos que se adopten acerca de la información disponible para cada jugador, las posibles estrategias permitidas a cada uno y las posibilidades de cooperación o no cooperación entre los jugadores, se tendrán distintos tipos particulares de juego. De particular interés para la planeación es el caso del *Juego de Stackelberg* utilizado originalmente en el análisis microeconómico del duopolio, en el cual uno de los jugadores (llamado “líder”) sabe de antemano cómo reaccionarán los otros jugadores (llamados “seguidores”) a sus acciones, a la vez que todos los participantes en el juego intentan optimizar sus ganancias.
- Optimización multicriterio. Llamada también optimización multiobjetivo, es un enfoque de programación matemática que trata de optimizar simultáneamente varias funciones objetivo distintas. En este enfoque, más que buscar una solución que satisfaga de manera óptimo a todos los objetivos del problema, se trata de buscar una solución *eficiente*. Así, al tener n funciones objetivo: F_1, F_2, \dots, F_n , lo que es óptimo para una de ellas generalmente no lo es para el resto. Una solución factible en este contexto se llama *eficiente* (no dominada, ó Pareto óptima) si no existe otra solución factible que pueda mejorar a alguno de los objetivos sin empeorar al menos otro

de los objetivos (Cohon, 1978). Este esquema permite modelar objetivos que compiten entre sí.

- Programación binivel. Es un enfoque de programación matemática en la que se tienen dos funciones objetivo; la primera (llamada del “líder”, como en el juego de Stackelberg) que representa los objetivos del planificador; y la segunda (llamada “de los seguidores”) que representa a los usuarios del sistema de transporte, una vez que el líder ha emprendido alguna acción (Bell e lida, 1997). Al incluir las condiciones de optimalidad de los seguidores *como una restricción* en el problema de optimización del líder, le da a este último una prioridad superior en el procedimiento de optimización sin menoscabar las posibilidades de optimización de los seguidores.

3 El modelo de las cuatro etapas

El objetivo de explicar y pronosticar la demanda del servicio de transporte de carga, es una vieja aspiración de los estudios orientados al movimiento de carga. La relevancia de este conocimiento para los fines de la planeación del sistema de transporte como son la capacidad de las vialidades; los niveles de congestión; las políticas de reparación y mantenimiento de la infraestructura; los flujos intermodales; o el consumo energético resulta evidente.

3.1. El antecedente de CATS

El Estudio de Transporte del Área de Chicago (Chicago Area Transportation Study, CATS) en 1955, parece ser el primer estudio integral de transporte que consideró el uso del suelo y los aspectos socioeconómicos de esta actividad para conocer sus alternativas regionales (Papacostas y Prevedouros, 1993). Este plan, que fue liberado con recomendaciones en 1962, se convirtió en una referencia clásica en el desarrollo de planes integrales de transporte de las áreas metropolitanas (CATS, 2001). La metodología del transporte urbano derivada del estudio del CATS se utilizó en varias ciudades norteamericanas, y su uso se extendió a otras grandes ciudades en el mundo; en este proceso, la metodología fue mejorada y aplicada en diversos contextos de planeación.

En la década de los años 1960 surgió formalmente el paradigma de las cuatro etapas, un enfoque integral de estudio del transporte. A grandes rasgos, este esquema maneja el fenómeno espacial del transporte entre áreas geográficas al estudiar *cuántos* viajes se producen; *en dónde* inician y terminan estos viajes; *qué* modo de transporte utilizan; y *cuáles rutas* emplean en su movimiento.

El paradigma de las cuatro etapas inicia con la decisión individual de viajar por algún propósito (etapa de generación de viajes), continuando con el estudio de la elección que se hace del destino del viaje (etapa de distribución de viajes), siguiendo entonces con la preferencia que el viajero tiene del modo de transporte (etapa de reparto modal), y concluyendo con el examen de la selección de ruta en la red de transporte (etapa de asignación de flujos a la red). El modelo trata de generar un pronóstico plausible de la demanda de transporte a fin de evaluar sus impactos en las distintas alternativas de gestión que se tengan para el sistema de transporte (Papacostas y Prevedouros, 1993).

En la figura 3.1 se muestra el diagrama clásico del modelo de las cuatro etapas (Ortúzar y Willumsen, 1994), donde las flechas continuas indican el flujo de información generada en los cuatro submodelos, y las flechas punteadas señalan el flujo de información para evaluar el desempeño del modelo en su conjunto.

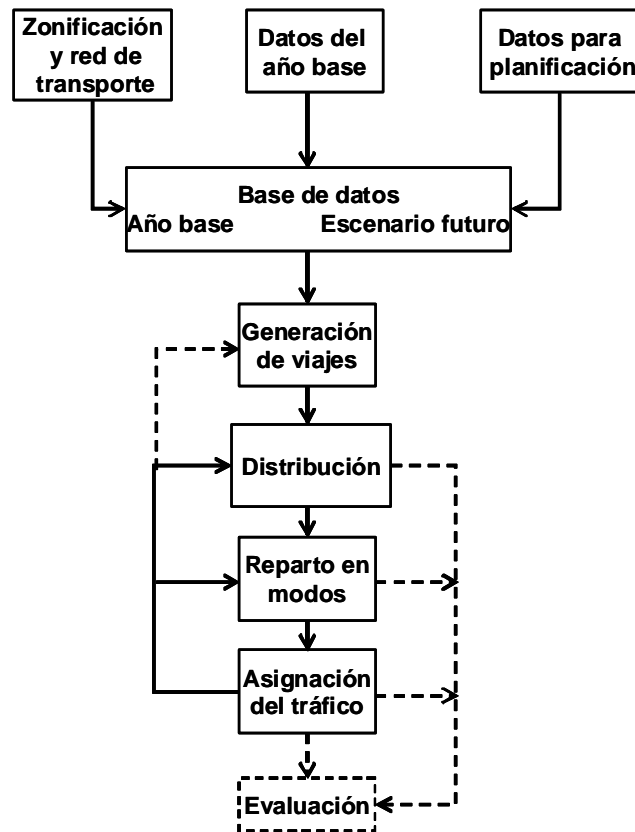


Figura 3.1. El clásico paradigma de las cuatro etapas para la planeación del transporte (Ortúzar y Willumsen, 1994)

El modelo inicia con datos adecuados de la zonificación utilizada y de la red de transporte disponible, así como de los datos socioeconómicos del año base y las consideraciones de planeación para el futuro, tales como niveles de empleo; zonas comerciales; instalaciones educativas y de recreación; etc. Con estos datos se alimenta el modelo de generación de viajes para pronosticar el número total de viajes atraídos y generados en cada zona del área bajo estudio.

El siguiente paso es modelar la distribución de estos viajes generados hacia los diferentes destinos posibles, con lo que se genera una matriz de viajes O-D. En la siguiente etapa se modela la elección del modo de transporte, con lo que se tiene una estimación del reparto modal de los viajes generados, para finalmente llegar a la última etapa en la que se modela la asignación de estos viajes a los distintos tramos de la red de transporte.

Si bien se ha reconocido en la literatura que las decisiones de viajar de los pasajeros no siguen estrictamente esta secuencia de pasos, y que el modelo de las cuatro etapas sólo se concentra en un rango limitado de posibles respuestas de los viajeros, el paradigma de las cuatro etapas sigue siendo de utilidad para proporcionar puntos de referencia al comparar escenarios alternativos en un sistema de transporte.

El uso del modelo de las cuatro etapas al caso del transporte de carga requiere algunos cambios, ya que a diferencia del de pasajeros, los movimientos de carga son decididos por la influencia de múltiples actores; además de que los flujos pueden considerarse tanto respecto a los vehículos como a las cargas que llevan.

En general, los modelos para transporte de carga que se han desarrollado siguiendo el paradigma de las cuatro etapas, se han diseñado con dos enfoques: a) los basados en viajes de vehículos; y b) los basados en flujos de carga. La figura 3.2 ilustra las etapas principales en estos enfoques (Holguín-Veras, et al, 2001).

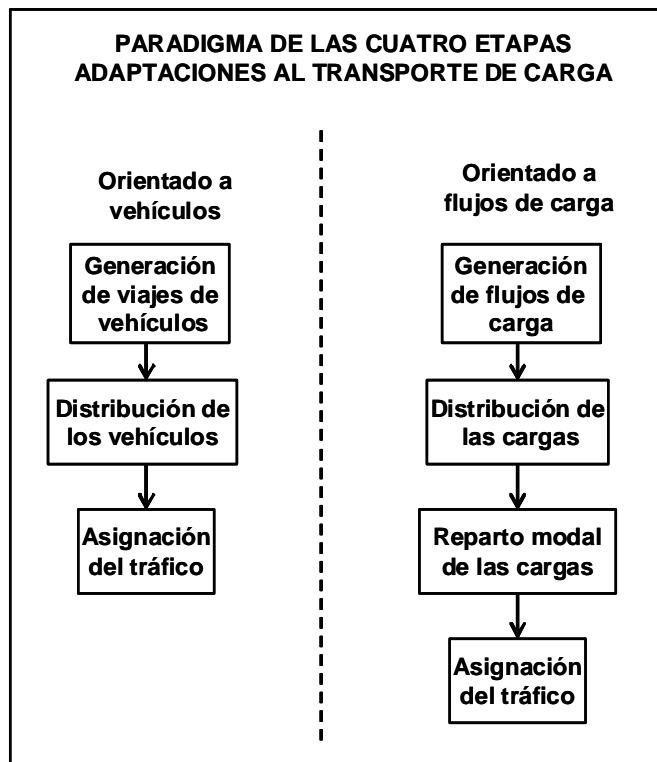


Figura 3.2. Adaptaciones del paradigma de cuatro etapas al movimiento de carga (Holguín-Veras, et al, 2001)

Las principales ventajas y desventajas de estos enfoques son las siguientes:

Los modelos enfocados al movimiento de vehículos de carga se centran en las unidades que mueven las cargas, para las cuales es posible obtener gran cantidad de datos a través de aforos viales, conteos de acordonamiento, etc. En particular, gracias al uso cada vez más extendido de dispositivos automáticos de detección de las tecnologías de transporte inteligente, actualmente es posible hacer un seguimiento detallado de los movimientos de los vehículos de carga al menos en los corredores de mayor importancia, con lo que se logra un buen acopio de información. Adicionalmente, ya que el enfoque es sobre el movimiento vehicular, el estudio del flujo de movimientos en vacío no representa grandes dificultades.

Los modelos enfocados al movimiento vehicular tienen alcance limitado cuando se estudian flujos de carga *intermodales*, ya que el viaje de una unidad resulta entonces la decisión de un proceso de selección de modo y de tipo de vehículo, que no puede estimarse plenamente sólo a través del conteo vehicular a lo largo de una ruta. Además de lo anterior, dado que las

motivaciones económicas y conductuales de la demanda de carga están íntimamente ligadas con el tipo de mercancía movida; la identificación y determinación de estas motivaciones resulta difícil con un modelo basado en los conteos vehiculares sobre la red de transporte.

Por su parte, los modelos basados en los flujos de carga, que se enfocan en modelar las cantidades de carga movida en toneladas, pueden captar mejor las motivaciones económicas fundamentales que determinan estos flujos, las cuales están fuertemente ligadas a los atributos de la carga, como son el volumen, el peso específico, sus requerimientos de manejo y embalaje, etc. En contraparte, estos modelos con orientación al flujo de cargas no pueden capturar debidamente el movimiento de vehículos vacíos, que representan una parte importante de las decisiones logísticas de muchas empresas industriales y manufactureras (Holguín-Veras, et al, 2001).

3.2. Diferencias entre el flujo de carga y el de pasajeros

Una diversidad de diferencias entre los enfoques de modelado para el transporte de pasajeros y el de carga se encuentran en la literatura. En la tabla 3.1 se resumen las principales diferencias encontradas, en el marco del clásico paradigma de las cuatro etapas usado en planeación del transporte.

Estas diferencias revelan la necesidad de ajustar los métodos de uso común en el movimiento de pasajeros para que se adapten a la distinta naturaleza que tienen los movimientos de carga, así como la necesidad de abordar otros problemas que no aparecen en el tráfico de pasajeros, como por ejemplo, la gestión del movimiento de camiones cargueros vacíos o la aplicación de políticas óptimas de inventario.

De particular importancia es la diferencia que existe en el costo generalizado del transporte. Mientras que en el caso de los pasajeros el costo depende del valor del tiempo (VDT), el tiempo de espera en la terminal y el de traslado; en el caso de la carga el costo es afectado por tres componentes principales: los costos monetarios; los costos relacionados con el tiempo; y los costos relacionados con los riesgos implícitos en el movimiento de las cargas (Lalwani, et al, 1991; Ortúzar y Willumsen, 1994).

Los costos monetarios incluyen los gastos directos que se originan en el movimiento de carga, como impuestos, fletes, peajes, uso de terminales, etc.

Los costos relacionados con el tiempo, generalmente se asocian con el servicio puerta-a-puerta. Estos costos podrían cuantificarse mediante la tasa de interés sobre el capital de trabajo implícito en las mercancías en tránsito. Sin embargo, esta conversión monetaria del tiempo no es única.

Los costos relacionados con los riesgos del movimiento de la carga reflejan, tanto el impacto del daño o pérdida de la carga, como la posibilidad de demoras en la entrega. Aun cuando los dos primeros elementos se relacionan directamente con los valores monetarios de las cargas; y las demoras se relacionan con el tiempo; todos estos factores son de naturaleza aleatoria, de modo que el uso de probabilidades, valores esperados, o desviaciones estándar resultan aplicables para propósitos de cuantificación.

Tabla 3.1. Diferencias en el modelado del transporte de pasajeros y en el de carga (Lalwani, et al, 1991; Ortúzar y Willumsen, 1994; Wynter, 1995; Cambridge Systematics, 1997; De Jong, 2000; Mahmassani, 2001; De Jong, Gunn y Walter, 2004)

	Aspecto	Transporte de pasajeros	Transporte de carga
GENERACIÓN	Propósito:	Trabajo, escuela, compras, etc.	a) Servicio público de transporte de carga b) Privado
	Terminales:	Requiere mínima asistencia en abordar, descender y conectar a otros modos.	Requiere diversas instalaciones, equipos y personal para carga y descarga. Las conexiones intermodales son relativamente especializadas por tipo de carga.
	Actores:	El pasajero.	Productores, consumidores, cargadores, transportistas, proveedores logísticos, autoridades carreteras.
		Un gran número de decisores; cada uno aportando una parte muy pequeña de la demanda.	Varios decisores, menos que en el caso de pasajeros, pero algunos de ellos controlando importantes fracciones de la demanda.
Unidades de medida:	Pasajeros, automóviles.	a) Por la carga: toneladas, metros cúbicos b) Por el vehículo: camiones, remolques c) Por el valor económico de las cargas d) Por vehículos ligeros equivalentes	
DISTRIBUCIÓN	Flujo del tráfico:	Usualmente hay viaje de ida y viaje de regreso.	a) Usualmente la carga no regresa b) Requiere minimizar el retorno de vehículos vacíos
		Hay flexibilidad para cambiar de destino (p. ej. los viajes por compras o diversión)	Usualmente no hay flexibilidad para cambiar el destino
ELECCIÓN DE MODO	Actores:	Los pasajeros.	Frecuentemente, el embarcador.
	Factores de decisión:	a) Relativos a utilidad: tiempo de viaje, costo, confort, etc. b) Relativos al pasajero: edad, sexo, ingreso, etc.	a) Relativos a la carga: peso, tamaño del embarque, embalaje, fragilidad, calidad de perecedero, etc. b) Relativos al cargador: política de inventario, ubicación de instalaciones, prácticas de carga. c) Relativos al consignatario: ubicación y requerimientos de descarga, política de inventarios. d) Relativos al modo: tarifa, velocidad, riesgo de daño, frecuencia.
	Valor del tiempo (VDT)	a) Basado en el ingreso del viajero b) VDTs de caminata y espera parecen ser mayores al del tiempo a bordo del vehículo	a) Dos métodos: - basado en factores de costo - basado en modelos de elección discreta b) El VDT parece aumentar con la longitud del recorrido.
COSTO GENERALIZADO	Factores:	a) Tiempo a bordo del vehículo b) Tiempo de caminata c) Tiempo de espera d) Tiempo de transbordos e) Tarifa f) Costos en terminal	a) Desembolso monetario b) Tiempo puerta-a-puerta c) Variabilidad del tiempo de viaje d) Tiempo de espera hasta la entrega e) Probabilidad de pérdida o daño a la carga

Ortúzar y Willumsen (1994, p 393) reportan el aparente origen de una función de costo generalizado para la demanda de transporte de carga en un trabajo de Kresge y Roberts en 1971. Esta función es lineal y considera las siguientes variables: el desembolso monetario por el flete; el tiempo de la entrega puerta-a-puerta y una medida de su variabilidad; el tiempo de espera desde la solicitud del servicio hasta la entrega; y la probabilidad de daño o pérdida de las mercancías en tránsito.

Para un producto determinado que se mueve entre un origen y un destino específicos, la fórmula del costo es:

$$C = M + b_1T + b_2\sigma + b_3W + b_4P$$

Donde C es el costo del servicio de transporte; M es el desembolso monetario por el flete; T es el tiempo para el servicio puerta-a-puerta, y σ su desviación estándar; W es el tiempo de espera desde la solicitud del servicio hasta la entrega final; y P es la probabilidad de daño o pérdida de la carga. Estos coeficientes dependen del modo de transporte usado, y también del tipo de carga movida; los coeficientes b_j en general son proporcionales al valor de las mercancías transportadas (Ortúzar y Willumsen, 1994).

La necesidad de expresar el tiempo en términos monetarios, igual que en el movimiento de pasajeros, ha motivado estudios del valor del tiempo (VDT) para el transporte de carga. En la literatura del transporte de carga se reportan dos métodos principales para calcular el valor del tiempo en el transporte de carga: a) el método de los factores del costo; y b) el método basado en modelos de elección discreta (Gwilliam, 1997). El método de factores de costo examina los costos de operación que cambian a medida que transcurre el tiempo; mientras que los métodos con base en elecciones discretas utilizan datos observados, o datos de encuestas que reflejan los cambios en preferencias que dependen del tiempo empleado en los movimientos de carga.

En un estudio de Fowkes, Nash y Tweddle (1989), se emplearon técnicas de preferencia establecida para evaluar las actitudes de los embarcadores acerca de las compensaciones entre el precio de las tarifas de transporte y los atributos de calidad de éste; por ejemplo, las demoras en la entrega. El estudio demostró que las mercancías de baja densidad económica (p ej, fertilizantes), generalmente requerían de niveles más bajos de servicio en la distribución, de modo que los embarcadores de estos productos aceptaban fácilmente una reducción de la calidad del servicio a cambio de tarifas menores. Así, por ejemplo, la valuación relativa de una variación de medio día en el traslado de mercancía, expresada como un porcentaje de la tarifa de transporte cobrada, se reportó de un 5% para todos los movimientos de fertilizantes, en comparación con los valores reportados de 29% para la cerveza, y 32% para el papel (Fowkes, et al, 1989, p. 23).

En un estudio del mismo estilo, Kaatama examina las actitudes de un grupo de importadores y exportadores finlandeses respecto de costo monetario del transporte y sus respectivos atributos (ver Lalwani, et al, 1991, p. 139). El estudio reveló que el atributo del costo monetario es un factor clave en la selección del modo de transporte, aunque su importancia fue menor al evaluar los atributos de velocidad y confiabilidad en el movimiento de carga.

En el modelado de pronósticos de transporte de carga, también se han usado enfoques estocásticos. Garrido y Mahmassani (1998), desarrollaron un marco de referencia para el análisis, la descripción y el pronóstico de los flujos de carga, teniendo en mente objetivos

operacionales y tácticos. El modelo econométrico que presentan es dinámico, e incorpora las características temporales y espaciales de la demanda del transporte en un marco de modelación estocástica. El problema específico de interés es la caracterización de los patrones de embarque, en el sentido siguiente: dada una región geográfica R, con información parcial de su actividad socio-económica, calcular la probabilidad de que un producto dado C, tenga que ser movido desde el origen O, durante un intervalo de tiempo "t", y entregado en el destino D. La demanda de transporte entonces resulta un proceso estocástico con efectos de interacción tanto espaciales como temporales. Entre las conclusiones del trabajo está ser aparentemente el primer reporte de este tipo, que muestra un enfoque unificado espacio-temporal del problema de la demanda de transporte de carga.

3.3. Aplicaciones al transporte de carga

Como paso previo a la modelación del transporte de carga, resulta conveniente considerar los factores que pueden influir en este tipo de transporte. La siguiente lista muestra los que se encuentran más comúnmente en la práctica (Ortúzar y Willumsen, 1994):

- Factores de ubicación. Al ser el movimiento de carga una demanda derivada, y generalmente estar asociada a procesos industriales y de manufactura, la ubicación de las fuentes de materia prima, y los servicios que requieren los procesos productivos; así como la ubicación de los mercados intermedios y finales de los productos, determinarán los niveles de movimientos de carga incluyendo los orígenes y los destinos
- Factores de diversificación. La diversidad de productos terminados y semiterminados es enorme; mucho mayor que la más sofisticada y detallada segmentación posible para el transporte de pasajeros, por tipo de viajero y propósito de viaje. Por eso es común encontrar una diversidad de matrices de flujos de muchísimos insumos en estudios de demanda de transporte de carga
- Características físicas de la carga. El tipo y características de los diversos insumos y los productos terminados determina en gran medida la manera en que se transportan: a granel, empacados en vehículos ligeros, con fuertes medidas de seguridad si son de alto valor, o refrigerados si son perecederos
- Factores operacionales. El tamaño de las empresas, sus políticas de canales de distribución, o su distribución regional también influyen en la elección de los posibles modos de transporte, y sus estrategias de embarque
- Factores geográficos. La ubicación y la densidad de las poblaciones es un factor importante en la determinación de los flujos de distribución de productos terminados
- Factores dinámicos. Son factores que cambian con el tiempo, como son las variaciones estacionales de la demanda, o los cambios en las preferencias de los consumidores y que transforman los patrones de los flujos de distribución de productos terminados.

La consideración de estos factores es una guía para delimitar el entorno y los alcances que

tendrá cualquier ejercicio de modelación del transporte de carga.

En cuanto a la adaptación del paradigma de las cuatro etapas, el primer paso consiste en analizar la generación y atracción de viajes en el área geográfica de interés. Las distintas técnicas que pueden usarse para estimar el número total de viajes terminales dependerán del nivel de agregación de los datos disponibles, y del tipo de productos que se estén transportando (Ortúzar y Willumsen, 1994). Así, por ejemplo:

- Encuestas de demanda y oferta realizadas directamente para los flujos principales de algunos productos homogéneos, como azúcar, petrolíferos, mineral de hierro, cemento, fertilizantes, granos, etc. Esta información podría provenir de estudios industriales o sectoriales, y su enfoque sería para los movimientos interurbanos. El enfoque no se recomienda para manejo de carga en el ambiente urbano.
- Modelos macroeconómicos como los de insumo-producto que se fundamenten en datos regionales, más que en datos a nivel nacional
- Modelos de regresión lineal múltiple referidos a las zonas del área estudiada, que pueden proporcionar medidas agregadas de la generación y atracción de cargas; en particular en áreas urbanas
- En el ambiente urbano, la demanda de carga podría estar también asociada con la capacidad de almacenamiento o con el nivel de compras totales en cada zona, más que con algún índice de actividad industrial.

Una vez estimada la generación y la atracción de los viajes de carga, los modelos más usados para la etapa de distribución pueden aplicar factores de crecimiento para actualizar matrices origen-destino ya conocidas, o también utilizarse modelos agregados. Las dos técnicas más usuales son el modelo gravitacional y el modelo de transporte.

El modelo gravitacional tiene la siguiente forma general:

$$T_{i-j}^k = A_i^k B_j^k O_i^k D_j^k \exp(-\beta^k C_{i-j}^k)$$

donde el índice **k** se usa para distinguir al tipo de producto movido,

T_{i-j}^k son las toneladas de producto **k** que se transportan de **i** a **j**

A_i^k y B_j^k son los factores de balance del modelo gravitacional,

O_i^k y D_j^k representan la oferta y la demanda del producto **k** en las zonas **i**, **j**, respectivamente

β^k es el parámetro de calibración para el producto **k** y

C_{i-j}^k es el costo generalizado del transporte por tonelada de producto **k** entre las zonas **i**, **j**

El modelo de transporte (es el clásico problema del transporte en investigación de operaciones); tiene la forma de un programa lineal, y se resuelve con un método especializado (algoritmo del transporte) que mejora el desempeño del método simplex usual en programación lineal. El objetivo es minimizar el costo total del transporte (usualmente sólo en términos monetarios), respetando las restricciones de oferta y demanda. Su forma es:

$$\text{Minimizar } Z = \sum_i \sum_j C_{i-j} T_{i-j}$$

sujeta a :

$$\sum_i T_{i-j} = D_j$$

$$\sum_j T_{i-j} = O_i$$

Este modelo es útil para representar el esfuerzo de una empresa grande que trata de satisfacer la demanda de sus clientes a mínimo costo; aunque otras funciones objetivo, como maximizar utilidades o el costo total (p ej, incluyendo costos de producción e inventario), pueden acomodarse al programa lineal. El modelo ha resultado apropiado en el caso en que:

- La actividad industrial está concentrada en pocas empresas
- El valor de los bienes transportados es bajo y el del transporte alto
- Existen relativamente pocos puntos de demanda

Por otro lado, el modelo gravitacional, ajustable con el parámetro β es más adecuado para representar la importancia relativa que puede tener el costo del transporte en los movimientos de carga (Ortúzar y Willumsen, 1994); así puede haber cambios importantes en la predicción del modelo gravitacional, según se considere el movimiento de graneles de baja densidad económica donde puede ser significativo el costo de transporte, o el movimiento de productos manufacturados de la industria electrónica, con altos valores económicos y en los que el costo de transporte representa sólo una pequeña fracción del costo total.

En la etapa siguiente, la selección de modo trata de modelar la decisión del embarcador del modo de transporte a utilizar. En la modelación a nivel agregado, es común el uso del modelo *logit multinomial* basado en el costo generalizado del transporte. En el caso del transporte de carga urbano, la selección de modo es más bien trivial, ya que la oferta de transporte de modos distintos al autotransporte, es muy limitada.

En la última etapa se modela la asignación de los flujos de tráfico a los distintos tramos de la red de transporte. Para el movimiento urbano se toman en cuenta las capacidades de las distintas vialidades; para el transporte interurbano, es común emplear modelos de asignación estocástica (p ej, el modelo logit, o el probit). Por otra parte, la modelación de la asignación del tráfico debe considerar los distintos tipos vehiculares ya que, por ejemplo, la pendiente del camino afecta a los camiones pesados, pero no a las camionetas ligeras de reparto; igualmente, los vehículos que mueven perecederos y llevan placas sin restricciones a la circulación, deben representarse en los modelos con sus respectivas prioridades.

Ya identificados los pasos principales de la aplicación del modelado del transporte de carga, conviene examinar las distintas líneas que se pueden seguir en el modelado, a fin de apoyar las actividades de planeación del transporte.

Tratando de tener una panorámica de la situación, Holguín-Veras, et al (2001) han clasificado los principales asuntos de interés para los planificadores de un sistema de transporte de

carga en familias temáticas que agrupan tipos similares de problemas, como sigue:

1. **Mejora de la capacidad.** Se refiere a las acciones orientadas a tener un incremento significativo de la oferta para el sistema de transporte de carga
2. **Conservación del sistema.** Son las acciones orientadas a mantener y conservar la infraestructura del sistema en un buen estado para los usuarios.

De particular interés es el daño a la infraestructura; impacto atribuible exclusivamente al movimiento de vehículos de carga, a diferencia de los otros impactos como la congestión, los accidentes y el ruido, que son comunes a todos los vehículos. El PBV de los camiones, mucho mayor comparado al de autos y autobuses, y la llamada *Ley de la 4ª. Potencia*, que establece que el daño estructural provocado al pavimento por un eje, es aproximadamente proporcional a la cuarta potencia de la razón de la carga en el eje al peso de un eje estándar de referencia (usualmente de 8.16t, llamado Equivalent Standard Axle Load, ESAL), explica esta particularidad
3. **Operaciones.** Son las acciones y los subsistemas que mejoran la forma en la que la actividad del transporte, o las actividades relacionadas son llevadas a cabo
4. **Gestión de la demanda de transporte.** Se refiere las acciones encaminadas a inducir o fomentar cambios en la demanda que resulten en un uso más eficiente de la infraestructura existente
5. **Políticas.** Es el conjunto de iniciativas que definen la forma en la cual los objetivos a largo plazo serán logrados. En su mayoría, los objetivos se relacionan con metas regionales como el desarrollo económico, o con el cumplimiento de regulaciones gubernamentales, tales como las normas ambientales o las de seguridad vial.

Esta clasificación se complementa con una lista de herramientas potencialmente útiles para resolver los problemas agrupados en las familias temáticas; estas herramientas son:

1. Herramientas de modelación

- a) Modelos regionales de carga. Se refiere a modelos capaces de producir estimaciones de la oferta y la demanda del servicio de carga a nivel regional, tanto para condiciones actuales como para condiciones futuras como parte de un proceso de pronóstico
- b) Modelos de carga para mercados específicos. Son modelos enfocados a una descripción detallada de mercados específicos. Estos mercados pueden definirse geográficamente como, p ej, un corredor de transporte; o respecto a proveedores de un servicio específico; tal es el caso de la mensajería rápida; o para mercancías específicas (acero, cemento, etc.)
- c) Modelos de simulación de operaciones. Son modelos del tipo microscópico, con suficiente detalle como para analizar esquemas operativos concretos, p ej, la operación de un puerto o los sistemas de control de tráfico en redes urbanas
- d) Modelos de análisis de capacidad. Son modelos analíticos o empíricos que tratan de estimar los flujos máximos que pueden manejarse en un sistema de transporte, bajo las restricciones prevalecientes

2. Análisis de infraestructura

- e) Evaluación de la condición de la infraestructura. Son técnicas que apoyan el

análisis y la toma de decisiones de conservación del sistema; incluyen técnicas como los sistemas de administración de pavimentos, el modelado del nivel de servicio de las vialidades, o la evaluación de la condición de la infraestructura

3. Evaluación de impactos

- f) La economía del transporte. Es la aplicación de la economía enfocada a estimar los impactos del transporte que afectan a distintos segmentos de usuarios, incluyendo la evaluación de cambios conductuales; la definición de la política económica para el transporte; la estimación de costos y beneficios reales del transporte; y la evaluación de externalidades, como son los efectos en la salud de las emisiones contaminantes, o los accidentes viales
- g) Evaluación ambiental. Se refiere a la estimación del impacto del transporte en el medio ambiente, conforme a estándares establecidos de calidad del ambiente
- h) Análisis de localización. Se refiere al análisis de las localizaciones potenciales para instalaciones y servicios para el transporte de carga, incluyendo el estudio de las restricciones zonales

4. Planeación de la participación de las partes

- i) Identificación de las partes interesadas. Es el proceso de definir el ámbito de las partes potencialmente interesadas en la problemática del transporte, para solicitar y asegurar su retroalimentación al aplicar las políticas, y tomar decisiones sobre el sistema de transporte. En el movimiento de carga, el impacto que el transporte tiene en las comunidades, necesita de un proceso continuo de retroalimentación entre las instancias que operan y controlan el transporte de carga, los grupos locales y las empresas. La funcionalidad de este proceso de retroalimentación, es esencial para la implementación exitosa de las políticas y los proyectos

En la tabla 3.2 se muestran las familias temáticas desglosadas en distintas áreas de aplicación, junto con las herramientas potencialmente útiles para abordar los diversos problemas dentro de cada temática. Esta tabla puede ser una guía para orientar la selección de la problemática de interés para el planificador, identificando a la vez las herramientas que podrían utilizarse en la solución de los problemas.

Tabla 3.2. Clasificación general de las temáticas de carga y herramientas potencialmente útiles (basado en Holguín-Veras, et al, 2001)

CLASIFICACIÓN GENERAL DE LAS TEMÁTICAS DE CARGA Y HERRAMIENTAS POTENCIALMENTE ÚTILES									
	Modelo regional de carga	Modelo de carga para mercado específico	Modelo de simulación de operaciones	Modelo de análisis de capacidad	Evaluación de la condición de infraestructura	Economía del transporte	Evaluación ambiental	Análisis de localización	Identificación de las partes interesadas
1. Mejora de la capacidad									
a) Carreteras	♦			♦		♦	♦	♦	♦
b) Líneas férreas	♦			♦		♦	♦	♦	♦
c) Terminales intermodales	♦			♦		♦	♦	♦	♦
d) Almacenaje y distribución	♦			♦		♦	♦	♦	♦
e) Conectividad entre modos	♦			♦		♦	♦	♦	♦
2. Conservación del sistema									
a) Conservación y mantenim. carretero	♦				♦	♦	♦		♦
b) Conservación y mantenim. de líneas férreas	♦				♦	♦	♦		♦
c) Puertos y terminales	♦				♦	♦	♦		♦
d) Dragado	♦				♦	♦	♦		♦
3. Operaciones									
a) Eficiencia de terminales			♦						♦
b) Admon. de acotamientos y áreas peatonales			♦						♦
c) Mejora del ruteo y uso de las autopistas			♦						♦
d) Uso de tecnologías de la información			♦						♦
4. Gestión de la demanda									
a) Tarifación y peaje		♦				♦	♦		♦
b) Entregas en horas fuera de punta		♦				♦	♦		♦
c) Mejora del reparto modal		♦				♦	♦		♦
5. Políticas									
a) Impuestos		♦				♦	♦		♦
b) Regulaciones de peso/dimensiones		♦				♦	♦		♦
c) Prohibiciones de circulación a vehs. de carga	♦					♦	♦		♦

3.4. El problema de los datos para los modelos de carga

La relevancia que el movimiento de carga tiene para el desarrollo económico nacional es algo que difícilmente puede cuestionarse. Sin embargo, el desempeño eficiente del transporte de carga depende de la disponibilidad de datos confiables y oportunos de los flujos de cargas, que permitan sustentar la toma de decisiones para todos los actores que intervienen en su generación. Tanto el sector privado como el gubernamental requieren datos del transporte de carga para abordar los problemas de congestión, competitividad, y eficiencia económica, seguridad vial y control de impactos ambientales.

Disponer de datos desagregados de los flujos de carga, es necesario para:

- Tener una imagen clara de los movimientos del transporte de carga, a nivel estatal y nacional
- Comprender la geografía económica
- Evaluar estrategias para mejorar la movilidad de la carga
- Posibilitar una planeación eficaz del uso del suelo
- Efectuar proyecciones del desempeño del transporte de carga
- Identificar nichos de oportunidad en el mercado del transporte
- Mejorar la competitividad económica, a nivel regional y global
- Apoyar la toma de decisiones sobre inversiones y políticas para optimizar el uso de los modos
- Determinar el impacto que los flujos de carga tienen en la infraestructura carretera –puentes y pavimentos–, y sus implicaciones en términos de costos y financiamiento
- Proponer medidas de alivio a los impactos del tráfico de carga, sobre la movilidad general en el sistema de transporte
- Mejorar la seguridad y confiabilidad del sistema carretero
- Promover la eficiencia del transporte, y reducir la congestión
- Reducir el consumo de combustibles, y mejorar la calidad del aire
- Reducir los costos incrementales de operación para todos los usuarios

(Mani, A. and Prozzi, J. ,2004; TRB, 2003)

La obtención de datos del transporte de carga, a diferencia de los datos que se colectan en el de pasajeros, inevitablemente se liga al problema de la confidencialidad y del secreto comercial de los transportistas y embarcadores. Proporcionar información detallada del tipo de carga que se mueve, su origen, destino, frecuencia y tonelaje representa para cualquier transportista el riesgo natural de que sus competidores se enteren, y traten de participar en ese nicho de mercado con mejores ofertas de flete para los embarcadores. Del mismo modo, la

información sobre los fletes pactados; los descuentos por cantidades, y otros detalles que pudieran proporcionar los cargadores, debilita el posicionamiento que pudieran tener éstos para negociaciones futuras con los transportistas, o con los operadores logísticos que organizan el movimiento intermodal.

En México, varias instancias gubernamentales y privadas disponen de diversos datos sobre los movimientos de carga. Así, la Dirección General del Autotransporte Federal (DGAF) de la SCT, tiene información sobre los permisionarios y sus vehículos; el INEGI ha publicado ya sus *Censos Económicos 2004. Transportes, correos y almacenamiento. Resultados generales*, con información agregada sobre empresas de transporte, aunque falta detalle sobre la composición de las flotas; y el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) realiza anualmente el Estudio Estadístico de Campo del Autotransporte Nacional (EECAN), que es una serie de encuestas de camino para obtener información de los flujos de carga, directamente en las carreteras nacionales. Adicionalmente, la Cámara Nacional del Autotransporte de Carga (CANACAR) y la Asociación Nacional de Transporte Privado, A.C. (ANTP), tienen estudios y encuestas propias para diversos fines de sus gremios. Estas fuentes, sin embargo, manejan criterios y diseños de captura de datos diferentes, y no resulta sencillo fusionar e integrar sus distintas informaciones.

De este modo, la circunstancia actual plantea el problema de buscar una integración de todas estas fuentes en un marco de referencia más amplio, que permita estandarizar los puntos de vista de todos los participantes, y que de como resultado una fuente de datos más amplia y que sirva a diversos propósitos de planificación.

Esta circunstancia se ha presentado de modo similar en los Estados Unidos, donde ya ha habido alguna iniciativa para abordar el problema, la cual puede servir de guía en la tarea de organizar el esfuerzo de integración de datos de carga en el país. Enseguida se resume la experiencia norteamericana reciente.

La experiencia norteamericana con datos de carga

En los Estados Unidos se ha reconocido desde finales de los años 1990, la necesidad de coleccionar y procesar de manera regular datos del transporte de carga para fines de planeación. Igual que en México, los norteamericanos han reconocido que los patrones de flujos de carga para los que se diseñaron las infraestructuras actualmente en uso, han cambiado debido al crecimiento del comercio internacional, y a los cambios en la operación del transporte derivados de las prácticas logísticas contemporáneas.

Para abordar la problemática, el Transportation Research Board (TRB), a solicitud del Bureau of Transportation Statistics (BTS), desarrolló en 2003 un marco de referencia para un programa nacional de datos del transporte de carga (TRB, 2003).

Los principales hallazgos en este trabajo, fueron los siguientes:

- a) Datos confiables, consistentes y oportunos del movimiento de carga en los Estados Unidos son esenciales para una toma de decisiones informada en todos los niveles de gobierno y en el sector privado, acerca de: a) inversiones e infraestructura; y b) políticas de transporte. Estos datos también se necesitan para respaldar la toma de decisiones en la operación y optimización del sistema de transporte en su conjunto –decisiones que garanticen el movimiento seguro y eficiente, tanto de pasajeros como de carga.
- b) El actual conjunto de fuentes de datos, con pocas coincidencias y distintos criterios, resulta costoso de generar y mantener; pero no proporciona a los tomadores de decisiones, los datos que se necesitan. Para remediar esto, se requiere un marco de referencia nacional que oriente el desarrollo de una base de datos de carga nacional, así como las actividades relacionadas de colecta, depuración y síntesis, que posibilite satisfacer las necesidades de los distintos usuarios interesados en el transporte de carga.
- c) Un marco de referencia nacional para los datos del transporte de carga, ofrece ventajas potenciales para mejorar la seguridad del transporte, y la sustentabilidad y el crecimiento económicos.
- d) Los datos básicos que parecen capturar características importantes de los movimientos de carga, y que satisfacen las principales necesidades de una amplia variedad de usuarios, en los sectores público y privado son:
 - Origen y destino
 - Características de la carga, peso y valor
 - Modos de transporte usados
 - Ruteo y hora del día en que se transita
 - Tipo de vehículo y su configuración
- e) El Gobierno Federal está posicionado de manera singular para ejercer el liderazgo necesario para el buen logro de un programa dedicado a desarrollar e implementar el marco de referencia nacional de datos del transporte de carga.

De estas observaciones se obtuvo una lista de ocho recomendaciones para guiar el desarrollo del programa nacional de datos. Las recomendaciones fueron las siguientes:

- Recomendación 1. El Departamento de Transporte Norteamericano (USDOT) debe asumir un papel de liderazgo en el desarrollo e

implementación de un marco de referencia nacional para los datos del transporte de carga.

- Recomendación 2. El Departamento de Transporte (USDOT) debería establecer un Comité asesor sobre datos del transporte de carga con el fin de orientar el desarrollo e implementación del marco de referencia nacional para datos de carga.
- Recomendación 3. La oficina de estadística del transporte (Bureau of Transportation Statistics, BTS) debería tener un papel relevante en el desarrollo e implementación del marco de referencia, en estrecha colaboración con el Comité asesor.
- Recomendación 4. El Departamento de Transporte (USDOT) y la oficina de estadística (BTS), con la guía del Comité asesor debería explorar el potencial para satisfacer las necesidades de datos de carga, con tareas que podrían incluir:
 - o El análisis de los méritos relativos de las distintas clases de encuestas (a transportistas, distribuidores, cargadores, consignatarios) –y sus posibles combinaciones–, a fin de captar distintos tipos de usuarios y sus requerimientos
 - o La identificación y evaluación preliminar de las oportunidades de uso de fuentes de datos distintas a las encuestas –por ejemplo, datos de transferencias electrónicas (EDI), o datos colectados en sistemas de transporte inteligente (ITS)– a fin de coleccionar datos a bajo costo; completar información faltante; y reducir el esfuerzo de los que responden encuestas;
 - o La identificación de oportunidades para facilitar la integración de datos de distintas fuentes
 - o La investigación de técnicas para auxiliar a diversos usuarios combinando datos de fuentes suplementarias (encuestas a camiones en el medio urbano; datos de consumidores; datos de seguridad vial; etc.), con datos nacionales de carga para satisfacer las necesidades de información de estos usuarios.
- Recomendación 5. El desarrollo e implementación de un marco de referencia nacional para datos de carga, debería guiarse por los siguientes principios:
 - o Tener un enfoque de proporcionar datos reales –en comparación con el uso de datos estimados o sintéticos–, siempre que sea posible.
 - o Garantizar que los datos sean lo bastante oportunos para satisfacer las necesidades de los usuarios.
 - o Garantizar que la colecta de datos y los métodos usados para sintetizarlos estén debidamente documentados, de manera que los usuarios puedan evaluar la calidad de datos resultante y su confiabilidad.

- Fomentar el uso de estructuras de datos compatibles para facilitar la combinación de datos de fuentes distintas.
- Incorporar mecanismos que estimulen la retroalimentación continua de los usuarios, y los refinamientos subsecuentes del marco de referencia.
- Recomendación 6. El Departamento de Transporte (USDOT) y la Oficina de Estadística (BTS) deberían promover activamente la participación de los proveedores de datos como socios en el desarrollo e implementación del marco de referencia, a través de:
 - Explicaciones claras de por qué se están colectando los datos y para qué propósitos serán usados
 - Evitar requerimientos de reportes demasiado sobrecargados
 - Respetando rigurosamente el imperativo de mantener la confidencialidad de los datos
- Recomendación 7. El Departamento de Transporte (USDOT), y la Oficina de Estadística (BTS), con el apoyo del Comité asesor, debería investigar las oportunidades de fomento a las inversiones en colecta y síntesis de datos, para diversas organizaciones en los sectores público y privado. Estas actividades serán de gran valor para apoyar los esfuerzos del Gobierno Federal en la implementación del marco de referencia nacional de datos de carga.
- Recomendación 8. La implementación del marco de referencia nacional para datos del transporte de carga, muy probablemente requerirá un esfuerzo continuo en un periodo de siete a diez años, por lo que el Departamento de Transporte (USDOT) y la Oficina de Estadística (BTS) deberían impulsar la planificación, el desarrollo, y las habilidades de gestión que el proyecto necesita a fin de que el programa tenga continuidad.

La circunstancia norteamericana, si bien no es exactamente la misma que la mexicana, tiene una serie de coincidencias que pueden dar orientación sobre líneas de acción que se requieren para organizar una base de datos nacional sobre transporte de carga.

El enfoque básico de este marco conceptual está en incrementar las ligas y relaciones entre las diferentes fuentes de datos, y en completar las lagunas de información para desarrollar una fuente de mayor alcance de datos confiables y oportunos sobre los flujos de carga. La base de datos nacional resultante, podría entonces llenar las necesidades principales de una amplia variedad de usuarios, capturando las características esenciales de los movimientos de carga. La tarea es difícil y larga, y es importante notar que resultados de uso general no podrán obtenerse en el corto plazo, por lo que se requerirá que el planificador considere horizontes mayores a los sexenales comúnmente usados en la administración pública.

4 Desarrollos recientes en la planeación del transporte de carga

4.1 La planeación del transporte de carga norteamericano

En 1991, la ley norteamericana de eficiencia en el transporte intermodal de superficie (Intermodal Surface Transportation Efficiency Act, ISTEA) exigió a las organizaciones y agencias de planificación, que tomaran en cuenta los movimientos suburbanos de carga para el proceso de planeación del transporte a largo plazo. En 1992, el Departamento de Transporte norteamericano (US DOT), y otras agencias estadounidenses arrancaron el Programa del Modelo Mejorado de Viajes (Travel Model Improvement Program, TMIP), que era de tipo multianual y repartido entre varias agencias dedicado al desarrollo de nuevas prácticas en el modelado de la demanda de transporte, para un amplio rango de modos y de circunstancias operativas.

Uno de los primeros documentos relacionados con el transporte de carga fue el Manual de Carga de Respuesta Rápida (Quick Response Freight Manual), que proporcionaba información básica del sistema de transporte de carga a los planificadores interesados en esta temática, así como consejos sobre disponibilidad de datos; técnicas simples para la planeación de los flujos de carga; y parámetros transferibles para aplicarse en diversas circunstancias similares, que sirvieron de apoyo a las tareas de planeación (TMIP, 1996).

Otro programa más específico orientado al movimiento de carga fue el Marco de Análisis de Carga (Freight Análisis Framework, FAF), impulsado por la Administración Federal de Carreteras norteamericana (Federal Highway Administration, FHWA), que tuvo el propósito de estudiar las relaciones geográficas entre los flujos de carga y las capacidades en la red carretera. Con esta guía, las zonas con problemas de capacidad o infraestructura subutilizada, pueden administrarse conjuntamente a fin de sacar el máximo provecho del sistema de transporte. Las bases de datos del FAF reunieron información detallada de los diversos flujos de carga por carretera, por ferrocarril, por agua, y por transporte aéreo; y proporcionó las primeras proyecciones de las actividades de carga norteamericanas para los años 2010 y 2020.

En una extensión del marco del FAF, la FHWA propuso en 2003 un examen adicional de los programas, políticas, e iniciativas que se habían tomado para enfrentar los retos del transporte de carga norteamericano en el documento, *La historia de la carga: Una perspectiva nacional para mejorar el transporte de carga (The Freight Story: A National Perspective on Enhancing Freight Transportation* FHWA, 2003). En esta propuesta, se identificaron ocho puntos clave que tiene que enfrentar la planeación del transporte de carga en los Estados Unidos:

1. El congestionamiento

2. Las operaciones
3. La planeación
4. El financiamiento
5. La seguridad vial
6. La seguridad nacional
7. El medio ambiente
8. La capacitación profesional

Luego de la experiencia de los resultados del FAF y de las discusiones tenidas con varios actores en el ramo del transporte de carga, el enfoque estadounidense para abordar el problema de mejorar su sistema de transporte, adoptó un enfoque geográfico para cubrir tanto los corredores domésticos como los internacionales, y con esto se identificaron dos estrategias a seguir:

1. La necesidad de contar con un marco institucional que apoye a la identificación de los temas críticos en el transporte de carga, así como en su evolución y en los procesos de solución
2. La necesidad de tener un mecanismo de financiamiento de amplia cobertura y de carácter sustentable para auxiliar en la implementación de los proyectos, que se seleccionen para mejorar al transporte de carga

En particular estas dos estrategias, que explícitamente han reconocido la necesidad de un cuerpo institucional dedicado al análisis y a la solución de los problemas del área de carga, así como contar con un fondo de financiamiento dedicado exclusivamente a apoyar los proyectos que surjan del análisis, ha contribuido a marcar pautas de comparaciones internacionales que guían a los planificadores del transporte en otros países.

En 2006 surgió el Programa Nacional Cooperativo de Investigación en Carga (National Cooperative Freight Research Program, NCFRP), patrocinado por la Administración de Investigación e Innovación Tecnológica (Transportation's Research and Innovative Technology Administration ,RITA) del Departamento de Transporte (USDOT). El objetivo del NCFRP es hacer investigación aplicada en problemas que enfrenta la industria del transporte de carga en general, y que no se han resuelto adecuadamente por los programas existentes de investigación (TRB, 2006).

La ley norteamericana SAFTEA-LU (Safe, Accountable, Flexible, Efficient Transportation Equity Act: A Legacy for Users, SAFETEA-LU) que fundamentó la creación del NCFRP, solicitó desde el inicio el desarrollo de una agenda nacional de investigación en carga que identificara y abordara los problemas del transporte de carga, así como la implementación de un plan estratégico multianual para lograr los objetivos. Entre las áreas de investigación incluidas en esta solicitud estuvieron:

1. Técnicas para estimar y cuantificar los beneficios públicos derivados de proyectos para el transporte de carga
2. Enfoques alternativos para calcular la contribución de los tráficó de camiones y de ferrocarriles, a la congestión de segmentos carreteros específicos
3. Factibilidad de consolidar orígenes y destinos en el movimiento de cargas
4. Métodos para incorporar estimaciones del comercio internacional en los modelos de planeación de interacciones transporte-uso del suelo
5. Uso de aplicaciones tecnológicas para incrementar la capacidad de los carriles carreteros, dedicados exclusivamente a camiones de carga
6. Desarrollo de alternativas físicas y de políticas para separar el tráfico de automóviles del de vehículos de carga
7. Formas de sincronizar las mejoras de la infraestructura con la demanda de transporte de carga
8. Efectos de los cambios en los patrones de flujo, sobre las decisiones de la planeación del transporte en relación con las demás áreas
9. Otras áreas de investigación para identificar y abordar necesidades emergentes y futuras de investigación, relacionadas con el transporte de carga por cualquier modo

Complementariamente, el NCFRP se propone cubrir una amplia variedad de temas relacionados con el objetivo de mejorar la eficiencia, confiabilidad y seguridad del sistema de transporte de carga norteamericano (TRB, 2006).

La administración del programa, que ha tomado la experiencia de otros programas cooperativos, se ocupa de las siguientes tareas:

- Apoyar al Comité de Supervisión en identificar y dar prioridad a las necesidades de investigación
- Agendar y coordinar los distintos paneles de expertos para orientar los proyectos de investigación
- Desarrollar y distribuir las convocatorias propuestas
- Procesar y evaluar las propuestas, para seleccionar a las agencias de investigación más calificadas
- Hacer las contrataciones con los grupos de investigación seleccionados
- Orientar la investigación
- Revisar los reportes de investigación
- Publicar y difundir los reportes de investigación

- Promover la aplicación de los resultados de las investigaciones

Cabe hacer notar que aparte de la organización planeada para el programa NCFRP, la legislación norteamericana ha previsto un financiamiento de \$3.75 millones de dólares anuales en el periodo 2006–2009, lo que le da un notable soporte para el logro de sus objetivos (TRB, 2006).

4.2 La experiencia europea reciente en el transporte de carga

El punto de vista europeo sobre el transporte de carga, ha estado fuertemente ligado a los esfuerzos de integración de la Unión Europea (UE), donde la tarea de armonizar los sistemas de transporte de los países miembros, a fin de formar la Red TransEuropea, ha dominado la escena en los últimos años.

Entre los primeros rasgos reconocidos por la Unión Europea estuvo el desequilibrio entre el transporte ferroviario y el autotransporte, debido principalmente al efecto combinado de la flexibilidad natural del autotransporte y una serie de ineficiencias históricas del sector ferroviario europeo.

Por ello, la Comisión Europea propuso una estrategia para revitalizar sus ferrocarriles comenzando con la solución del mal funcionamiento crónico de ese modo, tal como: la falta de infraestructura apropiada o de interoperabilidad entre redes y sistemas; la falta de claridad en sus costos; y la falta de confiabilidad en sus operaciones (European Commission, 2001, pp. 21-30).

Con el fin de conocer mejor el movimiento de carga, en 2001 la Comisión Europea patrocinó el estudio SOFTICE (*Survey on Freight Transport Including a Cost Comparison for Europe*).

Este estudio planteaba dos preguntas fundamentales:

a) Qué factores afectaban a la estructura de costos del transporte de carga y a la demanda del servicio

b) Cómo un cambio de política de transporte, afectaría los costos de esta actividad, y en consecuencia, las competitividades relativas de las industrias en los distintos países miembros (Musso, A., 2001).

El proyecto colectó datos de costos de transporte, encuestando a un grupo de 40 embarcadores europeos. Se abordaron las principales cuestiones metodológicas sobre segmentación de mercados, tipos de cadenas de suministro integradas y calidad del servicio, que se usaron para analizar la situación, y ensayar los efectos de varios factores y sensibilidades de mercado; también se evaluaron las consecuencias de distintas políticas de impuestos, e internalización de costos en la organización espacial de la producción.

Una segunda encuesta se utilizó para evaluar las reacciones de los embarcadores europeos a los cambios de políticas en los distintos países miembros de la UE. Con el SOFTICE se obtuvo una panorámica de las estructuras de costos del

transporte de carga y aspectos clave de las reacciones de los embarcadores hacia los cambios de políticas del transporte.

En las conclusiones de este estudio se consideró que la internalización de las externalidades del transporte de carga, a través de cargos a usuarios se reconoce cada vez más como un principio de equidad, que a la vez es eficaz para combatir la congestión, aunque cambia la estructura de costos en el mercado del transporte de carga. Esto a su vez, impactaría a todo el sector industrial, aunque la magnitud de los incrementos de precios variaría en los distintos países miembros de la UE por la diversidad de regímenes fiscales que se manejan.

El estudio concluye que el efecto neto de estas medidas en el sector industrial podría esperarse positivo, pues los mayores cargos a usuarios de las infraestructuras y las contribuciones compensatorias por los impactos del transporte (externalidades) podrían compensarse, reduciendo impuestos (p ej, al reducir los gastos de conservación del ambiente), y porque el sector transporte en general se beneficiaría de otras reducciones de costos (Musso, A., 2001).

De la tabla 4.1 se ha concluido que el modelado del transporte de carga en el ambiente europeo, se caracteriza por:

- a) Una cierta necesidad creciente de detalles (tipos vehiculares, logística, detalle espacial)
- b) La necesidad de extender las dimensiones del modelado a un sistema de transporte mucho más amplio, tanto geográfica como funcionalmente; es decir, requiere una liga entre el transporte y la economía (Tavasszy, L.A., 2006).

Los asuntos centrales a la política de transporte europea que han generado demanda para modelos de transporte, se muestran en el resumen de la tabla 4.1 a continuación.

Tabla 4.1 Asuntos clave de la política del transporte y las necesidades asociadas de modelación (basado en Tavasszy, L.A., 2006)

Asunto clave de política de transporte	Necesidades de modelado
El crecimiento del tráfico de carga: se estima que a nivel mundial se duplicará en 2050; en la UE los flujos las tasas de crecimiento de los flujos internacionales duplican las de los flujos domésticos.	Pronósticos de crecimiento del flujo internacional de carga. Desacople del flujo de carga de la economía. Análisis de sensibilidad a cambios de costo.
Aumento de la participación de carga en carreteras: mientras que el tráfico de pasajeros empieza a reducirse, el de carga aumenta en vehículos más pequeños, y la carga comienza a dominar ambientes urbanos.	Comportamiento del tráfico de camiones de carga. La influencia de la intensidad del tráfico de carga sobre los conductores de automóviles.
Creación de redes multimodales continuas, nuevos enfoques en "caminos marinos" y vías fluviales.	Combinación de modelos de transporte terrestre y acuático. Redes europeas multimodales.
Competitividad internacional de la UE, relaciones bilaterales entre redes mundiales y comercio global. Discusión sobre "transporte de carga y economía": ¿cuáles son los costos y beneficios (indirectos) de las inversiones en transporte de carga?	Desarrollo de modelos globales y continentales. Mejora de la relación entre modelos de redes y modelos de equilibrio general computable (Spatial Computable General Equilibrium).
Tarificación: La aplicación a todos los modos de cargos que puedan soportar (o los que sean equitativos a la luz del cálculo de sus externalidades), es cada vez más común. Los distintos países miembros de la UE tienen distintas actitudes y estrategias para la tarifización.	Respuesta a la situación de cambios en los costos de transporte (tipo de vehículo, clase de camino, hora del día, etc).
Logística: este sector está generando productos y creando redes complejas y flexibles con conceptos logísticos avanzados como cadenas de suministro híbridas, las redes cooperativas, la logística electrónica (e-logistics), y la logística inversa.	Diferenciación de mercancías con distintos contextos logísticos; desarrollo de estadísticas detalladas.
Cambios en los tipos vehiculares, pesados/ligeros: las estadísticas de vehículos ligeros de carga han rebasado las otras categorías, y parecen ser más difíciles de capturar (tanto en términos de mediciones, como en políticas aplicables).	Pronósticos para conocer causas e impactos de la selección del tipo de vehículo.

Tabla 4.1 (continúa)

Asunto clave de política de transporte	Necesidades de modelado
Daño ambiental local: las nuevas regulaciones sobre el ruido y emisiones, requieren un pronóstico más preciso del impacto del transporte de carga. Las nuevas tecnologías demandan inversiones, y la ciudadanía debe participar en la planeación del sistema de carga.	Mayor precisión en los pronósticos y en los niveles de detalle (tipo de tráfico, espacial y temporal).
Economía de 24 horas: a fin de enfrentar la congestión, las empresas empiezan a distribuir la producción y la logística en actividades, día y noche.	Explicación de la dispersión de los flujos en los distintos periodos del día.
Seguridad: se requiere monitorear el tráfico respecto al grado de riesgo implícito, dependiendo del producto movido o del origen de la carga	Modelación de movimientos globales críticos: contenedores, petróleo, productos peligrosos, alimentos
Distribución urbana: a medida que se endurezcan las políticas de acceso a las zonas y actividades urbanas, el movimiento de carga necesitará de nuevas ideas para la distribución.	Pronósticos de viajes a nivel urbano, dependiendo de la hora del día.

Respecto a la modelación del transporte de carga, el ambiente europeo ha identificado tres áreas emergentes de innovación relacionadas con las políticas de transporte de la Unión Europea: 1) la liga entre la economía y el movimiento de carga; 2) el modelado de la conducta logística; y 3) las redes y los viajes de carga (Tavasszy, L.A, 2006). Sus características principales son las siguientes.

1) La liga entre la economía y los movimientos de carga, se refiere a una mejor representación de las relaciones de evolución entre el movimiento de carga y la economía: así, en estudios de costo-beneficio del transporte de carga, un importante impacto a considerar es el aumento de la productividad, asociado a las mejoras en accesibilidad del sistema de transporte. Estas relaciones evolutivas dentro de la economía requieren modelos que traten a la función del transporte en los mercados de los productos. Para este fin se están ensayando modelos económicos espaciales, los cuales integran en su construcción tanto el comercio, como la producción y el consumo. La adición más reciente a este tipo de modelos son los llamados modelos espaciales de equilibrio general computable (Spatial Computable General Equilibrium, SCGE).

Los modelos del tipo SCGE se basan en un marco de referencia microeconómico de equilibrio general, que permite manejar las

posibilidades de sustitución tanto del lado de la oferta (producción), como del lado de la demanda (consumo) en la economía, a través de un sistema de precios endógeno. Toman en cuenta también las relaciones intersectoriales e interregionales en la economía; por tanto, proporciona una visión económica, directa e indirecta de las consecuencias que tienen las políticas del transporte.

2) El comportamiento logístico se refiere a modelos logísticos de carga, cuyo objetivo es describir de modo explícito las compensaciones que se dan entre el transporte y las políticas de inventarios. Estos modelos establecen una liga entre las matrices de origen-destino (O/D) de las localidades de producción y de consumo, y las correspondientes matrices O/D donde la localización de los almacenes está incluida. Tal enfoque es relevante en cuanto que permite determinar: a) los patrones espaciales de los flujos de mercancías al cambiar el uso que se da a la infraestructura; b) los costos de los movimientos del transporte de carga; y c) el impacto económico tanto local como global de las políticas de transporte aplicadas. La introducción de elementos logísticos en la toma de decisiones en los modelos de carga, comenzó en la década de los 1990 en Holanda. Pasó aproximadamente una década, antes de que este enfoque o algo similar empezara a ser utilizado internacionalmente.

La referencia más antigua de un modelo de base logística se debe a Bergman en 1987 (*New generations of freight models: more logistically oriented models, need an possibilities*. Paper presented at the International Meeting on Freight, Logistics and Information Technology, The Hague, 17-18 December, 1987), quien propuso una representación especial más detallada del proceso logístico en los modelos de carga. El modelo SMILE (Strategic Model for Integrated Logistics and Evaluations, de Tavasszy, et al, 1998) fue el primer modelo de carga de tipo agregado que se desarrolló para el ruteo de flujos de carga, a través de centros de distribución. El modelo enumera canales de distribución alternativos, toma en cuenta las posibilidades de consolidación, y calcula el uso de estas alternativas mediante un modelo de elección discreta tipo logit. El modelo empezó a operarse en 1998, y se ha utilizado para el estudio de varias políticas de transporte desde entonces. La introducción del modelo dio inicio a una corriente de nueva investigación y modelado en esta área tanto en los Países Bajos, como en el mundo.

3) Las redes y los viajes de carga. Esta línea de modelado se ha basado en investigaciones europeas previas en el manejo de redes multimodales para asignación de tráfico de carga. Estos modelos han operado a nivel de la Unión Europea y a nivel nacional en países miembros, y se han manejado con diversos grados de refinamiento, incluyendo modelos estocásticos y de tipo multiusuario. En un nivel más detallado, el reto de

conseguir datos para estos modelos ha resultado enorme. Modelos para describir la selección del tipo de vehículo a escala urbana o regional, son prácticamente inexistentes. Los dos principales retos empíricos para estos modelos son la separación de los vehículos ligeros de carga de las unidades pesadas, y la separación del sector de servicios de lo que constituye exclusivamente el traslado de la carga. A nivel nacional, Bélgica, Holanda, Reino Unido, Finlandia y Suecia han desarrollado enfoques de hiper-redes para modelar el movimiento de carga. Estos modelos de asignación de flujo en redes, tratan de modo simultáneo la elección de modo de transporte y de ruta; el modelo holandés incluye a su vez la elección del tipo de vehículo. Aparte del modelo belga, hay al menos otros dos modelos: STEMM y SCENES que utilizan el enfoque de asignación de flujos en una red multimodal.

Como una conclusión general, puede decirse que en modelado de carga, aún hay una variedad de áreas que no están debidamente representadas en los modelos. Particularmente se carece de conocimiento suficiente a nivel de las redes de muchas interacciones asimétricas entre los movimientos de carga y los de pasajeros. En relación con las tres líneas emergentes de innovación en el modelado, es claro que mucho trabajo está apenas iniciando, a pesar de que tanto los principales cuellos de botella para su implantación como los primeros usuarios que lo emplearán, estén plenamente identificados.

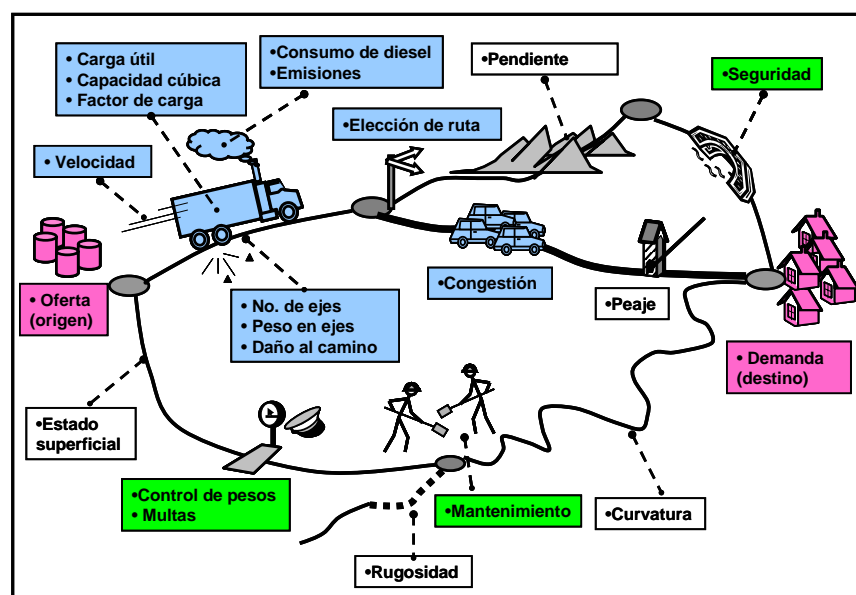
Un reto común para los tres enfoques innovadores es la creación de nuevos datos del transporte de carga que no se han tenido antes. La disponibilidad de técnicas avanzadas de colecta de datos, seguramente tendrá influencia en las habilidades de modelación futuras. Nuevos métodos de observación, como cámaras o equipos de radar vial, permitirán eventualmente el monitoreo continuo de los flujos de carga. Además, las nuevas regulaciones con enfoque en la seguridad en el transporte de carga, podrán generar datos útiles de los flujos que pasan por puntos de revisión. Mientras todas estas fuentes de información se vuelven cotidianas y accesibles, cierta cantidad de creatividad se requerirá para combinar las fuentes actuales, agregadas y desagregadas (Tavasszy, L.A., 2006).

5 Conclusiones y recomendaciones

Las tareas de planeación del transporte, al buscar maneras de dirigir el sistema en la dirección deseada y alcanzar los estándares y metas propuestos, tienen en la modelación una herramienta de gran utilidad para estimar las posibles respuestas del sistema de transporte; los impactos previsible; y las consecuencias que pudiera tener la aplicación de políticas de transporte alternativas. Para el caso del transporte de carga, la modelación resulta más complicada que para el caso del movimiento de pasajeros. El rasgo básico del movimiento de carga es que su generación no se determina por un único agente, como en el caso de los pasajeros, sino por una diversidad de actores (productores, consumidores, cargadores, transportistas, autoridades viales, etc.) que usualmente persiguen objetivos distintos, y en ocasiones hasta opuestos.

Mucho de la planeación del transporte desde el inicio de esta actividad, de modo formal en la década de los años 1950, se ha orientado al movimiento de pasajeros, entre otras cosas por la importancia que la congestión urbana y los accidentes viales han tenido en casi todas las agendas políticas en el mundo. Eso se refleja en que la literatura sobre modelos de transporte de carga, es relativamente menos abundante que la de pasajeros. Aunque por otra parte, la literatura sobre carga tiene mayor diversidad de temas y enfoques que la de pasajeros, debido tanto a la variedad de actores que intervienen en los movimientos de carga, como a la gran diversidad que puede tenerse en la clasificación de los productos transportados.

Una forma de abordar el modelado del transporte de carga que ha resultado de utilidad en el ambiente de ingeniería, es el enfoque sistémico. Una imagen panorámica del sistema de transporte de carga, como la mostrada en la figura 2.6, que se reproduce enseguida, es la base para identificar los elementos y las variables asociadas que son relevantes para la modelación.



En esta identificación de variables, algunas son *variables de decisión* de los transportistas (toneladas cargadas, ruta elegida, tipo de vehículo usado, etc.) que buscan optimizar su desempeño; y otras son *parámetros* (pendiente del camino, velocidades máximas permitidas, peajes, etc.) para calcular medidas de desempeño, como costos o tiempos de entrega; mientras que para el planificador, las variables de decisión del transportista son parámetros para medir su desempeño en objetivos, como mantener un buen estado superficial del camino, o reducir las emisiones contaminantes. Asimismo, para propósitos de planeación, *los parámetros del transportista* (reglamentaciones, peajes, características geométricas del camino, etc.) son *las variables de decisión del planificador*, y por tanto, los instrumentos de control y regulación del transporte de carga.

Al emprender algún tipo de modelo de carga, la consideración de actores múltiples con objetivos distintos y contradictorios puede abordarse con herramientas matemáticas adecuadas para el manejo de situaciones de conflicto. Entre los enfoques identificados para este tipo de problemas están: la programación de metas; la teoría de juegos; la optimización multicriterio; y la programación binivel.

En el marco de modelado clásico de las cuatro etapas (Four-Step Model): generación, distribución, reparto modal y asignación; el transporte de carga se ha representado con diversos ajustes a esta metodología, que originalmente se diseñó para el movimiento de pasajeros. De modo muy general, dos grandes orientaciones pueden seguirse en este modelado: flujos de vehículos y flujos de carga; en el primer caso, el enfoque es de viajes generados y atraídos; y en el segundo, de toneladas producidas y atraídas a los distintos puntos de origen y destino.

La adaptación del modelo de las cuatro etapas al transporte de carga, necesita considerar las diferencias que hay entre el movimiento de pasajeros y el de carga. Las principales diferencias se han resumido en tabla 3.1, donde resalta la mayor diversidad que tienen las clasificaciones de la carga, en comparación con el movimiento de pasajeros, como por ejemplo, en el caso de unidades de medida: por tipo de carga, por tipo de vehículo, por valor económico de la carga, por vehículos ligeros equivalentes, en comparación con la clasificación de pasajeros o automóviles en el transporte de personas. Similarmente, hay diferencias importantes en cuanto a: diseño de terminales, los actores que intervienen en la generación de los flujos, los factores para decidir el modo de transporte a usar, y el valor del tiempo, entre otros.

Para la aplicación de los modelos de transporte a un caso específico, en la sección 3.3 se muestra una lista de familias temáticas de problemas típicos que son de interés para quienes se dedican a la planificación del transporte (Holguín-Veras, et al, 2001). Estas familias temáticas son:

- 1. Mejora de la capacidad.** Se refiere a las acciones orientadas a tener un incremento significativo de la oferta, para el sistema de transporte de carga
- 2. Conservación del sistema.** Son las acciones orientadas a mantener y conservar la infraestructura del sistema en un buen

estado para los usuarios. De particular interés es el daño a la infraestructura, impacto atribuible exclusivamente al movimiento de vehículos de carga; a diferencia de los otros impactos como la congestión, los accidentes y el ruido, que son comunes a todos los vehículos. El PBV mucho mayor de los camiones comparado con el de autos y autobuses, y la llamada *Ley de la 4ª. Potencia*, que establece que el daño estructural provocado al pavimento por un eje, es aproximadamente proporcional a la cuarta potencia de la razón de la carga en el eje al peso de un eje estándar de referencia (usualmente de 8.16t, llamado Equivalent Standard Axle Load, ESAL), explica esta particularidad.

3. Operaciones. Son las acciones y los subsistemas que mejoran la forma en la que la actividad del transporte, o las actividades relacionadas son llevadas a cabo.

4. Gestión de la demanda de transporte. Son las acciones encaminadas a inducir o fomentar cambios en la demanda, que resulten en un uso más eficiente de la infraestructura existente.

5. Políticas. Es el conjunto de iniciativas que definen la forma en la cual los objetivos a largo plazo serán logrados. En su mayoría, los objetivos se relacionan con metas regionales como el desarrollo económico, o con el apego a regulaciones gubernamentales, tales como las normas ambientales o las de seguridad vial.

La organización de estas familias temáticas es una guía para el planificador del transporte, que trata de clasificar una problemática particular de los flujos de carga. Esta lista de familias temáticas se complementa con una propuesta de posibles herramientas analíticas y de modelación que pueden ser de utilidad para abordar los problemas de interés. Las herramientas propuestas son:

1. Herramientas de modelación

- a) Modelos regionales de carga. Se refiere a modelos capaces de producir estimaciones de la oferta y la demanda del servicio de carga a nivel regional, tanto para condiciones actuales como para condiciones futuras, como parte de un proceso de pronóstico
- b) Modelos de carga para mercados específicos. Son modelos enfocados a una descripción detallada de mercados específicos. Estos mercados pueden definirse geográficamente, como p ej, un corredor de transporte; o respecto a proveedores de un servicio específico, como es el caso de la mensajería rápida; o para mercancías específicas (acero, cemento, etc).
- c) Modelos de simulación de operaciones. Son modelos del tipo microscópico con suficiente detalle, como para analizar esquemas operativos concretos, como p ej, la operación de un puerto o los sistemas de control de tráfico en redes urbanas

- d) Modelos de análisis de capacidad. Son modelos analíticos o empíricos, que tratan de estimar los flujos máximos que pueden manejarse en un sistema de transporte, bajo las restricciones prevalentes

2. Análisis de infraestructura

- e) Evaluación de la condición de la infraestructura. Son técnicas que apoyan el análisis y la toma de decisiones de conservación del sistema; incluyen técnicas como los sistemas de administración de pavimentos, el modelado del nivel de servicio de las vialidades, o la evaluación de la condición de la infraestructura

3. Evaluación de impactos

- f) La economía del transporte. Es la aplicación de la economía a la estimación de los impactos del transporte que afectan a distintos segmentos de usuarios, incluyendo la evaluación de cambios conductuales; la definición de la política económica para el transporte; la estimación de costos y beneficios reales del transporte; y la evaluación de externalidades, como son los efectos en la salud de las emisiones contaminantes, o los accidentes viales
- g) Evaluación ambiental. Se refiere a la estimación del impacto del transporte en el medio ambiente, conforme a estándares establecidos de calidad del ambiente
- h) Análisis de localización. Se refiere al análisis de las localizaciones potenciales para instalaciones y servicios para el transporte de carga, incluyendo el estudio de las restricciones zonales

4. Planeación de la participación de las partes

- i) Identificación de las partes interesadas. Es el proceso de definir el ámbito de las partes potencialmente interesadas en la problemática del transporte, para solicitar y asegurar su retroalimentación al aplicar las políticas y tomar decisiones sobre el sistema de transporte. En el movimiento de carga, el impacto que el transporte tiene en las comunidades, necesita un proceso continuo de retroalimentación entre las instancias que operan y controlan el transporte de carga, los grupos locales, y las empresas. La funcionalidad de este proceso de retroalimentación es esencial para la implementación exitosa de las políticas y los proyectos.

Todas estas actividades alrededor del modelado y la planeación, requieren como paso previo la colecta de datos del transporte de carga para efectuar los análisis correspondientes. La colecta de datos del transporte de carga, tanto los de tipo operativo como los de tipo económico, está inevitablemente ligada a las cuestiones de confidencialidad y de secreto comercial de transportistas, embarcadores y operadores logísticos, lo que plantea un serio problema para su obtención.

Si bien a la fecha existen algunas fuentes de las que pueden obtenerse diversos datos del transporte de carga (Dirección General de Autotransporte Federal de la SCT; INEGI; Instituto Mexicano del Transporte; CANACAR; ANTP), estas fuentes tienen diseños y objetivos distintos; y es común que no coincidan aun en mediciones comunes a un tema concreto de transporte.

De la experiencia norteamericana en esta problemática de los datos del transporte de carga, que resulta bastante similar a la mexicana (descrita en la sección 3.4), se puede considerar que para resolver el problema de la obtención de datos confiables y oportunos para las tareas de planeación y modelación del transporte de carga, se necesita un programa nacional de datos del transporte de carga, dirigido por el sector transporte y que se ocupe de obtener la participación de las actuales fuentes para integrar una base de datos nacional, estandarizar procesos y formatos, completar la información faltante, y asegurar un manejo confidencial de la información que lo necesite.

Esta base nacional de datos del transporte de carga, tendría entonces, la información esencial que sería requerida para las tareas de modelación y planificación del transporte en los diversos niveles: municipal, estatal, regional o nacional.

El esfuerzo requerido para lograr la meta de una base nacional de datos del transporte de carga implica un trabajo continuado de varios años, por lo que su preparación debería considerar horizontes que no estén atados a la dinámica sexenal de los cambios de administración.

Para terminar, conviene observar que también de la experiencia norteamericana sobre los retos que plantea la planificación del transporte de carga en el nuevo milenio, se han identificado dos estrategias que parecen ser prometedoras. Estas son:

- La necesidad de tener un marco institucional que apoye en la identificación de los temas críticos en el transporte de carga, así como en su evolución y en los procesos de solución
- La necesidad de un mecanismo de financiamiento de amplia cobertura y de carácter sustentable para auxiliar en la implementación de los proyectos que se seleccionen para mejorar al transporte de carga

Estas dos estrategias, explícitamente señalan la necesidad de contar con un cuerpo institucional dedicado al análisis y a la solución de los problemas del transporte de carga, así como un fondo de financiamiento dedicado exclusivamente a apoyar los proyectos que surjan del análisis. El liderazgo en la conducción de un proyecto de esta magnitud podría estar en el sector transporte encabezado por la SCT, dado su posicionamiento en las tareas de planeación del sistema de transporte nacional.

Como línea de trabajo futuro, puede ser pertinente procurar extender el análisis mostrado para el autotransporte a otros modos, donde fluyen tanto carga como pasajeros. En el modo ferroviario, aunque a la fecha en México está dominado por

el movimiento de carga, hay un potencial de resurgimiento del transporte de pasajeros, como se ha visto en el interés por el proyecto del Tren Suburbano en la zona metropolitana de la Ciudad de México al inicio del nuevo milenio; en el modo aéreo se tiene la particularidad del movimiento mixto de carga y pasaje en las aeronaves, a la vez que han aumentado los servicios dedicados a carga y las aerolíneas de bajo costo, planteando nuevos retos en la operación aeroportuaria; y en el marítimo, la presencia de flujos de pasajeros en los movimientos de cruceros es un aspecto importante en la administración de las instalaciones portuarias de nuestros litorales.

Bibliografía

AmosWEB. (2003). *GLOSS*arama. Economic Terms Database*. [En línea] disponible en: URL:<<http://www.amosweb.com/gls/>>.

Bell, M.G.H. e Iida, Y. (1997). *Transportation Network Analysis*. John Wiley & Sons. Chichester, pp. 193-204.

Bianco, L. (1987). Mathematical models in logistic system design. En: *Freight transport planning and logistics*. Memorias del International Seminar on Freight Transport, Planning and Logistics, celebrado en Bressanone, Italia. Editores: Lucio Bianco y Agostino La Bella. Springer-Verlag. Alemania, pp. 210-257.

Cambridge Systematics, Inc. with Leeper, Cambridge & Campbell, Inc.; Sydec, Inc.; Thomas M. Corsi; and Curtis M. Grimm. (1997). *A Guidebook for Forecasting Freight Transportation Demand*. National Cooperative Highway Research Program. Report 388. Transportation Research Board. Washington, pp. 1-2.

CATS.(2001). *Chicago Area Transportation Study*. [En línea]. Disponible en: URL:<<http://www.catsmpo.com>>.

Checkland, P. y Scholes, J. (1999). *Soft systems methodology in action*. John Wiley & Sons. UK, pp. 45-47.

Cohon, J.L. (1978). *Multiobjective Programming and Planning*. Academic Press. London, pp. 69-72.

De Jong, G. (2000). Value of freight travel-time savings. En: *Handbook of Transport Modelling*. Editado por D.A. Hensher & K.J. Button. Pergamon. The Netherlands, p. 553-554.

De Jong, G, Gunn, H. y Walker, W. (2004). National and international freight transport models: An overview and ideas for future development. *Transport reviews*. Vol. 24, No. 1, pp. 103-124.

European Commission. (2001). *White Paper. European transport policy for 2010: time to decide*. [En línea]. European Commission. Transport. Disponible en: <URL: http://ec.europa.eu/transport/white_paper/documents/index_en.htm>.

Fowkes, A.S., Nash, C.A. and Tweddle, G. (1989). *Valuing the attributes of freight transport quality: Results of the stated preference survey*. ITS Working Paper 276. University of Leeds, Institute for Transport Studies. Leeds, Yorkshire, UK.

Garrido Hidalgo, R. (2001). *Modelación de sistemas de distribución de carga*. Ediciones Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.

Garrido R.A and Mahmassani, H. (1998) Forecasting Short-Term Freight Transportation Demand. Poisson STARMA Model. *Transportation Research Record* 1645, pp.8-16.

Greenberg, H.J. (2006). *Mathematical Programming Glossary*. [En línea]. disponible en:URL:<<http://glossary.computing.society.informs.org/>>.

Gwilliam, K.M. (1997). *The value of time in economic evaluations of transport projects*. The World Bank Infrastructure Notes. Transport No. OT-5.[En línea] disponible en: <URL: <http://www.worldbank.org/transport/publicat/td-ot5.htm>>.

Harker, P.T. (1987). Issues and models for planning and regulating freight transport systems. In: *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*. Lucio Bianco and Agostino La Bella, editors. International Seminar on Freight Transport Planning and Logistics, Italy. Springer-Verlag.pp. 374-408.

Holguín-Veras, P.E.; List, G.F.; Meyburg, A.H.; Ozbay, K.; Paaswell, R.E.; Teng, H. and Yahalom, S. (2001). *An assessment of methodological alternatives for a regional freight model in the NYMTC region*. Region II. University Transportation Research Center.The City College. New York.

Lowe, D. (2002). *The dictionary of transport and logistics*. The Institute of Logistics and Transport. Kogan Page. London.

Lalwani, C., Goss, R., Gardner B. and Beresford A. (1991). Modelling freight traffic. In *Long Term Issues in Transport*, Rickard, J.H, and Larkinson, J. editors. pp. 131-160. Avebury, UK.

Ortúzar, J.D. and Willumsen, L.G. (1994). *Modelling Transport*. 2nd edition. Chichester, UK. John Wiley & Sons.

Mahmassani, H.S. (2001). Freight and Commercial Vehicle Applications. In: *Travel Behaviour Research: the Leading Edge*. Edited by David Hensher. Pergamon. Elsevier Science Ltd. Oxford, UK, pp. 289-297.

Mani, A., & Prozzi, J. (2004). State-of-the-practice in freight data: A review of available freight data in the U.S. Center for Transportation Research. The University of Texas at Austin, USA.

Musso, A. (2001). SOFTICE. Survey on Freight Transport Including a Cost Comparison for Europe. *Transportation Research Record* 1763. pp. 27-34

Papacostas, C.S. and Prevedouros,P.D. (1993). *Transportation Engineering and Planning*. Second Edition. Prentice-Hall International. pp.279-301.

Ratliff, H.D. and Nulty, W.G. (1996). *Logistics Composite Modeling*. The Logistics Institute. Technical White Paper Series. The Georgia Institute of Technology. USA

Regan, A. and Garrido, R. (2001). Modelling freight demand and shipper behaviour: state of the art, future directions. In: *Travel behaviour research. The leading edge*. Ed. By David Hensher. Pergamon.

Rushton, A., Oxley, P. and Croucher, P. (2000). *The Handbook of Logistics and Distribution Management*. 2nd edition. The Institute of Logistics and Transport. Kogan Page. London.

Samuelson, P.A. & Nordhaus, W.D. (1989). *Economics*. McGraw-Hill. p 24. USA.

Tavasszy, L.A. (2006). *Freight Modelling – An overview of international experiences*. Paper prepared for the TRB Conference on Freight Demand Modelling: Tools for Public Sector Decision Making, September 25-27, 2006, Washington, D.C. [En línea] disponible en: <URL: <http://www.trb.org/Conferences/FDM/background.asp>>

TMIP (1996). *Quick Response Freight Manual. Final Report*. [online]. US DOT. The Travel Model Improvement Program (TMIP). Disponible en: <URL: <http://tmip.fhwa.dot.gov/clearinghouse/docs/quick/index.stm>>.

TRB, Transportation Research Board. (2003). *A concept for a National Freight Data Program*. Transportation Research Board. Washington, D.C.

TRB, Transportation Research Board. (2006). *National Cooperative Freight Research Program*. [En línea] disponible en: [URL:http://www.trb.org/CRP/NCFRP/NCFRP.asp](http://www.trb.org/CRP/NCFRP/NCFRP.asp)

Winston, C. (1983). The demand for freight transportation: models and applications. *Transportation Research A*. Vol. 17, No. 6. pp. 419-427.

Wynter, L.M. (1995). The Value of Time of Freight Transport in France: Estimation of Continuously Distributed Values from a Stated Preference Survey. *International Journal of Transport Economics*. Vol. XXII-No. 2- June 1995, pp. 151-165



‡ Certificación ISO 9001:2000 según documento No 0109-2007-AQ-MEX-EMA,
vigente hasta el 24 de octubre de 2009 (www.imt.mx)

CIUDAD DE MÉXICO

Av Nuevo León 210, piso 2
Col Hipódromo Condesa
06100, México, D F
tel (55) 5265 3190
fax (55) 5265 3190 ext 4711

SANFANDILA

km 12+000, Carretera
Querétaro-Galindo
76700, Sanfandila, Qro
tel (442) 216-9777
fax (442) 216-9671

www.imt.mx
publicaciones@imt.mx